

**Evaluación de la resiliencia socioecológica de sistemas de  
producción de leche frente al cambio climático, en zonas  
ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).**

Alexander Navas Panadero

Universidad de Antioquia

Facultad de Ciencias Agrarias. Doctorado en Agroecología

Medellín, Colombia

2020

**Evaluación de la resiliencia socioecológica de sistemas de producción de leche frente al cambio climático, en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).**

Alexander Navas Panadero

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Doctor en Agroecología

Directora:

Dra. Clara Inés Nicholls Estrada

Universidad de Antioquia

Facultad de Ciencias Agrarias. Doctorado en Agroecología

Medellín, Colombia

2020

## **Agradecimientos**

A Dios, luz y eje de mi vida, quien sabe y me da lo que necesito.

A mi esposa e hijos quienes con paciencia y amor me apoyaron y me concedieron su tiempo.

A la Dra. Clara Nicholls por su conocimiento, pasión y trabajo para alcanzar lo que no parece alcanzable.

Al equipo de docentes del doctorado, quienes no escatimaron esfuerzos en compartir su conocimiento, experiencia y formas de ver el mundo.

A los productores que con generosidad y paciencia me enseñaron las cosas que no encuentro en los libros.

A aquellos que con complicidad me permitieron alcanzar un sueño a pesar de los obstáculos que se presentan en la vida.

A los maestros de antes “Julio Ernesto Vargas” por mostrarme nuevos caminos y hacerme sentir que soy parte del problema y de la solución, y que los sueños se alcanzan a pesar de la adversidad.

A SOCLA y la Universidad de Antioquia por crear un programa único, que me permitió aprender, compartir y conocer personas maravillosas con las cuales pude compartir mi pasión.

A la Universidad de La Salle y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca- CAR, quienes cofinanciaron parte de este trabajo.



## Tabla de Contenido

Agradecimientos	i
Lista de tablas	vii
Lista de figuras	xii
Resumen general	xvi
General abstract	xviii
Listado de publicaciones asociadas al proyecto	xx
Introducción general	1
Bibliografía	6
Objetivos	11
Objetivo general	11
Objetivos específicos	11
Hipótesis	12
Capítulo 1. Marco conceptual	
1. Cambio climático y resiliencia. Agroecología para el rediseño de sistemas ganaderos sostenibles.	13
Resumen	13
1.1. Introducción	14
1.2. Variabilidad y cambio climático	15
1.2.1 Efecto del cambio climático sobre los sistemas ganaderos	18
1.3 Resiliencia en sistemas de producción ganadera	23
1.4 Agroecología - prácticas para incrementar la adaptación y resiliencia	25
1.5 Conclusiones	32
1.6 Bibliografía	33
Capítulo 2	

2.	Características y desempeño de sistemas de producción de leche de pequeños productores con prácticas agroecológicas y manejo convencional	49
	Resumen	49
2.1.	Introducción	50
2.2.	Materiales y métodos	51
2.3.	Resultados y discusión	57
2.3.1.	Comportamiento meteorológico en Alisal y Suesca (Cundinamarca)	57
2.3.2.	Características del suelo de sistemas de lechería especializada con prácticas agroecológicas y manejo convencional	59
2.3.3.	Producción de forraje, composición botánica y calidad nutricional	63
2.3.4.	Producción y calidad de leche de sistemas de producción de pequeños productores en Alisal y Suesca (Cundinamarca).	69
2.4.	Conclusiones	74
2.5.	Bibliografía	75
Capítulo 3		
3.	Percepciones y conocimiento local de pequeños productores de leche en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto. Efecto de la variabilidad y cambio climático en la producción de leche y estrategias de adaptación	80
	Resumen	80
3.1.	Introducción	81
3.2.	Materiales y métodos	82
3.3.	Resultados y discusión	84
3.3.1.	Percepción de pequeños productores sobre las causas que generan cambios en el comportamiento del clima	84
3.3.2.	Conocimiento local del comportamiento del clima, por parte de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca)	86
3.3.3.	Percepción de pequeños productores sobre cómo y cuales eventos climáticos afectan los sistemas de producción de leche. Cómo han cambiado las condiciones climáticas en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).	88

3.3.4. Estrategias de adaptación a condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático, según la percepción de pequeños productores de leche en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).	92
3.4. Conclusiones	99
3.5. Bibliografía	99
Capítulo 4	
4. Comportamiento histórico de la precipitación y la temperatura en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca). Base para el diseño de estrategias de adaptación en sistemas de lechería especializada	106
Resumen	106
4.1. Introducción	107
4.2. Materiales y métodos	110
4.3. Resultados y discusión	111
4.3.1. Cambio de uso del suelo en Carmen de Carupa y Suesca (Cundinamarca)	111
4.3.2. Comportamiento histórico de la precipitación en la zona de estudio	115
4.3.3. Comportamiento histórico de la temperatura en la zona de estudio	120
4.3.4. Comportamiento histórico del índice temperatura humedad (ITH) en la zona de estudio	122
4.4. Conclusiones	127
4.5. Bibliografía	127
Capítulo 5	
5. Importancia de los sistemas silvopastoriles en fincas de pequeños productores de leche en zonas de trópico alto. Resiliencia y adaptación a condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático	132
Resumen	132
5.1. Introducción	133
5.2. Materiales y métodos	135
5.3. Resultados y discusión	138
5.3.1. Efecto del componente arbóreo sobre el suelo	139

5.3.2.	Efecto sobre la producción y calidad de forraje en sistemas de producción lechera de trópico alto	142
5.3.3.	Reducción del estrés calórico en animales y su efecto en la producción de leche	145
5.4.	Conclusiones	153
5.5.	Bibliografía	153
Capítulo 6		
6.	Resiliencia socioecológica a la sequía de sistemas de lechería especializada en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto. Caso Alisal y Suesca (Cundinamarca – Colombia).	161
	Resumen	161
6.1.	Introducción	162
6.2.	Materiales y métodos	164
6.3.	Resultados y discusión	170
6.3.1.	Sensibilidad de los recursos naturales a sequia (SRNs), en agroecosistemas ganaderos de zonas ambientalmente estrategias en Alisal y Suesca (Cundinamarca)	170
6.3.2.	Capacidad de resiliencia (CRs) en agroecosistemas ganaderos de zonas ambientalmente estrategias en Alisal y Suesca (Cundinamarca)	173
6.3.3.	Capacidad resistencia – absorción (RAs) en agroecosistemas ganaderos de zonas ambientalmente estrategias en Alisal y Suesca (Cundinamarca)	174
6.3.4.	Capacidad de recuperación (RCs) en agroecosistemas ganaderos de zonas ambientalmente estrategias en Alisal y Suesca (Cundinamarca)	177
6.3.5.	Capacidad de transformación (TRs) en agroecosistemas ganaderos de zonas ambientalmente estrategias en Alisal y Suesca (Cundinamarca)	181
6.3.6.	Índice general de resiliencia (IGRs) en agroecosistemas ganaderos de zonas ambientalmente estrategias en Alisal y Suesca (Cundinamarca)	185
6.4.	Conclusiones	188
6.5.	Bibliografía	188
6.6.	Anexos	194
6.6.1.	Escala y criterios para valorar la sensibilidad de los recursos naturales a la sequía, en sistemas ganaderos.	194

6.6.2. Indicadores agroecológicos para determinar la capacidad de resistencia – absorción a sequía en sistemas ganaderos.	194
6.6.3. Indicadores agroecológicos para determinar la capacidad de recuperación a sequía en sistemas ganaderos.	196
6.6.4. Indicadores agroecológicos para determinar la capacidad de transformación para la resiliencia a sequía en sistemas ganaderos.	198
7. Conclusiones y recomendaciones	201
7.1. Conclusiones	201
7.2. Recomendaciones	203

## Lista de tablas

Tabla 1-1.	Emisiones totales generadas por sistemas pecuarios en diferentes regiones (gigatoneladas de CO <sub>2</sub> -eq).	19
Tabla 1-2.	Emisiones globales de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O (gigatoneladas de CO <sub>2</sub> -eq/año) del sector pecuario y porcentaje de las emisiones antropogénicas al año.	20
Tabla 1-3.	Emisiones globales totales de por especie pecuaria (gigatoneladas de CO <sub>2</sub> -eq/año)	20
Tabla 1-4.	Emisiones globales de las cadenas de suministro pecuario (%)	21
Tabla 2-1.	Prácticas agroecológicas y convencionales utilizadas en agroecosistemas de producción de leche, en de trópico alto.	53
Tabla 2-2.	Clasificación de sistemas de producción de leche de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Alisal y Suesca, Cundinamarca)	53
Tabla 2-3.	Características físico-químicas en suelos de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de Alisal y Suesca (Cundinamarca).	60
Tabla 2-4.	Contenidos de minerales en los suelos de fincas de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de Alisal y Suesca (Cundinamarca).	61
Tabla 2-5.	Profundidad de raíces, macrofauna y resistencia a la penetración en suelos de fincas de pequeños productores de leche en Alisal y Suesca (Cundinamarca).	62
Tabla 2-6.	Poblaciones microbiológicas en suelos de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de Alisal y Suesca (Cundinamarca).	63
Tabla 2-7.	Cambios en la producción de materia seca – MS(t/ha) durante el año, en sistema de producción de leche de pequeños productores de Alisal y Suesca (Cundinamarca).	64
Tabla 2-8.	Producción de materia seca disponible (t/ha/año) y composición botánica en sistema de producción de leche de pequeños productores de Alisal y Suesca (Cundinamarca).	65
Tabla 2-9.	Contenidos de proteína cruda (PC) y diferentes fracciones de la proteína en pasturas de sistemas de producción de lechería	67

	especializada de pequeños productores de Alisal y Suesca (Cundinamarca).	
Tabla 2-10.	Digestibilidad, fibras y contenidos de energía de pasturas de sistemas de producción de lechería especializada de pequeños productores de Alisal y Suesca (Cundinamarca).	68
Tabla 2-11.	Contenidos de minerales en pasturas de sistemas de producción de lechería especializada de pequeños productores de Alisal y Suesca (Cundinamarca).	69
Tabla 2-12.	Producción promedio de leche (kg) al día para cada mes, de fincas de pequeños productores de la zona de Alisal (Cundinamarca).	70
Tabla 2-13.	Producción promedio de leche (kg) al día para cada mes, de fincas de pequeños productores de la zona de Suesca (Cundinamarca).	71
Tabla 2-14.	Producción de leche por hectárea al mes (kg/ha/mes) y por hectárea al año (kg/ha/año), de fincas de pequeños productores de la zona de Alisal y Suesca (Cundinamarca).	72
Tabla 2-15.	Calidad composicional de leche de fincas de pequeños productores de la zona de Alisal y Suesca (Cundinamarca).	73
Tabla 3-1.	Percepción de pequeños productores de leche, sobre las causas que generan cambios en las condiciones climáticas en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).	85
Tabla 3-2.	Conocimiento del comportamiento climático durante el año, de pequeños productores de leche en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).	88
Tabla 3-3.	Efectos de los eventos climáticos sobre los sistemas de producción de leche en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca), según la percepción de pequeños productores	90
Tabla 3-4.	Percepción de pequeños productores de leche, sobre los cambios en el comportamiento climático en zonas estratégicamente ambientales de trópico alto.	91
Tabla 3-5.	Estrategias de adaptación (prácticas agroecológicas) a condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático, según la percepción de pequeños productores de leche en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).	93

Tabla 3-6.	Porcentaje de variabilidad explicada en dos componentes y peso de las variables (climáticas, producción y calidad de forraje) para la producción de leche en fincas de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).	98
Tabla 4-1.	Estaciones climáticas (datos analizados) y ubicación geográfica.	110
Tabla 4-2.	Promedio y estadísticos de variabilidad de la precipitación anual por década (1930-2010) en la zona de estudio	117
Tabla 4-3.	Número de días con eventos de precipitación en cada mes por década (1930-2017) en la zona de estudio.	118
Tabla 4-4.	Promedio y estadísticos de variabilidad de la precipitación mensual histórica (1930-2017) en la zona de estudio	119
Tabla 4-5.	Promedio y estadísticos de variabilidad de la temperatura máxima y temperatura mínima mensual histórica (1930-2017) en la zona de estudio	121
Tabla 4-6.	Promedio y estadísticos de variabilidad del índice temperatura humedad máximo (ITH máximo) e índice temperatura humedad mínimo (ITH mínimo) promedio anual por década (1950-2010) en la zona de estudio	123
Tabla 4-7.	Promedio y estadísticos de variabilidad del índice temperatura humedad máximo (ITH máximo) e índice temperatura humedad mínimo (ITH mínimo) mensual histórico (1950-2017) en la zona de estudio.	125
Tabla 5-1.	Características físico-químicas en suelos bajo y fuera de la copa de los árboles en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).	139
Tabla 5-2.	Profundidad de raíces, macrofauna y resistencia a la penetración en suelos bajo y fuera de la copa de los árboles en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).	140
Tabla 5-3.	Poblaciones microbiológicas en suelos bajo y fuera de la copa de los árboles de sistemas de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).	141

Tabla 5-4.	Producción de materia seca – MS, composición botánica (t/ha) y transmisión de radiación fotosintéticamente activa (%), bajo y fuera de la copa de los árboles en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).	142
Tabla 5-5.	Calidad nutricional de pasturas bajo y fuera de la copa de los árboles, en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).	144
Tabla 5-6.	Temperatura ambiente cada hora y diferencia de temperatura (°C) bajo la copa de los árboles en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal y Suesca (Cundinamarca).	147
Tabla 5-7.	Comportamiento del índice temperatura humedad (ITH) durante el día bajo y fuera de la copa de árboles, indicador de estrés térmico en animales, en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).	150
Tabla 5-8.	Índice temperatura humedad (ITH) promedio, mínimo y máximo, bajo y fuera de la copa de árboles, variabilidad térmica en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal y Suesca (Cundinamarca).	151
Tabla 5-9.	Índice temperatura humedad (ITH) mínimo y máximo mensual, bajo y fuera de la copa de árboles, variabilidad térmica en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).	152
Tabla 6.1.	Prácticas agroecológicas y convencionales utilizadas en agroecosistemas de producción de leche, en el trópico alto.	165
Tabla 6.2.	Clasificación de sistemas de producción de leche de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Alisal y Suesca, Cundinamarca)	166
Tabla 6-3.	Sensibilidad de los recursos naturales a sequía (SRNs) en sistemas de producción de leche de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de Alisal (Cundinamarca).	171
Tabla 6-4.	Sensibilidad de los recursos naturales a sequía (SRNs) en sistemas de producción de leche de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de Suesca (Cundinamarca).	172

Tabla 6-5.	Resultados de la evaluación de la capacidad de resiliencia (CRs), sensibilidad de los recursos naturales (SRNs) e índice general de resiliencia (IGRs) a sequía de fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).	185
Tabla 6-6.	Resultados de la evaluación de la capacidad de resiliencia (CRs), sensibilidad de los recursos naturales (SRNs) e índice general de resiliencia (IGRs) a sequía de fincas de lechería especializada de pequeños productores en Suesca (Cundinamarca).	186

## Lista de figuras

Figura 2-1.	Ubicación de los sistemas de producción de leche seleccionados, Alisal y Suesca, Cundinamarca	52
Figura 2-2	Precipitación mensual, temperatura promedio, mínima y máxima mensual en Alisal (Cundinamarca).	57
Figura 2-3	Número de días con eventos de precipitación al mes, temperatura promedio, mínima y máxima mensual en Alisal (Cundinamarca).	58
Figura 2-4.	Precipitación mensual, temperatura promedio, mínima y máxima mensual en Suesca (Cundinamarca).	58
Figura 2-5.	Número de días con eventos de precipitación al mes, temperatura promedio, mínima y máxima mensual en Suesca (Cundinamarca).	59
Figura 2-6.	Análisis de conglomerados (método promedio, distancia Euclidea) con variables edáficas, producción y calidad de forraje, producción y calidad de leche, para sistemas de lechería especializada de pequeños productores de Alisal y Suesca (Cundinamarca).	74
Figura 3-1.	Percepción de pequeños productores (%), sobre los eventos climáticos que afectan la producción de leche en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).	89
Figura 3-2.	Preferencias para el establecimiento de sistemas silvopastoriles por pequeños productores de leche en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).	95
Figura 3-3	Índice temperatura humedad (ITH) y producción de leche mensual (kg), reportada por pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).	96
Figura 3-4.	Índice temperatura humedad (ITH) y producción de leche mensual (kg), reportada por pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).	96
Figura 3-5.	Análisis de componentes principales con variables climáticas, producción y calidad de forraje para la producción de leche en fincas de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca)	98
Figura 4-1.	Diversidad de vocación de uso del suelo, cambio de uso y fragmentación de la matriz de paisaje en Carmen de Carupa (Cundinamarca).	112

Figura 4-2.	Diversidad de vocación de uso del suelo, cambio de uso y fragmentación de la matriz de paisaje en Suesca (Cundinamarca).	113
Figura 4-3.	Perdida de ecosistemas estratégicos, degradación del suelo y fragmentación de la matriz de paisaje por uso de modelos productivos convencionales en Suesca (Cundinamarca).	113
Figura 4-4.	Cambio de uso del suelo entre 1960 y 2014, en Carmen de Carupa y Suesca (Cundinamarca). Fuente: DANE, 2020.	114
Figura 4-5.	Cambio en el número de unidades de producción agropecuaria (UPA) y número de bovinos de leche entre 1960 y 2014, en Carmen de Carupa y Suesca (Cundinamarca). Fuente: DANE, 2020.	115
Figura 4-6.	Precipitación promedio anual por década (1930-2010) en la zona de estudio.	116
Figura 4-7.	Precipitación promedio de cada mes por década (1930-2017) en la zona de estudio.	117
Figura 4-8.	Precipitación promedio de cada mes histórica (1930-2017) en la zona de estudio.	119
Figura 4-9.	Temperatura máxima mensual histórica (1930-2017) en la zona de estudio.	120
Figura 4-10.	Temperatura mínima mensual histórica (1930-2017) en la zona de estudio.	121
Figura 4-11.	Índice temperatura humedad máximo (ITHmax) promedio anual por década (1950-2010) en la zona de estudio	122
Figura 4-12.	Índice temperatura humedad mínimo (ITHmin) promedio anual por década (1950-2010) en la zona de estudio	124
Figura 4-13.	Índice temperatura humedad máximo (ITHmax) mensual histórico (1950-2017) en la zona de estudio	124
Figura 4-14.	Índice temperatura humedad mínimo (ITHmin) mensual histórico (1950-2017) en la zona de estudio.	126
Figura 5-1.	Sistemas silvopastoriles presentes en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal y Suesca (Cundinamarca).	138

Figura 5-2.	Temperatura ambiente bajo y fuera de la copa de árboles en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en Suesca (Cundinamarca).	146
Figura 5-3.	Temperatura ambiente bajo y fuera de la copa de árboles en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).	146
Figura 5-4.	Índice temperatura humedad (ITH) cada hora bajo y fuera de la copa de árboles en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en Suesca (Cundinamarca).	148
Figura 5-5.	Índice temperatura humedad (ITH) cada hora bajo y fuera de la copa de árboles en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).	149
Figura 6-1.	Agroecosistemas ganaderos con diferente nivel de vulnerabilidad a estacionalidad, variabilidad y cambio climático en Alisal y Suesca (Cundinamarca)	171
Figura 6-2.	Componentes que determinan la capacidad de resistencia-absorción a condiciones de sequía en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal y Suesca (Cundinamarca)	174
Figura 6-3.	Capacidad de resistencia – absorción a sequías en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).	175
Figura 6-4.	Capacidad de resistencia – absorción a sequías en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Suesca (Cundinamarca).	176
Figura 6-5.	Estrategias que favorecen la capacidad de recuperación a sequías en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal y Suesca (Cundinamarca).	178
Figura 6-6.	Capacidad de recuperación a sequías en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).	179
Figura 6-7.	Capacidad de recuperación a sequías en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Suesca (Cundinamarca).	180
Figura 6-8.	Conocimiento agroecológico, participación de la familia y asistencia técnica pertinente, elementos importantes en la capacidad de transformación para la resiliencia a sequías en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).	181
Figura 6-9.	Capacidad de transformación para la resiliencia a sequías en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).	183

- Figura 6-10. Capacidad de transformación para la resiliencia a sequías en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Suesca (Cundinamarca). 184
- Figura 6-11. Análisis de conglomerados (método promedio, distancia Euclídea) con indicadores agroecológicos para determinar capacidad de resistencia-absorción, recuperación, transformación, capacidad de resiliencia, sensibilidad de los recursos naturales e índice general de resiliencia a sequía de fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal y Suesca (Cundinamarca). 187

## **Resumen general**

La presente investigación pretende analizar la complejidad de los factores que intervienen en la resiliencia socioecológica a condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático de sistemas de lechería especializada de pequeños productores ubicados en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca). El enfoque de análisis se desarrolló de manera holística y sistémica tratando de entender cómo diferentes dimensiones y dinámicas del territorio afectan la resiliencia de una gama o tipos de sistemas de producción de leche (convencionales de pequeña escala, convencionales en transición, orgánicos y agroecológicos), además cuáles prácticas o modelos tecnológicos y por qué pueden favorecer la adaptación a las condiciones climáticas actuales y futuras. Para entender la complejidad que implica la resiliencia socioecológica se realizó una revisión de literatura del efecto de los sistemas ganaderos convencionales sobre el cambio climático y las repercusiones de estos cambios en la actividad ganadera, además cómo la agroecología y prácticas como los sistemas agroforestales pecuarios pueden incrementar la resiliencia de los sistemas de producción de leche. Para entender los principios que pueden incrementar la resiliencia se trabajó con la comunidad, evaluando 16 fincas de pequeños productores durante 18 meses, tiempo en el cual se realizaron muestreos de suelos, forrajes y leche, además se tomaron datos de precipitación y temperatura que permitieron analizar el efecto del comportamiento meteorológico sobre relaciones suelo-planta-animal. Se realizaron visitas a los predios, se recopiló información en formatos a través de diálogos con los productores, lo cual permitió entender el funcionamiento, los recursos y los procesos de los sistemas, también, las condiciones locales y el relacionamiento de los productores con su entorno. Se realizó un análisis histórico del clima en la región (estaciones meteorológicas) para determinar periodos críticos y posibles condiciones de cambio climático, igualmente se recopiló el conocimiento local de los productores sobre el clima y los eventos que afectan la producción de leche en la zona, la percepción de cambios en los últimos años y prácticas que consideran les permiten adaptarse a estas condiciones extremas. Se evaluó y analizó el efecto de los sistemas silvopastoriles presentes en la región sobre el suelo, la pastura, el bienestar animal y la importancia del componente arbóreo dentro de los sistemas ganaderos. Con la información recopilada se determinó la resiliencia socioecológica de cada tipo de sistema, se utilizó el índice general de resiliencia a sequía, el cual se construye determinando la sensibilidad de los recursos naturales y la capacidad de resiliencia, para esto se utilizaron diferentes indicadores agroecológicos que fueron calificados con base en los resultados de investigación de campo y laboratorio, junto con el conocimiento y la participación de los productores. Los modelos de producción ganadera convencionales son fuertes impulsores del calentamiento global y el cambio climático, al igual que presentan alta vulnerabilidad a condiciones climáticas extremas, el análisis de la resiliencia socioecológica a condiciones de variabilidad y cambio climático demanda un análisis complejo de diferentes dimensiones, la agroecología contribuye a incrementar la resiliencia, especialmente cuando logra impactar la matriz de paisaje. El desempeño de los sistemas de producción se afectó con las condiciones climáticas

durante el año, especialmente la producción de leche y de forraje, algunas prácticas pueden reducir el impacto y mejorar la adaptación especialmente en sistemas agroecológicos. Los productores identificaron eventos extremos durante el año que afectan la producción de leche y los atribuyen a cambios en las condiciones climáticas, también percibieron las prácticas agroecológicas como estrategias para mejorar la adaptación a nuevos escenarios climáticos. En la zona de estudio no se encontraron cambios drásticos en la variabilidad que puedan ser atribuidos a condiciones de cambio climático, las características climáticas presentes en la región en algunos momentos del día o en algunos periodos del año limitan la producción de leche. Los sistemas silvopastoriles tuvieron efectos positivos en las relaciones suelo-planta-animal-ambiente, aportando a las capacidades para la adaptación y la resiliencia en sistemas de producción de leche de pequeños productores. La resiliencia socioecológica a la sequía varió entre tipos de sistemas, presentó mayor resiliencia el agroecológico (1.25), luego algunos convencionales en transición y orgánico (0.94 – 1.09), seguido por otros sistemas convencionales en transición y orgánicos (0.75-0.84), luego con menor resiliencia los sistemas convencionales de pequeña escala (0.49-0.65). La reconversión de sistemas convencionales de producción de leche hacia sistemas ganaderos agroecológicos incrementa la resiliencia socioecológica a la sequía, en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

**Palabras clave:** adaptación, agroecología, desarrollo rural, ganadería, pequeños productores, sistemas silvopastoriles, sostenibilidad, variabilidad.

## **General abstract**

This research aims to analyze the complexity of the factors that intervene in socio-ecological resilience to conditions of seasonality, variability and climate change of specialized dairy systems of small producers located in environmentally strategic areas of the high tropics (Cundinamarca). The analysis approach was developed in a holistic and systemic way trying to understand how different dimensions and dynamics of the territory affect the resilience of a range or types of milk production systems (conventional small-scale, conventional in transition, organic, agroecological), which practices or technological models and why they can favor adaptation to current and future climatic conditions. To understand the complexity implied by socio-ecological resilience, a literature review was carried out on the effect of conventional livestock systems on climate change and the repercussions of these changes on livestock activity, as well as how agroecology and practices such as livestock agroforestry systems can increase the resilience of milk production systems. To understand the principles that can increase resilience, we worked with the community, evaluating 16 farms of small producers during 18 months, during which time soil, forage and milk samples were carried out, in addition, precipitation and temperature data were taken that allowed to analyze the effect of meteorological behavior on soil-plant-animal relationships. Visits were made to the farms, information was collected in formats through dialogues with the producers, which allowed understanding the operation, resources and processes of the systems, also, the local conditions and the relationship of the producers with their environment. A historical analysis of the climate in the region (meteorological stations) was carried out to determine critical periods and possible conditions of climate change, as well as the local knowledge of producers about the climate and the events that affect milk production in the area, the perception of changes in recent years and practices that they consider allow them to adapt to these extreme conditions. The effect of the silvopastoral systems present in the region on the soil, pasture, animal welfare and the importance of the arboreal component within livestock systems was evaluated and analyzed. With the information collected, the socio-ecological resilience of each type of system was determined, the general index of resilience to drought was used, which is built by determining the sensitivity of natural resources and the resilience capacity, for this, different agroecological indicators were used that They were scored based on the results of field and laboratory research, together with the knowledge and participation of the producers. Conventional livestock production models are strong drivers of global warming and climate change, just as they present high vulnerability to extreme climatic conditions, the analysis of socio-ecological resilience to conditions of variability and climate change demands a complex analysis of different dimensions, the Agroecology contributes to increasing resilience, especially when it manages to impact the landscape matrix. The performance of the production systems was affected by the climatic conditions during the year, especially milk and forage production, some practices can reduce the impact and improve adaptation, especially in agroecological systems. Producers identified extreme events during the year that affect milk production and attribute them to changes in climatic

conditions. They also perceived agroecological practices as strategies to improve adaptation to new climatic scenarios. In the study area, no drastic changes in variability were found that can be attributed to climate change conditions, the climatic characteristics present in the region at certain times of the day or at certain periods of the year limit milk production. Silvopastoral systems had positive effects on soil-plant-animal-environment relationships, contributing to capacities for adaptation and resilience in smallholder milk production systems. Socio-ecological resilience to drought varied between types of systems, agroecological (1.25) presented greater resilience, then some conventional in transition and organic (0.94 - 1.09), followed by other conventional systems in transition and organic (0.75-0.84), then with less resilience, small-scale conventional systems (0.49-0.65). The conversion of conventional milk production systems to agroecological livestock systems increases socio-ecological resilience to drought, in environmentally strategic areas of the high tropics (Cundinamarca).

**Keyword:** adaptation, agroecology, rural development, livestock, small producers, silvopastoral systems, sustainability, variability.

## **Listado de publicaciones asociadas al proyecto**

### **Artículos sometidos**

Navas, A. Cambio climático y resiliencia. Agroecología para el rediseño de sistemas ganaderos sostenibles. Revista de Investigaciones Agropecuarias. Enviado el 16 de abril de 2021.

Navas, A; Méndez, O. Efecto de la variación climática en la producción y composición de leche en fincas de pequeños productores de Alisal (Cundinamarca). Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Enviado el 18 de mayo de 2021.

### **Artículos publicados**

Navas Panadero, Alexander. (2020). Importancia de la agroecología en la construcción de resiliencia socioecológica de sistemas de producción, frente al cambio climático. *Ámbito Investigativo*: Issue 2, Article 10. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/ai/vol5/iss2/10/>

## **Introducción general**

En las últimas décadas se viene presentando nuevos fenómenos climáticos que han provocado cambios globales, estos fenómenos cada vez son más frecuentes y afectan diferentes actividades humanas, entre ellas la producción de alimentos. El calentamiento global afecta la agricultura y por ende la seguridad alimentaria de los países (FAO, 2013).

Los fenómenos climáticos son atribuidos a la variabilidad climática, considerada como las oscilaciones de las variables climatológicas y al cambio climático, denominado como el cambio a largo plazo en estas variables. Existen evidencias científicas que demuestran como las actividades humanas en gran medida modifican la química de la atmósfera y por lo tanto el clima (IPCC, 2014).

En Colombia el calentamiento es similar al resto de planeta, el nivel medio del mar en las costas ha aumentado 10 cm y 22 cm en el caribe y el Pacífico respectivamente, se pierde 50 centímetros a un metro de espesor al año de seguir la misma tendencia en el 2050 desaparecerá 80% del área de glaciación y 60% del área de páramos estará altamente degradada (Costa, 2007). Este escenario tendría fuertes implicaciones en la oferta hídrica de ciudades como Bogotá y otras poblaciones, además de la pérdida de biodiversidad (Hall et al., 2011; Sanfiorenzo, 2008).

Una de las actividades que ha contribuido a generar esta problemática es la agricultura convencional y la ganadería industrial con modelos de producción que generan gases con efecto invernadero como metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), a través de diversos procesos y de insumos para la producción (Mauricio, 2012; Rousseau, 2013). Detener el proceso de calentamiento global no es posible, ya que, aunque se reduzcan las emisiones de los gases, los que actualmente están en la atmósfera tendrán un efecto de 100 años aproximadamente (Costa, 2007), razón por la cual se deben buscar alternativas tecnológicas que permitan la adaptación y mitigación a estas condiciones.

Uno de los efectos asociados al cambio climático es el aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos como huracanes, inundaciones y sequías, lo que va a afectar los recursos hídricos y la disponibilidad de los mismos para la población (IPCC, 2007). La pérdida de los recursos hídricos genera impactos económicos y sociales, lo que se convierte en un reto para el diseño de sistemas sostenibles de producción agropecuarios (Maleksaeidi y Karami, 2013), por lo tanto, la sociedad debe fomentar más las formas de resiliencia de los sistemas socioecológicos, en busca de reducir la vulnerabilidad de los sistemas de producción de alimentos (Folke et al., 2010; Ricardío, 2011).

La resiliencia es la capacidad de un sistema de retener su estructura organizacional y su productividad después de una perturbación, mientras que la resiliencia social es considerada

como la habilidad de las comunidades de construir su infraestructura social como soporte a shocks externos (Altieri y Nicholls, 2013), la resiliencia socioecológica es la capacidad que tienen los sistemas de adaptación, aprendizaje, innovación, novedad, auto-organización y la capacidad general de persistir luego de una perturbación (Folcke, 2006). Los sistemas son producto de un proceso co-evolutivo de grupos étnicos interactuando con la naturaleza, razón por la cual la resiliencia ecológica está íntimamente con la resiliencia social (Altieri y Nicholls, 2013).

El análisis de los sistemas agrícolas con su entorno a través de la resiliencia socioecológica es un abordaje adecuado, ya que las interacciones socioecológicas generan ajustes constantes en las dinámicas y estructuras del sistema (Ríos et al., 2013), aunque hay que comprobar si hay un efecto recíproco, donde ecosistemas resilientes son conducentes a comunidades resilientes (Walker et al., 2002).

Se han identificado algunas estrategias de manejo sustentable de recursos naturales para incrementar la resiliencia socioecológica en los agroecosistemas, prácticas adecuadas de manejo del suelo, el agua y el componente arbóreo, mejoran la matriz paisajística, donde la estructura del paisaje permite tener una mejor resiliencia frente a eventos climáticos (Chará et al., 2011), prácticas agroecológicas como la diversificación de cultivos, sistemas agroforestales, conservación y manejo orgánico de suelos, cosecha de aguas lluvia y restauración de tierras degradadas, mejoran la resiliencia de los agroecosistemas (Altieri y Nicholls, 2013), en la actualidad muchos agricultores campesinos se han adaptado a estas condiciones, reduciendo las pérdidas en la productividad a través de estas prácticas (Montalba et al., 2013).

La agroecología es una disciplina, que provee los principios ecológicos básicos sobre cómo estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas de manera sostenible, los sistemas agroecológicos son: productivos, conservan los recursos naturales, son culturalmente sensibles, socialmente y económicamente viables (Nicholls y Altieri, 2019); la agroecología suministra la base científica para alcanzar una productividad sostenible (Gliessman, 1998).

El diseño de sistemas sostenibles, debe considerar el enfoque sistémico y holístico de la agroecología, integrando la complejidad de los sistemas naturales y sociales (Monje, 2011), a partir del análisis participativo de los problemas facilitando la interacción del conocimiento local y el conocimiento técnico – científico en busca de alternativas de solución acordes con las condiciones sociales, económicas y ambientales de la región. La agroecología incorpora acciones sociales colectivas de carácter participativo, que contribuyen a solucionar la crisis ecológica y social de la agricultura campesina e industrial-capitalista en la región (Nicholls y Altieri, 2019; Martínez, 2009).

Las tecnologías agroecológicas enfatizan la diversidad, la sinergia, el reciclaje e integración, y los procesos sociales que valoran la participación de la comunidad (Gliessman, 1998). Los procesos de gestión y manejo comunitario sustentable de los recursos naturales y las prácticas agroecológicas, se pueden considerar como posible modelo alternativo a los postulados del discurso desarrollista y la globalización capitalista (Moreno, 2013). Varios estudios han demostrado como la agroecología contribuye a la adaptación y resiliencia de los sistemas agropecuarios después de fuertes eventos climáticos (Holt-Gimenez 2002; Rosset et al., 2011, citado por Altieri y Nicholls, 2013).

Existen diferentes modelos para la producción de alimentos como consecuencia de cambios tecnológicos motivados por factores sociales y económicos, como el crecimiento de la población, incremento de la pobreza y condiciones de hambre a lo largo de la historia de la humanidad (Milera, 2013). Un modelo de producción de alimentos promovido en la década de los sesenta después de la guerra, por agencias internacionales y que predomina en la actualidad es el denominado “revolución verde”, que inicialmente buscó intensificar la producción para reducir el hambre en la posguerra (Martínez, 2009).

Los modelos de producción convencionales o de revolución verde han generado problemas sociales, ambientales y económicos, además de cambios culturales en la sociedad, erosionando el conocimiento local sobre el manejo de las condiciones naturales de los ecosistemas (Chaves, 2011). Los sistemas convencionales simplifican el agroecosistema, eliminan la biodiversidad (estructural y funcional), originando un sistema artificial que requiere de intervención humana permanente, donde los agroquímicos reemplazan las interacciones y controles naturales que se presentan en el agroecosistema (Altieri y Nicholls, 2004).

Los sistemas de producción ganadera en Latinoamérica no escaparon a los cambios culturales globales, la complejidad de los ecosistemas tropicales fue simplificada a partir del cambio de uso del suelo de áreas con bosque, humedales o páramos, a monocultivo de gramíneas (Cubillos, 2011; Rivera et al., 2013), comúnmente manejadas extensivamente, sin suplementos y con problemas de sobrepastoreo (Giraldo, 2008).

Los efectos negativos de la ganadería convencional son más acentuados en algunas épocas del año, debido a las condiciones climáticas cambiantes en los ecosistemas tropicales (periodo de lluvias y de sequía), produciendo estacionalidad en la producción, con implicaciones sobre la eficiencia, la rentabilidad de los sistemas y la calidad de vida de los campesinos. Esta condición climática natural hace que se incremente la vulnerabilidad de los sistemas de producción de leche ante los nuevos escenarios de variabilidad y cambio climático (Velarde, 2012).

La agroforestería es una práctica agroecológica que contribuye a recuperar la biodiversidad estructural y funcional del sistema, permite diseñar y establecer sistemas ganaderos sostenibles con atributos de adaptación y mitigación al cambio climático (Murgueitio et al., 2011; Alonso, 2011).

La incorporación de árboles en los sistemas de producción ganaderos, vuelve más complejo el sistema, se presenta una reducción de los insumos, ya que las entradas proceden principalmente de procesos biológicos y no de combustibles fósiles o compuestos sintéticos (Murgueitio et al., 2011).

Los sistemas agroforestales pecuarios favorecen los procesos naturales que ayudan a recuperar y conservar el suelo mediante el ciclaje de nutrientes, el secuestro de carbono, el mantenimiento de la estructura edáfica y la fertilidad (Vallejo, 2013; Mbow et al., 2014; Seddaiua, 2013; Guevara et al., 2013). La cobertura arbórea en agroecosistemas ganaderos contribuye a regular el balance hídrico, al conservar agua y reducir la evaporación (Renda, 2006), mejorar el bienestar animal a través de la sombra a los animales (Navas, 2010; Esquivel, 2007), el control biológico (Rivera et al., 2013; Guevara et al., 2013) y aporte de forraje de alta calidad (Murgueitio et al., 2011; Sossa et al., 2013), mejorando la eficiencia productiva y reproductiva (Sousa et al., 2010) a la vez que permiten la intensificación sostenible (Milera, 2013).

Los campesinos cada vez son más conscientes del deterioro de los recursos naturales y de su importancia en la calidad de vida de las comunidades, reconocen que prácticas agroecológicas como los sistemas agrosilvopastoriles permiten la conservación de los recursos naturales (Moreno, 2013), la generación de servicios ecosistémicos (Garbacha et al., 2012) y la diversificación de la producción aspectos que contribuyen con la resiliencia de los sistemas a eventos climáticos extremos (Plata, 2012; Milera, 2013).

La incorporación de árboles en las fincas y la diversidad ha sido adoptada por muchos campesinos como estrategia de adaptación a la variabilidad climática (Nguyen et al., 2013), algunos productores identifican y han establecido diferentes arreglos silvopastoriles como estrategia de adaptación al cambio climático (Velarde, 2012; Tafur et al., 2010).

En la investigación se plantea la siguiente pregunta:

¿Cómo las interacciones que se presentan entre las diferentes dimensiones (biológica, social, económica y ambiental) favorecen o limitan la resiliencia socioecológica de sistemas de producción de leche frente al cambio climático, en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca)?

Los resultados de la investigación se presentarán en seis capítulos. El primero presenta una revisión de conceptos sobre el cambio climático y su efecto en los sistemas ganaderos, resiliencia y agroecología. Se analiza las causas del cambio climático, el impacto negativo de los modelos de producción de ganadería convencional y los efectos de los eventos climáticos extremos sobre esta actividad económica, se analizan y discuten las dimensiones de la resiliencia y la implicación de resiliencia socioecológica, finalmente se muestra las implicaciones de la agroecología en el rediseño de sistemas ganaderos sostenibles, los cuales incrementan su adaptación, mitigación y resiliencia socioecológica a condiciones de cambio climático.

El segundo capítulo presenta un análisis de comportamiento de diferentes sistemas de producción de leche de pequeños productores que realizan prácticas agroecológicas y convencionales en dos zonas de estudio. Muestra relaciones suelo –planta –animal bajo condiciones climáticas cambiantes en el tiempo, en el cual se presentan eventos climáticos extremos que limitan el desempeño de los sistemas, igualmente analiza las implicaciones del manejo de los recursos forrajeros y su impacto en la disponibilidad y calidad de alimento para los animales, lo que se refleja en la producción de leche. Finaliza con un análisis de similitud entre los sistemas evaluados por zona según las variables evaluadas.

El capítulo tres muestra los resultados del análisis del conocimiento local y la percepción de los pequeños productores de leche sobre el comportamiento de las condiciones meteorológicas y su efecto en los sistemas de producción de leche. Presenta la percepción de los productores frente a las causas del cambio climático, el conocimiento del clima en la zona, los eventos meteorológicos que afectan la actividad económica de sus predios, igualmente reconocen que recursos de producción se ven afectados por los eventos extremos. El capítulo finaliza con la percepción sobre el cambio climático en la región, las estrategias que identifican para la adaptación a estos eventos, además se realiza una discusión sobre el comportamiento climático, la producción de leche de los sistemas evaluados y la relación entre variables que afectan la producción en la zona de estudio.

El cuarto capítulo muestra el cambio del uso del suelo de la década del 60 a la fecha en las dos zonas de estudio. También hace una aproximación al comportamiento histórico de la precipitación y la temperatura, mostrando la variabilidad climática que se presenta en la zona, el análisis muestra el comportamiento de la precipitación por década y el promedio histórico por mes, el comportamiento de la temperatura máxima y mínima promedio histórica por mes y el índice de temperatura humedad máximo (ITHmax) y índice de temperatura humedad mínimo (ITHmin) por década y el promedio histórico por mes, como índice de estrés calórico en los animales. El análisis muestra las implicaciones climáticas que pueden limitar la producción de los sistemas de leche.

El capítulo quinto discute la importancia de los sistemas silvopastoriles en adaptación y resiliencia de los sistemas ganaderos a las condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático. Muestra resultados de investigación del efecto del componente leñoso sobre variables edáficas, producción y calidad de forraje, además el efecto microclimático que puede afectar el comportamiento al animal durante el día y en los diferentes meses del año.

Finalmente, el capítulo seis integra los resultados de investigación y diferentes aspectos de las dimensiones (social, económica y ambiental), a través de indicadores agroecológicos construidos y evaluados participativamente con los productores, a partir de herramientas cuantitativas y cualitativas, los cuales permitieron determinar para cada sistema la capacidad de resistencia-absorción (RAs), capacidad de recuperación (RCs) y capacidad de transformación (TRs), las cuales conforman la capacidad de resiliencia (CRs). Muestra la evaluación de resiliencia socioecológica de diferentes tipos de sistemas de lechería especializada de pequeños productores en la zona de estudio, mediante la determinación del índice general de resiliencia a la sequía (IGRs), el cual se construye a partir de determinación de la sensibilidad de los recursos naturales (SRNs) y la evaluación de la capacidad de resiliencia (CRs). Finalmente, se presenta un análisis de similitud para comparar los tipos de sistemas participantes en la investigación.

## **Bibliografía**

Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 45 (2)107.

Altieri, M; Nicholls, C. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología y cambio climático metodologías para evaluar la resiliencia socio-ecológica en comunidades rurales*. REDAGRES – CYTED. Lima, Perú. 7- 20 p.

Altieri, M; Nicholls, C. 2004. Una base agroecológica para el diseño de sistemas diversificados de cultivo en el Trópico. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*. 73: 8-20.

Altieri, M; Nicholls, C. 2010. Diseños agroecológicos para incrementar la biodiversidad de entomofauna benéfica en agroecosistemas – *Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA)*.

Chará, J; Murgueitio, E; Zuluaga, A; Giraldo, C. 2011. *Ganadería Colombiana Sostenible. Mainstreaming Biodiversity in Sustainable Cattle Ranching*. Fundación CIPAV. 158 p.

Chaves, J. 2011. Análisis multicriterio de la sustentabilidad ambiental de los sistemas productivos agropecuarios presentes en la alta montaña del complejo páramo de guerrero. Tesis de Maestría Universidad Nacional de Colombia. 155 p.

Costa, C. 2007. La adaptación al cambio climático en Colombia. *Revista de ingeniería*. 26: 74 - 80.

Cubillos, A. 2011. el proceso de transformación del páramo de guerrero por sistemas de ganadería bovina (1960-2010), con énfasis en políticas públicas. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia. 126 p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO. Tackling Climate Change Through Livestock. A global assessment of emissions and mitigation opportunities Roma. 2013. <http://www.fao.org/docrep/018/i3437e/i3437e00.htm>.

Field, CB; Barros, VR; Dokken, DJ; Mach, KJ; Mastrandrea, MD; Bilir, TE; et al. White LL. (eds.). IPCC: Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2014.

Folcke, C. 2006. Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change*. 16: 253–267.

Folke, C; Carpenter, S; Walker, B; Scheffer, M; Chapin, T; Rockstrom, J. 2010. Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology And Society*. 15:9.

Garbacha, K; Lubella, M; DeClerck, F. 2012. Payment for Ecosystem Services: The roles of positive incentives and information sharing in stimulating adoption of silvopastoral conservation practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 156: 27– 36.

Giraldo, O. 2008. Seguridad alimentaria y producción pecuaria campesina: el caso de la localidad rural de sumapaz. *Revista Luna Azul* 27: 49 – 59.

Gliessman, S. 1998. Agroecology: Ecological Process in Sustainable Agriculture. Ann Arbor Press, Ann Arbor, MI.

Guevara, L; Polania, Y; Pardo, J; Piñeros, R. 2013. Preferencia trófica de coleópteros coprófagos en dos usos del suelo en zonas de bosque seco tropical. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 26: suplemento.

Hall, J; Ashton, M; Garen, E; Jose, S. 2011. The ecology and ecosystem services of native trees: Implication for reforestation and land restoration in Mesoamerica. *Forest Ecology and Management*. 261: 1553–1557.

Holt-Gimenez, E. 2002. Measuring farmers' agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 93: 87-105.

Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC. 2007. Climate change: impacts, adaptation and vulnerability –summary for policymakers Contribución del Grupo de Trabajo II al Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. Cuarta Evaluación. Ginebra.

Martínez, R. 2009. Agricultura, alimentación y salud: debate crítico. *Perspect Nutr Humana*. 11:73-90.

Mauricio, R. 2012. Comment to “Pasture shade and farm management effects on cow productivity in the tropics” by Justin A.W. Ainsworth, Stein R. Moe, C. Skarpe [*Agric. Ecosyst. Environ.* 155 (2012) 105–110]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 161: 78–79.

Mbow, C; Van Noordwijk, M; Luedeling, E; Neufeldt, H; Minang, P; Kowero, G. 2014. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 6:61–67.

Milera, M. 2013. Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 17 (3): 7-24.

Montalba, R; García, M; Altieri, M; Fonseca, F; Vieli, L. 2013. Utilización del índice holístico de riesgo (ihr) como medida de resiliencia socioecológica a condiciones de escasez de recursos hídricos. Aplicación en comunidades campesinas e indígenas de la araucanía, Chile. *Agroecología y cambio climático metodologías para evaluar la resiliencia socioecológica en comunidades rurales*. REDAGRES – CYTED. Lima, Perú. 63 f- 70 p.

Moreno, J. 2013. La gestión comunitaria de recursos naturales, agrosilvopastoriles y pesqueros en la Sierra de Santa Marta, Veracruz, México: ¿una alternativa posible al discurso desarrollista y a la globalización capitalista? *Universitas humanística*. 75: 189-217.

Murgueitio, E; Calle, Z; Uribe, F; Calle, A; Solorio, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecol Manag* 261:1654-1663.

Nguyen, Q; Hoang, M; O'born, I; Noordwijk, M. 2013. Multipurpose agroforestry as a climate change resiliency option for farmers: an example of local adaptation in Vietnam. *Climatic Change*. 117:241-257.

Nicholls, C; Altieri, M. 2019. Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. *Cuadernos de Investigación* 11(1): 55-61.

Plata, O. 2012. Análisis ex ante del aprovechamiento maderable de árboles en potrero, con implementación de prácticas silviculturales, en sistemas silvopastoriles en Esparza, Costa Rica. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 106 p.

Ricardio, L. 2011. A modernização conservadora da agricultura brasileira, agricultura familiar, agroecologia e pluriatividade: diferentes óticas de entendimento e de construção do espaço rural brasileiro. *Cuadernos Desarrollo Rural*. 8 (67): 231-249.

Ríos, L; Salas, W; Espinosa, J. 2013. Resiliencia socioecológica de los agroecosistemas, mas que una externalidad. *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático*. Medellín, Colombia. 60-63 p.

Rivera, L; Armbrichta, I; Calle, Z. 2013. Silvopastoral systems and ant diversity conservation in a cattle-dominated landscape of the Colombian Andes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 181: 188– 194.

Rousseau, L; Fonteb, S; Téllez, O; Van der, R; Lavellea, P. 2013. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecological Indicators* 27: 71–82.

Sanfioenzo, A. 2008. Contribución de diferentes arreglos silvopastoriles a la conservación de la biodiversidad, mediante la provisión de hábitat y conectividad en el paisaje de la subcuenca del Río Copán, Honduras. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 101 p.

Seddaiua, G; Porcua, G; Leddaa, L; Roggeroa, P; Agnellib, A; Cortic, G. 2013. Soil organic matter content and composition as influenced by soil management in a semi-arid Mediterranean agro-silvo-pastoral system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 167: 1–11.

Sossa, C; Gaviria, X; Mejía, A; Suárez, J; Barahona, R; Lopera, J; Chará, J. 2013. Producción y calidad de leche en Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) del trópico bajo colombiano. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 26: suplemento.

Sousa, L; Maurício, R; Moreira, G; Gonc, L; Borges, I; Pereira, L. 2010. Nutritional evaluation of Braquiaraõ grass in association with Aroeira trees in a silvopastoral system. *Agrofor. Syst.* 79:179 – 189.

Tafur, O; Hurtado, E; Morales, J; Fajardo, D; Murgueitio, E; Solarte, A. 2010. Sistemas silvopastoriles para producción de leche en el piedemonte amazónico de Colombia sin incremento de la deforestación. *En: Resúmenes VI Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible. Multiplicación de los sistemas agroforestales y silvopastoriles para la adaptación y mitigación del cambio climático en territorios ganaderos.* (Ed. Ibrahim, M. y Murgueitio, E.). Panamá. 120 p.

Vallejo, V. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal.* 16 (1): 83 – 99.

Velarde, L. 2012. Evaluación de la percepción y los factores determinantes en la implementación de medidas de adaptación al cambio y variabilidad climática por los productores de leche de la cuenca del río La Villa, Panamá. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 94 p.

Walker, B; Carpenter, S; Anderies, J; Abel, N; Cumming, G; Janssen, M; Lebel, L; Norberg, J; Peterson, G; Pritchard, R. 2002. Resilience management in social- ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology* 6(1):14.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar de manera participativa la resiliencia socioecológica de diferentes tipos de sistemas de producción de leche de pequeños productores, a condiciones de variabilidad y cambio climático en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

### **Objetivos específicos**

1. Analizar el comportamiento suelo – pastura - animal de diferentes tipos de sistemas de producción de leche de pequeños productores, expuestos a condiciones de estacionalidad y variabilidad climática.
2. Identificar las prácticas agropecuarias implementadas por los productores, y su efecto en la construcción de resiliencia socioecológica de los diferentes tipos de sistemas de producción de leche de pequeños productores.
3. Analizar el comportamiento histórico de la precipitación y temperatura, y su efecto sobre los sistemas de producción de leche en Alisal y Suesca (Cundinamarca).
4. Determinar el efecto de los sistemas silvopastoriles presentes en la zona de estudio, en la construcción de resiliencia socioecológica de los sistemas de producción de leche de trópico alto, frente a condiciones de variabilidad y cambio climático.
5. Analizar el efecto de las relaciones sociales, económicas, políticas y ambientales que se presentan en el territorio sobre la construcción de resiliencia socioecológica de sistemas de producción de leche de pequeños productores a condiciones de variabilidad y cambio climático

## **Hipótesis**

1. Los diferentes tipos de sistemas de producción de leche de pequeños productores, presentan diferencias en el comportamiento y desempeño del suelo – pastura – y animales a condiciones de estacionalidad y variabilidad climática.
2. Las prácticas agropecuarias implementadas por los pequeños productores de leche tienen efecto en la construcción de resiliencia socioecológica de los sistemas, frente a eventos climáticos extremos.
3. El comportamiento de la precipitación y la temperatura durante el año afecta, los sistemas de producción de leche de pequeños productores de (Alisal y Suesca Cundinamarca).
4. Los sistemas silvopastoriles contribuyen a la construcción de resiliencia socioecológica de las fincas de pequeños productores de leche frente a condiciones de variabilidad y cambio climático.
5. Los aspectos sociales, económicos, políticos y ambientales que se presentan en el territorio influyen en la construcción de la resiliencia socioecológica de los sistemas de producción de leche de pequeños productores.

## **1. Cambio climático y resiliencia. Agroecología para el rediseño de sistemas ganaderos sostenibles**

### **Resumen**

Diferentes actividades realizadas por el hombre han causado la pérdida de ecosistemas estratégicos y ha acelerado procesos de calentamiento global, ambas condiciones han generado cambios climáticos que se ven reflejados en eventos extremos de variabilidad o cambios en el clima de los ecosistemas. Se presenta una revisión de conceptos y mecanismos mediante los cuales se está modificando el clima, cómo los sistemas de producción convencionales además del impacto negativo sobre el ambiente y los recursos naturales presentan alta vulnerabilidad a estos cambios afectando la seguridad alimentaria actual y futura, también se hace una reflexión y análisis de la importancia de entender la complejidad que se presenta al interior de los agroecosistemas, pero también de las relaciones externas en diferentes dimensiones que afectan la resiliencia socioecológica, se muestra la agroecología como alternativa para el desarrollo de sistemas ganaderos resilientes a condiciones climáticas extremas y la agroforestería como práctica agroecológica que contribuye a reducir la vulnerabilidad e incrementar la resiliencia socioecológica a nivel de finca y en la matriz de paisaje.

**Palabras clave:** adaptación, agroforestería, desarrollo rural, ganadería, vulnerabilidad

### **Abstract**

Different activities carried out by man have caused the loss of strategic ecosystems and accelerated global warming processes, both conditions have generated climate changes that are reflected in extreme events of variability or changes in the climate of ecosystems. A review of concepts and mechanisms through which the climate is being modified is presented, as well as how conventional production systems, in addition to the negative impact on the environment and natural resources, present high vulnerability to these changes, affecting current and future food security, makes a reflection and analysis of the importance of understanding the complexity that occurs within agroecosystems, but also of external relationships in different dimensions that affect socio-ecological resilience, agroecology is shown as an alternative for the development of livestock systems resilient to extreme climatic conditions and agroforestry as an agroecological practice that contributes to reducing vulnerability and increasing socio-ecological resilience at the farm level and in the landscape matrix.

**Keyword:** adaptation, agroforestry, rural development, livestock, vulnerability

## 1.1 Introducción

Los sistemas de producción ganaderos convencionales han contribuido a la pérdida de ecosistemas estratégicos (Rivera et al., 2013; Estupiñán et al., 2009), que prestan servicios ecosistémicos que favorecen diferentes actividades realizadas por el hombre. Los modelos agrícolas y pecuarios comúnmente basados en revolución verde simplifican los ecosistemas con monocultivos y hacen uso de altas cantidades de agroquímicos.

La actividad ganadera bajo este modelo convencional es considerada como uno de los mayores contribuyentes a la contaminación ambiental y emisores de gases con efecto invernadero (Seinfeld y Pandis, 1998; Solomon et al., 2007) ha generado problemas sociales y económicos dados sus bajos niveles productivos y de rentabilidad que se acentúan en las épocas de sequía mostrando el modelo alta vulnerabilidad a las épocas críticas y a eventos extremos de variabilidad climática (Velarde, 2012; Rueda et al., 2011; Cuartas et al., 2014).

Se espera que las condiciones climáticas generen una fuerte reducción en la producción de alimentos especialmente en zonas secas afectando en mayor medida a los pequeños productores (Altieri y Nicholls, 2008), incrementando el hambre y la falta de seguridad alimentaria (Parry et al., 2007; Field et al., 2014). Los sistemas ganaderos se verán afectados al reducirse la eficiencia productiva y reproductiva de los animales (Leyva et al., 2015; Ruiz et al., 2019; González y Wing Ching, 2018; Honig et al., 2016).

Se deben desarrollar sistemas sostenibles de producción que mitiguen el cambio climático y fomenten la resiliencia (Caron et al., 2018), los cuales deben ser impulsados por políticas que favorezcan el conocimiento y las capacidades en infraestructura social para cambiar los modelos de producción (Steenwerth et al., 2014; Abayineh y Belay, 2017).

La construcción de resiliencia socioecológica demanda del análisis complejo de los agroecosistemas y su relación interna y externa con su entorno (Folke, 2006; Altieri y Nicholls, 2013), la agroecología permite el desarrollo de la agricultura en armonía con el medio ambiente favoreciendo las relaciones y el desarrollo de las comunidades en el territorio (Hecht, 1999).

Existen diferentes prácticas agroecológicas que favorecen el diseño de sistemas ganaderos sostenibles, una de ellas son los sistemas agroforestales pecuarios los cuales generan impactos positivos en las relaciones suelo- pasto –animal – ambiente - hombre (Nahed et al., 2013; Murgueitio et al., 2011; Mbow et al., 2014), reduciendo la vulnerabilidad a condiciones climáticas extremas, su impacto no solo es sobre el agroecosistema ganadero, también es

sobre la matriz de paisaje (Chará et al., 2011; Harvey et al., 2008) incrementando la resiliencia socioecológica al establecerse una mejor estructura agroecológica.

Muchos campesinos han adoptado a los sistemas agroforestales pecuarios como estrategia de adaptación a la variabilidad y cambio climático (Nguyen et al., 2013; Velarde, 2012), lo que muestra la experiencia y el conocimiento local de los campesinos frente a la resiliencia que permiten los sistemas ganaderos agroecológicos.

El objetivo de este trabajo fue revisar los efectos de los sistemas ganaderos convencionales sobre el cambio climático y el impacto de estas condiciones climáticas sobre la actividad ganadera, además analizar y discutir la importancia de la agroecología en los procesos de reconversión ganadera hacia sistemas sostenibles y resilientes a condiciones climáticas actuales y futuras.

## **1.2 Variabilidad y cambio climático**

En la actualidad es común que las personas aseguren que los eventos climáticos que afectan diferentes actividades humanas sean consecuencia del cambio climático, no hay claridad en algunos conceptos sobre el tema. El clima se entiende como las condiciones meteorológicas medias que presenta un lugar durante un periodo prolongado (décadas), el cambio climático se comprende como los cambios de esas condiciones y fenómenos meteorológicos severos durante periodos de tiempo prolongados, por lo menos tres décadas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2013), también se comprende como las variaciones climáticas que se producen en los diferentes ecosistemas y que no guardan relación con las variaciones cíclicas (Semarnat, 2009).

La variabilidad climática corresponde a fluctuaciones observadas en el clima en periodos cortos durante los cuales se registran valores por encima o por debajo de lo normal (Montealegre y Pabón, 1999), corresponde a las oscilaciones de las variables climáticas alrededor de los valores normales que se presenta cíclicamente. Esto indica que posiblemente la situación climática que se presenta en la actualidad en muchos lugares no corresponda a causas de cambio climático, sino a condiciones de variabilidad climática. Comúnmente se puede confundir el clima con el tiempo atmosférico, el cual corresponde al comportamiento de un conjunto de fenómenos atmosféricos en un momento determinado, por ejemplo, los últimos ocho meses (IPCC, 2013).

El calentamiento global se considera la causa de los cambios que se están produciendo en el clima y las actividades humanas están generando este calentamiento mediante las emisiones de gases de efecto invernadero. La mayor parte de gases de efecto invernadero se generan de

forma natural y permiten mantener la temperatura en la atmósfera, incrementos en su concentración alteran el flujo natural de energía.

El calentamiento de la tierra es un proceso natural que el hombre ha acelerado a partir de la revolución industrial con diferentes actividades que buscan desarrollar un modelo económico que cada vez más personas siguen. En los últimos años las emisiones de gases han superado las concentraciones de cerca de 800.000 años (IPCC, 2014), esto debe permitir reflexionar sobre los modelos de desarrollo y las implicaciones en la sostenibilidad de los recursos naturales de una sociedad que crece y demanda cada vez más recursos.

Los principales gases emitidos por las actividades humanas se han incrementado de manera exponencial, incluso se dice que a las tasas actuales podrían superar las emisiones naturales, por ejemplo se menciona que las emisiones antropogénicas de óxido nitroso ( $N_2O$ ) en el 2017 llegaron al 40% del total y provinieron de la industria, aguas residuales, combustibles fósiles y actividades agrícolas de modelos de producción convencional principalmente (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2017).

La agricultura industrial se basa en el modelo de revolución verde el cual simplifica los ecosistemas y establece un modelo de altos insumos que lleva a la degradación de ecosistemas estratégicos, se calcula que este modelo de agricultura es responsable de cerca de 70% de emisiones de  $N_2O$  (Luque, 2015), con la promoción de la agricultura industrial en los modelos económicos que buscan incrementar la producción de alimento para abastecer a la población se estima un fuerte incremento en  $N_2O$  (Organización Meteorológica Mundial - OMM, 2019). Estudios muestran como las emisiones de  $CH_4$  y  $N_2O$  generadas por la agricultura afectan negativamente el producto ingreso bruto (Rehman, et al., 2020), este aspecto demanda la búsqueda de otras formas de producción de alimentos que tengan impactos positivos sobre el ambiente.

Otro gas de efecto invernadero asociado a la agricultura y en fuerte aumento es el metano ( $CH_4$ ) el cual se produce en alto porcentaje en las actividades ganaderas a partir de la fermentación entérica y la degradación del estiércol de las diferentes especies, especialmente en sistemas de producción intensivos a escala industrial y uso de combustibles fósiles (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018; Matthews, 2006; Ganesan et al., 2019).

El principal gas de efecto invernadero producido por las actividades humanas es el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), también ha presentado un fuerte crecimiento en las últimas dos décadas con incrementos cercanos a 147% con respecto a las concentraciones preindustriales. Este gas está asociado a diversas actividades como el transporte, electricidad y agricultura (Organización Meteorológica Mundial - OMM, 2019). Las emisiones en el 2019 alcanzaron 43 billones de toneladas métricas (Friedlingstein et al 2019, Jackson et al 2019).

El impacto de estos gases en la atmosfera varía según la capacidad de captura de la radiación y el tiempo de permanencia en la atmosfera, las moléculas de CH<sub>4</sub> tienen un impacto 25 veces más grande que el del CO<sub>2</sub> y persiste en la atmosfera alrededor de 12 años, mientras el N<sub>2</sub>O tiene un efecto de calentamiento de la atmósfera casi 300 veces más que el CO<sub>2</sub> y sus moléculas permanecen en la atmósfera durante un promedio de 114 años (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2017). El potencial de calentamiento de los gases depende de la capacidad de absorción de la radiación infrarroja térmica, lo que le confiere mayor potencial de calentamiento al CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (IPCC, 2014).

En la actualidad hay evidencia sobre el incremento de la temperatura a nivel global, cambios en los patrones de precipitación y severidad de eventos extremos. La temperatura media en 2019 se incrementó 1.1°C con respecto a la que se presentó en la época preindustrial y se estima que para el 2100 se incremente entre 1.4°C y 5.8°C (Organización Meteorológica Mundial, 2019). Estos incrementos de temperatura calientan el aire y la cantidad de agua evaporada aumenta generando incremento en las precipitaciones, las cuales no tendrán una distribución uniforme en el planeta, se estima que algunas zonas cada vez tendrán menos precipitaciones, mientras que en otras aumentará, lo que se atribuye a cambios en las corrientes aéreas y oceánicas (Land Trust Alliance, 2019), la predicciones mencionan incrementos en la precipitación media anual en zonas tropicales con eventos extremos y sequías intensas y largas en otras regiones del globo (IPCC, 2014). Tormentas, inundaciones y otros fenómenos meteorológicos extremos desplazaron cerca de 7 millones de personas en el primer semestre de 2019 (IDMC, 2019).

Estos nuevos escenarios climáticos afectarán la producción de alimentos en el mundo, los agricultores y productores tendrán que tomar medidas de adaptación, pero los pequeños campesinos, agricultores y productores serán los más afectados (Altieri y Nicholls, 2008; Tayengwa et al., 2020), muchos de ellos se encuentran en zonas marginales o de alto riesgo climático y aun peor desarrollando su actividad bajo modelos altamente vulnerables, demandantes de insumos externos, expuestos a la incertidumbre de los mercados internacionales. La toma de decisiones de los pequeños productores para adoptar opciones de adaptación pasa por factores socioeconómicos, institucionales y ambientales, no solo son aspectos técnicos, en gran medida influye el acceso al crédito, capital humano y el nivel educativo, por lo que es necesario mejorar las políticas de crédito para aumentar las capacidades de adaptación (Abayineh y Belay, 2017).

La adaptación se entiende como los cambios en los procesos, prácticas y estructuras para moderar los daños potenciales o para beneficiarse de las oportunidades asociadas al cambio climático (IPCC, 2014), lo que implica tomar acciones orientadas a preservar la resiliencia e incrementar la capacidad adaptativa de los agroecosistemas y de los actores sociales del

sector agropecuario (Oyhantçabal et al., 2010), es claro que las intervenciones tendientes a promover y facilitar la adaptación al cambio climático no deben estar desligadas de las intervenciones sociales, culturales y sanitarias (Sánchez et al., 2020), por lo tanto es necesario contar con políticas públicas enfocadas en la mitigación de los gases de efecto invernadero, promoviendo al mismo tiempo la adaptación ante el cambio climático (López y Hernández, 2016).

En diferentes esferas se ha dado desde hace varias décadas un debate sobre la adaptación al cambio climático y el desarrollo, en el cual algunas dimensiones se contraponen y otras se refuerzan mutuamente ha sido difícil llegar a un punto de encuentro, lo cierto es que se debe repensar el desarrollo, la adaptación requiere un desarrollo transformador que tenga en cuenta a todos, contemple aspectos de equidad, justicia y los principios de sostenibilidad (Schippera et al., 2020).

Las medidas de adaptación demandan una verdadera comprensión del efecto del cambio climático por lo que es necesario un análisis disciplinario, interdisciplinario y transdisciplinario para establecer acciones y prioridades que permitan cambios transformadores en la agricultura en un clima cambiante (Steenwerth et al., 2014), la participación de los campesinos y agricultores a través de sus conocimientos y la investigación que hacen en sus predios debe promoverse y aumentarse para tener una comprensión holística de las opciones de adaptación de los agricultores (Abayineh y Belay, 2017).

Las medidas que permitan incrementar la adaptación deben permear las políticas de agricultura y de sistemas alimentarios de manera que fomenten sistemas sostenibles de producción que mitiguen el cambio climático y fomenten la resiliencia (Caron et al., 2018), por lo tanto, además de conocimiento se necesita crear la capacidad y los cambios en el comportamiento humano e infraestructura social para cambiar los modelos de producción (Steenwerth et al., 2014; Abayineh y Belay, 2017). La importancia de los sistemas alimentarios para el desarrollo sostenible está en el nexo entre la seguridad alimentaria, nutrición y salud humana, viabilidad de los ecosistemas, cambio climático y justicia social. (Caron et al., 2018)

### **1.2.1 Efecto del cambio climático sobre los sistemas ganaderos**

Comúnmente se menciona los efectos de los sistemas ganaderos sobre el calentamiento global y el cambio climático, es menos frecuente que se mencione el efecto del calentamiento global y el cambio climático sobre los sistemas de producción ganadera y cómo esta relación se ha convertido en un ciclo vicioso en el cual uno afecta al otro y con el tiempo los efectos son mayores.

Existen diferentes sistemas de producción ganadera, intensivos, extensivos, en confinamiento, de agricultura familiar, etc, un punto en común es que la mayoría se desarrollan bajo modelos convencionales o denominados de revolución verde, siguiendo un modelo económico de desarrollo que ha generado diversos problemas sociales, económicos y ambientales. El cambio tecnológico por parte de los campesinos ha sido fomentado por las políticas públicas a través de las instituciones de asistencia técnica y desarrollo, generando cambios culturales en el territorio (Chaves, 2011; Cubillos, 2011).

En la actualidad la producción de proteína de origen animal se ha incrementado en algunas regiones del mundo, las cuales han incrementado las emisiones de gases efecto invernadero, se observa un fuerte incremento en América Latina y el Caribe, Asia oriental y sudoriental, seguido de América del Norte, principalmente Estados Unidos (tabla 1-1), mientras que en Europa se observa una reducción en las emisiones (Gerber et al., 2013). Existen diferencias entre regiones en los sistemas de producción pecuaria que predominan, por ejemplo, en América Latina se ha incrementado la producción carne y leche vacuna, mientras que en regiones como América del Norte las emisiones provienen de cerdos pollos y leche. En Colombia del total de emisiones (0.36% de las emisiones mundiales) la agricultura y la ganadería aportan 36% (Nieves y Olarte, 2008).

**Tabla 1-1.** Emisiones totales generadas por sistemas pecuarios en diferentes regiones (gigatoneladas de CO<sub>2</sub>-eq).

<b>Región</b>	<b>gigatoneladas de CO<sub>2</sub>-eq</b>
América Latina y el Caribe	1.3
Asia Oriental y Sudoriental	1
América del Norte	0.6
Europa Occidental	0.6
Asia Meridional	0.6

Adaptado de: (Gerber et al., 2013)

El sector pecuario emite alrededor de 7,1 gigatoneladas de CO<sub>2</sub>-eq lo que representa el 14,5% de las emisiones antropogénicas, el CH<sub>4</sub> es el gas con mayor emisión (tabla 1-2) debido a los procesos entéricos que se presentan en las especies rumiantes (IPCC, 2007). El ganado vacuno aporta el 84% del total de CH<sub>4</sub> emitido por el sector pecuario, del cual 89% lo emiten los sistemas estabulados de carne y doble propósito, 10% los sistemas de lechería especializada y 1% el resto de animales de granja (FAO, 2009).

**Tabla 1-2.** Emisiones globales de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (gigatoneladas de CO<sub>2</sub>-eq/año) del sector pecuario y porcentaje de las emisiones antropogénicas al año.

<b>Gas efecto invernadero</b>	<b>% de emisiones del sector pecuario</b>	<b>gigatoneladas de CO<sub>2</sub>-eq/año</b>	<b>(%) emisiones antropogénicas/año</b>
CO <sub>2</sub>	27	2	5
CH <sub>4</sub>	44	3,1	44
N <sub>2</sub> O	29	2	53

Adaptado de: (Gerber et al., 2013)

El ganado vacuno es el principal generador de emisiones del sector pecuario con 4,6 gigatoneladas de CO<sub>2</sub>-eq que corresponde al 65%, los vacunos de carne generan las mayores emisiones, mientras que los vacunos de leche emiten al año 1,4 gigatoneladas de CO<sub>2</sub>-eq (tabla 1-3) que corresponde al 20% (Gerber et al., 2013).

**Tabla 1-3.** Emisiones globales totales de por especie pecuaria (gigatoneladas de CO<sub>2</sub>-eq/año)

<b>Especie</b>	<b>% de emisiones del sector pecuario</b>	<b>gigatoneladas de CO<sub>2</sub>-eq/año</b>
Vacunos de carne	41	2.9
Vacunos de leche	20	1.4
Cerdos	9	0.7
Aves de corral	8	0.6
Búfalos	8	0.6
Pequeños rumiantes	6	0.5

Adaptado de: (Gerber et al., 2013)

Los sistemas ganaderos intensivos se ubican como uno de los mayores contribuyentes a la contaminación ambiental, principalmente por las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de la fermentación entérica que se estiman en 39% (Seinfeld y Pandis, 1998), pero el sistema además emite 45% en la producción y elaboración de balanceados, 10% en el manejo del estiércol y 6% en la elaboración y transporte de productos pecuarios (Grain, 2010). Las emisiones globales del sector pecuario están altamente relacionadas con procesos productivos que caracterizan a los sistemas convencionales como la utilización de balanceados comerciales, fertilizantes sintéticos y establecimiento de monocultivos (tabla 1-4).

**Tabla 1-4.** Emisiones globales de las cadenas de suministro pecuario (%)

<b>Fuente de emisión</b>	<b>Emisión (%)</b>
Estiércol aplicado y depositado, N <sub>2</sub> O	16.4
Fertilizantes y residuos agrícolas, N <sub>2</sub> O	7.7
Piensos: arroz, CH <sub>4</sub>	0.4
Piensos, CO <sub>2</sub>	13
Cambio uso tierra: soja, CO <sub>2</sub>	3.2
Cambio uso tierra expansión pastizales, CO <sub>2</sub>	6
Entérico, CH <sub>4</sub>	39.1
Manejo del estiércol, CH <sub>4</sub>	4.3
Manejo del estiércol, N <sub>2</sub> O	5.2
Energía indirecta, CO <sub>2</sub>	0.3
Energía directa, CO <sub>2</sub>	1.5
Posterior a la granja, CO <sub>2</sub>	2.9

Adaptado de: (Gerber et al., 2013)

Además de las emisiones de gases efecto invernadero los sistemas ganaderos convencionales a partir del modelo de revolución verde han generado otros impactos negativos sobre el medio ambiente como la degradación y extinción masiva de ecosistemas (Bohórquez et al., 2011; Hall et al., 2011; Sanfiorenzo, 2008), deforestación (Giraldo, 2008), pérdida de la biodiversidad, erosión de suelos y contaminación de fuentes hídricas (Mauricio, 2012; Rousseau et al., 2013; Estupiñán et al, 2009).

Una externalidad negativa generada por estos modelos de producción es la pérdida de servicios ecosistémicos como la regulación hídrica que hacen ecosistemas como los páramos, los cuales son intervenidos cambiando el uso del suelo a actividades agropecuarias que por las dinámicas territoriales comúnmente terminan en sistemas ganaderos extensivos (Chaves, 2011; Cubillos, 2011). Se estima que la introducción del paquete de revolución verde en ecosistemas de trópico alto provocó en los últimos 70 años, la reducción de 65% de la vegetación de bosque alto andino y 47% de la vegetación de páramo (Chaves, 2011).

Esta forma de hacer ganadería además de los impactos ambientales ha generado problemas sociales y económicos dados sus bajos niveles productivos y de rentabilidad que se acentúan en las épocas de sequía mostrando el modelo alta vulnerabilidad a las épocas críticas y a eventos extremos de variabilidad climática (Velarde, 2012), la magnitud del impacto depende entre otros factores del tipo de sistema ya sea intensivo o extensivo (Oyhantçabal et al., 2010; Steinfeld et al., 2009; Jarvis et al., 2010).

La mayoría de los modelos de cambio climático predicen que la productividad podría reducirse hasta en 50%, especialmente en zonas secas lo que afectaría en mayor grado el

bienestar de las familias de los pequeños productores (Altieri y Nicholls, 2008), esta situación como consecuencia se asocia al incremento del hambre y la falta de seguridad alimentaria (Parry et al., 2007; Field et al., 2014), también se espera que tenga impacto directo en la organización social del sistemas de producción (Lorente-Saiz A, 2010).

Los impactos directos de la variabilidad y cambio climático en los sistemas ganaderos se presentan afectando las relaciones suelo – planta – animal. Los sistemas convencionales se basan en el monocultivo de pasturas, las cuales con el incremento de temperatura han incrementado las concentraciones de lignina que limita el aprovechamiento de los nutrientes contenidos en la pastura (Cárdenas, 2008; Garzón, 2011). El aumento de la variabilidad climática reduce la disponibilidad de forrajes en la época seca afectando el desempeño genético de los animales, además incrementa los requerimientos de agua de bebida (Oyhantcabal et al., 2010, Dulal et al., 2011).

La reducción o ausencia de alimentos y agua podría desencadenar enfermedades en los animales reduciendo la productividad, pero además se podría dar la emergencia y reemergencia de enfermedades vectoriales que pueden afectar la salud humana /animal (Porretta, 2013; Sánchez et al., 2020).

Incrementos en la temperatura ambiental, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar generan condiciones de estrés calórico en los animales reduciendo su potencial productivo (Arias et al., 2008; Pavan et al., 2019). La temperatura ambiental es la principal causa de estrés por calor en los animales, mientras que la humedad relativa es un factor potencial de estrés, ya que acentúa las condiciones de las altas temperaturas (Da Silva 2006; Johnson, 1987; Hahn et al., 2003) y reduce la efectividad en la disipación de calor por sudoración y respiración (Renaudeau, 2005).

La radiación de onda corta y onda larga tienen un fuerte impacto en la carga total de calor y en el estrés por calor en los animales (Keren y Olson 2006). El efecto de esta variable depende en cierta medida del color de la piel de los animales, siendo mayor en razas con piel de color oscuro, en las cuales se presentan mayores tasas de respiración, mayor jadeo y mayor temperatura superficial (Brown-Brandl et al., 2006). El viento durante las épocas de lluvia o en horas de bajas temperaturas genera estrés por frío incrementando la pérdida de calor en el animal (Mader et al, 2006; Keren y Olson (2006), por tanto, los animales deben invertir más energía de la dieta en procesos de termorregulación.

Los animales en estrés calórico disminuyen el consumo voluntario de alimento (Alnaimy et al., 1992; Leyva et al., 2015), así haya forraje en los potreros, lo que lleva a la reducción del desempeño productivo y reproductivo (Cowan et al., 1993; Ruiz et al., 2019; González y Wing Ching, 2018). Algunos signos clínicos o manifestaciones reproductivas asociadas a estrés calórico se ven reflejadas en corta duración y baja intensidad del celo (Aréchiga, 2000;

Vélez y Uribe, 2010), cese de la ovulación (Montiel et al., 2019), menor desarrollo embrionario (Castaño et al., 2014; Honig et al., 2016), interferencia con la espermatogénesis y disminución de la calidad del semen (McDowell, 1972; Coelho et al., 2006; Ríos et al., 2013).

La baja eficiencia productiva y económica de los modelos ganaderos convencionales estimula en los productores a incrementar la ampliación de la frontera agrícola, debido a la baja productividad por unidad de área que se presenta en el corto tiempo por la degradación del suelo y el efecto de las condiciones climáticas sobre los recursos de producción.

El panorama no es alentador cuando se estima que para el año 2050 la producción mundial de alimentos tendrá que aumentar en 60 % para cubrir el incremento en la demanda. Esta producción tendrá que lograrse usando tierras que ya están siendo cultivadas, bajo la primicia de producir más y utilizando menos recursos naturales, por lo que se enfrenta la necesidad de crear ambientes eco-eficientes para la adaptación al cambio climático (FAO, 2013) y donde los sistemas basados en revolución verde han demostrado no ser el modelo productivo que necesita la sociedad.

Los nuevos retos de producción de alimentos, nuevos escenarios climáticos, dinámicas territoriales y los acuerdos internacionales (protocolos de Montreal, Kyoto, cumbres de Copenhague y Cancún), demandan nuevos modelos de producción que den respuesta a los problemas complejos que presentan los sistemas de producción de alimentos (Sánchez et al., 2020).

### **1.3 Resiliencia en sistemas de producción ganadera**

La resiliencia puede ser abordada desde diferentes áreas del conocimiento, se podría decir que es la capacidad que tiene un sistema de soportar un fenómeno, evento o shock sin perder su estructura o función (Carpenter et al., 2001; Manyena, 2006; Martin-Breen y Anderies, 2011), además la capacidad de autoorganizarse, aprender y adaptarse (Folke, 2006; Friend y Moench, 2013). Los sistemas de producción son dinámicos, las relaciones que se presentan no son solo biológicas, también están influenciados por condiciones sociales, económicas y ambientales que presentan interacciones de alta complejidad, se puede considerar la resiliencia como la capacidad de hacer frente a eventos inesperados en el largo plazo (Holling (2001).

Las aproximaciones sociales hablan de la resiliencia social como la habilidad de las comunidades de resistir choques a su infraestructura social (Adger, 2000), donde los capitales que tenga una comunidad determinan la resiliencia, el social (confianza, redes, normas que

se traducen en cooperación y coordinación), el económico, el humano (salud, educación, que se reflejan en una alta capacidad de desarrollo), el físico y el natural (Mayunga, 2007).

La resiliencia está determinada por varias funciones, la capacidad de resistencia-absorción, recuperación y transformabilidad (Vázquez et al, 2019; Darnhofer, 2014). Diferentes áreas de conocimiento proponen funciones similares en el proceso de análisis como la magnitud del disturbio, la estructura política, la variedad de grupos que desarrollan diferentes funciones y la naturaleza de los procesos de aprendizaje (Carpenter et al., 2001), mientras que otros autores con un enfoque de adaptación climática proponen que la resiliencia se basa en conceptos como los múltiples estados de los sistemas, la capacidad adaptativa, la normatividad, las compensaciones y el gobierno (Nelson et al., 2007).

La complejidad de los sistemas y de las interacciones (social, económica, ambiental, política, etc) que se presentan dentro y fuera, demanda de un análisis integral al momento de determinar la resiliencia, lo que hace necesario integrar la resiliencia social considerada como la habilidad de las comunidades de construir su infraestructura social como soporte a shocks externos y la ecológica la cual a través de la diversificación (funcional, estructural, temporal) del sistema y el mejoramiento de las condiciones del suelo reduce la vulnerabilidad de los agroecosistemas, los sistemas son producto de un proceso coevolutivo de grupos étnicos interactuando con la naturaleza (Altieri y Nicholls, 2013). La resiliencia socioecológica es la capacidad que tienen los sistemas de adaptación, aprendizaje, innovación, novedad, auto-organización y la capacidad general de persistir luego de una perturbación (Folke, 2006).

Uno de los efectos asociados al cambio climático es el aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos como huracanes, inundaciones y sequías, situación que afectará los recursos hídricos y su disponibilidad para la población (IPCC, 2007). La pérdida de los recursos hídricos genera impactos económicos y sociales, lo que se convierte en un reto para el diseño de sistemas sostenibles de producción agropecuaria, por lo tanto, la sociedad debe fomentar más las formas de resiliencia socioecológica en busca de reducir la vulnerabilidad de los sistemas de producción de alimentos (Folke et al., 2010).

El análisis de los sistemas agrícolas con su entorno a través de la resiliencia socioecológica es un abordaje adecuado ya que las interacciones socioecológicas generan ajustes constantes en las dinámicas y estructuras del sistema (Ríos et al., 2013), aunque hay que comprobar si hay un efecto recíproco, donde ecosistemas resilientes son conducentes a comunidades resilientes (Walker et al., 2002).

Para incrementar la resiliencia socioecológica de los agroecosistemas ganaderos frente a eventos climáticos, se han identificado algunas estrategias de manejo sustentable de recursos naturales, prácticas adecuadas de manejo del suelo, agua, pasturas y animales. Aunque las medidas en la finca son importantes, la mayor resiliencia se logra al transformar la matriz de

paisaje agrícola convencional a una de paisaje agroecológico, es importante entender las dinámicas territoriales (aspectos sociales, económicos, políticos y culturales) para diseñar una matriz que permita la conectividad y conservación de ecosistemas estratégicos (bosques, humedales y páramos) a través de sistemas agroforestales que contribuyan a reestablecer los servicios ecosistémicos y a soportar eventos o perturbaciones. Los recientes cambios climáticos exigen replantear la forma como se está conduciendo el sector pecuario e implementar sistemas sostenibles que mantengan la resiliencia de los sistemas ganaderos (Sánchez, et al., 2020).

#### **1.4 Agroecología - prácticas para incrementar la adaptación y resiliencia socioecológica**

La agroecología es una ciencia con un enfoque de agricultura ligada al medio ambiente y sensible socialmente, es decir que además de analizar la producción se centra en la sostenibilidad ecológica del sistema de producción, su acción va más allá de los límites del sistema, involucra múltiples características sobre la producción y la sociedad (Hecht, 1999).

Esta ciencia busca dar respuesta a la complejidad que se presenta dentro de los sistemas de producción y su interacción con el entorno de manera integral (social, económico, ambiental, político, etc) contribuyendo al desarrollo de sistemas sostenibles como alternativa a los modelos de producción convencionales (Monje, 2011). Tiene nuevas aproximaciones teóricas y prácticas que permiten el análisis ambiental de los agroecosistemas (Callicot, 1988; Sevilla, 2006), suministra la base científica para alcanzar una productividad sostenible, (Gliessman, 1998), los principios permiten estudiar, diseñar y establecer agroecosistemas con atributos de adaptación y resiliencia socioecológica a condiciones de variabilidad y cambio climático (Altieri, 2013; Altieri et al., 2015).

El enfoque agroecológico permite reconvertir fincas a través de la diversidad, la sinergia, el reciclaje e integración, junto a procesos sociales que valoran la participación comunitaria y empoderamiento (Gliessman, 1998; Altieri et al, 2012), donde las comunidades son la base de su propio desarrollo fomentando la organización de los campesinos (Salas et al., 2012; Guzmán y Alonso, 2007), favoreciendo el desarrollo local con distribución equitativa de los beneficios y la conservación de los derechos de los pueblos (Gaston, et al. 2009). Además, recupera el conocimiento ancestral a través del intercambio de saberes y mediante redes de campesinos difunde prácticas que ofrecen soluciones locales (Casagrande et al., 2017), en la actualidad algunas comunidades han demostrado innovación y resiliencia, utilizando una diversidad de estrategias para enfrentar las sequías, inundaciones, huracanes, etc. (Nicholls y Altieri, 2019).

La agroecología ofrece diferentes prácticas que permiten reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia en los agroecosistemas. La adición de materia orgánica al suelo, activación de

la biología del suelo, cobertura del suelo, policultivos, sistemas agroforestales, diversificación de cultivos, mantenimiento de la genética local, cosecha de agua lluvia, son algunas estrategias que utilizan los sistemas tradicionales (Nicholls y Altieri, 2019). La diversidad aumenta la estabilidad del funcionamiento de un ecosistema (Tilman et al., 2006), lo que le confiere mayor resiliencia ante eventos extremos como sequías o desastres climáticos (Oesterheld, 2008; Altieri y Koochafkan, 2008; Holt-Gimenez, 2002).

Una práctica agroecología que permite diseñar sistemas ganaderos sostenibles son los sistemas agroforestales pecuarios (silvopastoriles o agrosilvopastoriles), los cuales incorporan el componente leñoso perenne en los sistemas de producción animal, esta práctica tiene múltiples beneficios en la relación suelo – planta – animal –ambiente al incrementar la diversidad funcional y estructural.

Las interacciones que se presentan entre los componentes en los sistemas agroforestales pecuarios pueden ser positivas (facilitación) o negativas (de interferencia), por tanto, se deben seleccionar bien las especies que se van a asociar, tener claro el objetivo y el arreglo silvopastoril para tener impactos positivos en los sistemas de producción. La competencia entre árboles y pastura por radiación solar, agua y nutrientes puede producir una reducción en la producción de forraje, al igual que otras que se dan entre el árbol y el animal y que deben hacer parte del manejo del sistema.

Existen diferentes tipos o arreglos silvopastoriles, como los bancos forrajeros, pasturas en callejones, pastoreo en plantaciones de frutales y maderables, cercas vivas, cortinas rompe vientos, árboles dispersos en potreros (Pezo e Ibrahim 1999) y sistemas multiestrato de media y alta densidad, los cuales tienen gran importancia en el diseño de sistemas ganaderos agroecológicos. Los arreglos están determinados por la distancia de siembra del componente leñoso y la forma como se organizan los árboles en las áreas de producción, lo que le permite al campesino o productor flexibilidad en el diseño y diversificar la producción (árboles multipropósito).

El incremento en la resiliencia socioecológica a las condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático de los sistemas ganaderos, se presenta por efectos biológicos, económicos, sociales y ambientales. Estos sistemas cumplen con estándares de certificación de ganaderías orgánicas sustentables (Nahed et al., 2013), lo que les permite acceder a mercados diferenciados. Los sistemas silvopastoriles reducen la necesidad en la compra de insumos, ya que las entradas proceden principalmente de procesos biológicos y no de combustibles fósiles o compuestos sintéticos (Murgueitio et al., 2011; Mbow et al, 2014), lo que permite mejorar la eficiencia económica y ser menos vulnerables a incrementos en los precios de los insumos, además producir alimentos y otros productos para el autoconsumo o la venta.

Los sistemas silvopastoriles permiten la intensificación sostenible; entendida como el incremento de la producción a partir de la misma área, al tiempo que se reducen los efectos negativos para el medio ambiente, se aumenta la contribución al capital natural y el flujo de servicios ambientales, que constituyen un objetivo estratégico medioambiental (Milera, 2013). Beneficios como el secuestro y almacenamiento de carbono y la conservación de la biodiversidad, demuestra la necesidad imperiosa de introducir la agroforestería como herramienta fundamental para la producción animal en el trópico, a partir de la implantación y generalización de tecnologías adaptables al cambio climático (Alonso, 2011).

La diversificación realizada a través de especies arbóreas, favorece los procesos naturales y las interacciones biológicas, como el ciclaje de nutrientes, el control biológico, el almacenamiento de carbono, el mantenimiento de la estructura edáfica y la fertilidad (Vallejo, 2013; Esquivel, 2007), la presencia de árboles en los potreros permite potenciar la actividad biológica del suelo y garantizar la estabilidad del sistema (Sánchez, 2007; Escobar et al., 2020). La cobertura arbórea en agroecosistemas ganaderos contribuye a regular el balance hídrico, al conservar agua y reducir la evaporación (Renda, 2006),

La reducción de insumos en los sistemas silvopastoriles es principalmente por la eliminación de fertilizantes gracias al incremento de nutrientes en el suelo, producto del ciclaje de nutrientes y la fijación de nitrógeno atmosférico que hacen algunas especies arbóreas, especialmente las leguminosas. El mayor ingreso de materia orgánica que proviene de los distintos estratos arbóreos, proporciona una amplia variedad de sustratos para los microorganismos edáficos, incrementando su actividad y las poblaciones que participan activamente en el ciclaje de nutrientes (Vallejo et al., 2012). Bajo la copa de los árboles se presenta mayor cantidad de P y K disponible, posiblemente por la mayor deposición de materia orgánica proveniente de la hojarasca de los árboles (Rodríguez, 2011; Romero, 2010; Escobar et al., 2020).

Es evidente que el cambio en el uso del suelo tiene efectos considerables sobre la estructura y sobre la composición de la comunidad microbiana; sin embargo, se ha observado una rápida respuesta (menor a cinco años), así como una restauración de la comunidad y una rápida resiliencia en sistemas silvopastoriles después de la reconversión de pasturas convencionales (Vallejo, 2013; Navas, 2019), lo que permite la recuperación de áreas con pasturas degradadas y reducción de procesos de desertificación.

Los sistemas silvopastoriles albergan mayor riqueza de organismos, especialmente lombrices de tierra, además de mayores índices de diversidad y uniformidad de éstos; lo que indica que la presencia de árboles en los potreros permite potenciar la actividad biológica del suelo y garantizar la estabilidad del sistema (Sánchez, 2007; Escobar et al., 2020). En la actualidad un indicador de la salud y calidad del suelo, es la presencia de especies de lombriz de tierra, quienes cumplen un papel importante al ayudar a descompactar el suelo (Rousseau et al.,

2013) y a mejorar los indicadores físicos y químicos; también son estimuladoras de otros organismos edáficos (Sánchez y Hernández, 2011). Otras especies importantes en el ciclaje de nutrientes y en la salud del suelo son los coleópteros coprófagos, quienes también se encuentran en mayor cantidad en los sistemas silvopastoriles, dadas sus condiciones microclimáticas benéficas para la macrofauna edáfica (Guevara et al, 2013; Escobar et al., 2020).

Los beneficios de los árboles en el suelo son producto de una serie de interacciones complejas, entre las que se puede mencionar las asociaciones mutualistas que las leñosas establecen con microorganismos como las micorrizas, las cuales colonizan biotróficamente la corteza de la raíz sin causar daño a la planta, llegando a ser fisiológica y morfológicamente parte integrante de dicho órgano (Molina et al, 2005). Se sabe que las micorrizas tienen un papel muy importante en el desarrollo de las plantas y en el ciclaje de nutrientes en el ecosistema (Molina et al, 2005), pero también se plantea otro efecto indirecto, como es el aumento en la eficiencia de otros microorganismos que tienden a asociarse con las micorrizas, tales como *Rizhobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*; que a su vez incrementan la captación de nutrientes para las plantas (Maldonado y Ramírez, 1997).

Las ectomorrizas también tienen efectos en la salud de las plantas, el ciclaje de nutrientes y la economía del agua; protegen la raíz ya que reciclan los carbohidratos, aminoácidos y otros compuestos producidos por las raíces, capaces de atraer agentes patógenos (Molina et al., 2005); absorben agua y, por lo tanto, permiten mayor resistencia de la planta a la sequía (Corredor, 2003; citado por Molina et al., 2005).

La producción de forraje depende en buena medida de la capacidad que tiene el suelo en retener agua, además del balance hídrico que se presente en el sistema. La siembra de árboles tiene un efecto positivo sobre la conservación de agua en sistemas ganaderos, debido a la reducción de la pérdida de agua a través de escorrentía y a la reducción en la tasa de evaporación, lo que es importante especialmente en ecosistemas secos, favoreciendo la resiliencia a eventos climáticos extremos (Renda, 2006).

La estacionalidad en la producción de forrajes en los ecosistemas tropicales limita el desempeño de los animales en los sistemas ganaderos, los sistemas agroforestales pecuarios tienen la capacidad de ofrecer alimento a lo largo del año de calidad y en cantidades suficientes para que los animales expresen su potencial genético (Murgueitio et al, 2011; Pérez, 2011; Cuartas et al., 2014; Navas y Montaña, 2019). Los árboles en las pasturas proporcionan frutos de mayor calidad nutritiva que los pastos, proporcionando alimento adicional para el ganado durante la época seca (Esquivel, 2007).

Las especies arbóreas utilizadas en alimentación animal hacen aportes principalmente de proteína, nutriente limitante en ecosistemas de trópico bajo, la producción y calidad del

forraje durante todo el año permite reducir el impacto negativo de las épocas críticas y de los eventos extremos, donde los sistemas en monocultivo son altamente vulnerables y poco resilientes (Navas y Montaña, 2019). Si bien en los sistemas agroforestales pecuarios se ha incrementado la diversidad a partir de especies arbóreas, es importante incorporar especies que tengan diferentes objetivos al suministro de forraje, entendiendo que los sistemas agroecológicos buscan generar múltiples interacciones (suelo - planta – animal – comunidad - ambiente).

En el diseño de los sistemas silvopastoriles es fundamental conocer la magnitud de las interacciones que se presentan entre los componentes, por ejemplo, la sombra que generan los árboles a las gramíneas puede reducir la producción de forraje (Esquivel, 2007) sin embargo, ciertos niveles de sombra, por el contrario, pueden incrementar la producción de forraje al estimular el crecimiento de las gramíneas. Existen pocas gramíneas para pastoreo que se adaptan a la sombra proyectada por el dosel de los árboles (Piñeros et al., 2009), niveles mayores a 29% de sombra pueden afectar el crecimiento de la pastura (Ainsworth et al., 2012). Los campesinos mantienen de 11 a 37% de cobertura de árboles multipropósito en los potreros, para no reducir el crecimiento del pasto, pero además para tener forraje en las épocas críticas (Ramírez et al., 2012).

Un efecto poco mencionado en la promoción de los sistemas silvopastoriles es el control natural de plagas y enfermedades que afectan al forraje, los sistemas silvopastoriles propician diferentes hábitats para especies insectiles, gracias al microclima que favorece su desarrollo, además esto permite que se establezcan interacciones complejas que implican un mayor equilibrio entre fitófagos y biorreguladores (Alonso et al., 2011). El microclima generado por los árboles, favorece también, a especies de polinizadores, coprófagos y descomponedores de materia orgánica (Murgueitio et al., 2011).

Las hormigas cumplen un papel ecológico importante, el número de especies de hormigas incrementa a medida que aumenta la cobertura arbórea, siendo los sistemas multiestrato intensivos los que mayor número de especies albergan (Rivera et al., 2013). El aumento significativo en la riqueza y diversidad de macrofauna del suelo, aves e insectos asociados, se presenta en mayor medida en sistemas con mayor cobertura arbórea lo que muestra el incremento de estas poblaciones a lo largo del tiempo en el sistema (Alonso et al., 2007).

El uso de árboles en sistemas de producción tropical tiene un efecto positivo en la reducción del estrés calórico al generar microclimas en las áreas de pastoreo, estos permiten a los animales mantenerse en ambientes con temperaturas dentro o cerca de zona de termoneutralidad (Navas, 2010; Barragan et al., 2015). Los microclimas generan condiciones para que los animales tengan mejor desempeño productivo y reproductivo (Luedeling et al., 2014), se ha encontrado que las vacas bajo sistemas con sombra presentaron mejor desempeño productivo, mayores niveles de progesterona y consumo animal, gracias a un

mejor funcionamiento de sus mecanismos compensatorios (Souza, 2003). El microclima generado por los sistemas silvopastoriles en áreas de pastoreo incrementó el consumo voluntario de materia seca, disminuyó el consumo de agua e incrementó el tiempo de pastoreo (Souza et al., 2010; Jarvis et al., 2010), aspectos importantes para considerar en el diseño de sistemas que se adapten al cambio climático.

Los beneficios y la magnitud de las interacciones que se presentan en los sistemas agroforestales pecuarios dependen del tipo de arreglo y especies utilizadas; el incremento en la cobertura arbórea, diversidad de especies y número de estratos incrementa la resiliencia. Los sistemas silvopastoriles multiestrato en alta densidad mejoran la productividad y sostenibilidad de la ganadería, vacas que pastorearon estos sistemas presentaron mejor comportamiento reproductivo, con bajo uso de suplementación externa; además mostraron buenos parámetros de producción y calidad composicional de la leche, esto se puede atribuir al manejo del sistema y a la mayor oferta y calidad nutricional del forraje en los potreros (Sossa et al., 2013).

La utilización de especies arbóreas o/y arbustivas en las dietas de los bovinos es importante, especialmente en trópico bajo, donde las pasturas tienen bajo contenido de proteína cruda y este puede afectar el consumo voluntario, en sistemas agroecológicos la diversificación de especies forrajeras permite hacer mezclas que incrementan los aportes nutricionales a los animales y tienen efectos aditivos y/o asociativos. Estudios muestran incrementos de 21,8% en el consumo voluntario cuando suministró una mezcla de forraje de leguminosas, con relación a dietas donde no se suministró la mezcla (Pérez, 2011).

Estudios realizados muestran que la producción de forraje en sistemas silvopastoriles con moderado nivel de sombra fue similar al pasto en monocultivo, pero observaron diferencias considerables en la calidad nutricional, siendo mejor el forraje en el sistema silvopastoril donde se incrementó de la proteína cruda del pasto lo que contribuyó a mejorar la ganancia de peso de las novillas con relación a las que pastoreaban el monocultivo de gramíneas (Paciullo et al., 2011), el mismo comportamiento en producción de forraje lo reportan otros estudios (Navas et al., 2020; Obispo et al., 2008; Romero et al., 2020), a diferencia de otros autores que encontraron mayor producción de forraje bajo la copa de los árboles (Gómez et al., 2016; Oliva et al., 2018). Igualmente, otros trabajos reportan mayor calidad nutricional del forraje que crece bajo los árboles (Navas et al., 2020; Obispo et al., 2008; Barragan y Cajas, 2019; Oliva et al., 2018; Romero et al., 2020), lo que se puede explicar posiblemente por las especies arbóreas de estos estudios que fueron leguminosas.

Las condiciones microclimáticas presentes en los sistemas silvopastoriles favorecen el desempeño de los animales y su adaptación a las condiciones del agroecosistema, beneficios como la sombra, la calidad y disponibilidad de alimento a lo largo del año, permiten a los animales soportar cargas parasitarias (ectoparásitos y hemoparásitos) que en otras

condiciones pueden afectar su desempeño (Navas, 2003). Los sistemas silvopastoriles generan ambientes que permiten el incremento de las poblaciones de controladores naturales de parásitos, como garrapatas y moscas, además favorece la dinámica de descomposición de heces que alojan huevos y formas larvarias de parásitos internos (Sáenz et al., 2007; Giraldo et al., 2011; Guevara et al., 2013).

Los sistemas agroecológicos son menos vulnerables y más resilientes a condiciones de cambio climático que los agroecosistemas convencionales, pero aun así presentan cierto nivel de riesgo, por lo tanto, se deben establecer procesos de reconversión que permitan cambiar la matriz del paisaje agrícola.

Los campesinos cada vez son conscientes del deterioro de los recursos naturales y de su importancia en la calidad de vida de las comunidades, al igual de la incertidumbre del mercado cuando dedican sus recursos al monocultivo, el cual está sujeto a la inestabilidad de los precios. Algunos campesinos reconocen la importancia de los sistemas agrosilvopastoriles en la conservación de los recursos naturales (Moreno, 2013) y los beneficios sobre sus predios. La posibilidad de acceder a nuevos mercados que busquen productos de calidad, producidos bajo sistemas naturales que ofrezcan bienestar a los animales (Broom y Ning 2012), hace que este tipo de sistemas sea atractivo para los campesinos y que facilite el cambio de paradigma en la forma de producir, dinamice los procesos de transformación del territorio y de la matriz de paisaje.

El incremento de la cobertura arbórea y el intercambio de saberes con las comunidades sobre especies leñosas multipropósito, efectos positivos en los sistemas ganaderos, usos y posibilidades económicas (diversificación de la producción), facilita la reconversión de los sistemas convencionales, transformando la matriz a paisajes agroecológicos. Este nuevo paisaje debe integrar las áreas agrícolas y ganaderas con ecosistemas estratégicos como bosques nativos, humedales, sabanas naturales y otros ecosistemas (Chará et al., 2011), esto se puede lograr a través del uso de diferentes arreglos agroforestales que permiten la conectividad (Harvey et al., 2008) incrementando la resiliencia socioecológica al establecerse una mejor estructura agroecológica.

Los sistemas silvopastoriles multiestrato de alta densidad conforman redes de conectividad más eficientes, debido a su diversidad estructural y funcional, aunque en general los diferentes arreglos silvopastoriles generan hábitat para organismos más tolerantes a la perturbación (Sanfiorenzo, 2008). La diversidad de árboles que se encuentra en el paisaje está influenciada por procesos naturales o antropogénicos, estos últimos por aspectos sociales, económicos y/o culturales (Ordonez et al., 2014). El incremento en la diversidad de especies arbóreas, es importante en el diseño de los sistemas agroecológicos ya que permite establecer mayor diversidad funcional, los sistemas silvopastoriles son una alternativa eficiente de conservación y producción (Mastrangelo y Gavin, 2012). Además, proveen

servicios ecosistémicos los cuales pueden ser reconocidos a través del pago por servicios ambientales a aquellos campesinos que adopten prácticas silvopastoriles que conserven los ecosistemas y que proporcionan beneficios públicos (Garbach et al., 2012).

La agroforestería contribuye a mejorar la seguridad alimentaria (Mbow et al., 2014) al incrementar la productividad primaria del agroecosistema ganadero (Murgueitio et al., 2013; Milera, 2013), ayuda a la mitigación del cambio climático al incrementar los depósitos de carbono en el suelo y la vegetación leñosa (Murgueitio et al., 2011) y reducir las emisiones de metano por mayor eficiencia de los procesos fermentativos en el rumen del ganado, lo que se refleja la reducción de emisiones de metano por kilo de carne o leche producida y menores pérdidas de nitrógeno hacia la atmósfera por rápido y eficiente reciclaje de excretas (Murgueitio et al., 2013), por lo que se puede considerar como una estrategia costo – efectiva para mitigar el cambio climático, ya que los árboles en las fincas almacenan carbono en el suelo y en la madera, reducen las emisiones de gases con efecto invernadero del suelo y al mismo tiempo incrementan la resiliencia de los sistemas (Smith y Olesen, 2010).

La incorporación de diversidad de árboles a las fincas en diferentes arreglos silvopastoriles ha sido adoptada por muchos campesinos como estrategia de adaptación a la variabilidad y cambio climático (Nguyen et al., 2013; Velarde, 2012), lo que muestra la experiencia y el conocimiento local de los campesinos frente a la resiliencia que permiten los sistemas ganaderos agroecológicos.

## **1.5 Conclusiones**

Gran parte de los sistemas ganaderos convencionales tienen efectos negativos sobre los recursos naturales y son fuertes impulsores del calentamiento global y el cambio climático, además generan problemas sociales y económicos por los altos costos de producción, lo que los hace vulnerables a la volatilidad de los mercados.

Estos sistemas también presentan alta vulnerabilidad y tienen baja capacidad de respuesta ante la estacionalidad climática, eventos extremos o cambio climático, lo que predispone a la humanidad a una fuerte reducción de alimentos necesarios para una población creciente. Los campesinos y pequeños productores que basan su sistema productivo en el modelo de revolución verde son los más afectados ante los nuevos escenarios climáticos.

La resiliencia socioecológica demanda de análisis complejo de las condiciones internas de los agroecosistemas y su relacionamiento social, económico, ambiental, político, etc con el entorno. La agroecología permite a través de diferentes prácticas, incrementar la resiliencia de los sistemas ganaderos al mejorar las relaciones suelo – planta – animal – ambiente dentro de las fincas y el relacionamiento social de los productores con sus familias y con la

comunidad, pero además con el cambio de matriz de paisaje en la cual se favorece la conectividad de las fincas con ecosistemas estratégicos.

## 1.6 Bibliografía

Abayineh, A; Belay, S. 2017. Determinants of smallholder farmers' decision to adopt adaptation options to climate change and variability in the Muger Sub basin of the Upper Blue Nile basin of Ethiopia. *Agriculture & Food Security* 6:64.

Adger, W. 2000. Social and Ecological Resilience: Are They Related? *Progress in Human Geography* 24(3):347–64.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. 2017. Descripción general de los gases de efecto invernadero. Seattle: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero#main-content>

Ainsworth, J; Moe, S; Skarpe, C. 2012. Pasture shade and farm management effects on cow productivity in the tropics. *Agric. Ecosyst. Environ.* 155: 105 – 110.

Alnaimy, A; Habeeb, M; Fayaz, I; Marai, M; Kamal, T. 1992. Heat stress. In: Alive Phillips and D. Piggins. *Farm animals and the environment*. CAB International, UK, University Press, Cambridge. Chapter 2, p. 27 - 47.

Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 45, (2)107.

Alonso, J; Valenciaga, V; Sampaio, R; Demolin, G. 2007. Zoological diversity associated to a silvopastoral system leucaena-guinea grass with different establishment times. *Pesq. agropec. bras.* 42(12).

Alonso, O; Lezcano, J; Milera, M. 2011. El contexto fitosanitario en sistemas de pastoreo racional con gramíneas y en silvopasturas. En: André Voisin: *Experiencia y aplicación de su obra en Cuba*. (Editora: Milera, M.). 443 pp.

Altieri, M. 2013. Construyendo resiliencia socio-ecológica en agroecosistemas: algunas consideraciones conceptuales y metodológicas. *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático*. REDAGRES – CYTED. Medellín, CO. 94- 104 p.

Altieri, M; Funes, F; Petersen, P. 2012. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agron. Sustain. Dev* 32:1–13.

Altieri, M; Koohafkan, P. 2008. Enduring farms: climate change, smallholders and traditional farming communities. *Environment and Development. Series 6*. Malaysia: Third World Network.

Altieri, M; Nicholls, C. 2008. Los impactos del cambio climático sobre las comunidades Campesinas y de agricultores tradicionales y sus Respuestas adaptativas. *Agroecología* 3: 7-28.

Altieri, M; Nicholls, C. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología y cambio climático metodologías para evaluar la resiliencia socio-ecológica en comunidades rurales*. REDAGRES – CYTED. Lima, Perú. 7- 20 p.

Altieri, M; Nicholls, C; Henao, A; Lana, M. 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agron. Sustain. Dev* 35:869–890.

Aréchiga, F. 2000. Efectos adversos del estrés calórico en la reproducción del ganado bovino. En Hernández Cerón J Editor. *Mejoramiento Animal: Reproducción*. México (DF). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia:135-150.

Arias, R; Mader, T; Escobar, P. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivo de Medicina Veterinaria*. 40 (1): 7-22.

Barragan, W; Mahecha, L; Cajas, Y. 2015. Variables fisiológicas-metabólicas de estrés calórico en vacas bajo silvopastoreo y pradera sin árboles. *Agron. Mesoam* 26(2):211-223.

Barragán, W; Cajas, Y. 2019. Cambios bromatológicos y estructurales en *Megathyrus maximus* bajo cuatro arreglos silvopastoriles. *Rev Cienc Tecnol Agropecuaria*. (20)2:231-244. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol20\\_num2\\_art:1458](https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1458)

Bohórquez, A; Sanín, D; Silva, N. 2011. Estructura y composición arbórea de los bosques del diablo (San Felix, Salamina, Caldas), selva altoandina de la cordillera central colombiana. *bol.cient.mus.hist.nat*. 16 (2): 39 – 52.

Broom, D; De ning agricultural animal welfare: from a sustainability and product quality viewpoint. En: Bazer FW, Rollin BE, editors. *Animal Welfare in Animal Agriculture*, 84 - 91, WG Pond, CRC Press: Boca Raton FL, USA, 2012.

Brown-Brandl, T; Nienaber, J; Eigenberg, R; Mader, T; Morrow, J; Dailey, J. 2006. Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livestock Science*. 105: 19-26.

Callicott, B. 1988. Agroecology in context. *Journal of Agricultural Ethics* 1: 3-9.  
Cárdenas, E. Implicaciones ambientales de la producción bovina. 2008. Carta Universitaria. Universidad Nacional. Bogotá, Colombia. p. 8-9

Cárdenas, E. Implicaciones ambientales de la producción bovina. 2008. Carta Universitaria. Universidad Nacional. Bogotá, Colombia. p. 8-9

Caron, P; Ferrero, G; Loma, O; Nabarro, D; Hainzelin, E; Guillou, M; Andersen, I; Arnold, T... otros. 2018. Food systems for sustainable development: proposals for a profound four-part transformation. *Agronomy for Sustainable Development* 38: 41

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

Casagrande, M; Alletto, L; Naudin, C; Lenoir, A; Siah, A; Celette, F. 2017. Enhancing planned and associated biodiversity in French farming systems. *Agron. Sustain. Dev* 37: 57.

Castaño, F; Rugeles, C; Betancur, C; Ramírez, C. 2014. Impacto del estrés calórico sobre la actividad reproductiva en bovinos y consideraciones para mitigar sus efectos sobre la reproducción. *Revista Biosalud*. 13 (2): 84-94.

Chará, J; Murgueitio, E; Zuluaga, A; Giraldo, C. 2011. *Ganadería Colombiana Sostenible. Mainstreaming Biodiversity in Sustainable Cattle Ranching*. Fundación CIPAV. 158 p.

Chaves, J. 2011. Análisis multicriterio de la sustentabilidad ambiental de los sistemas productivos agropecuarios presentes en la alta montaña del complejo páramo de guerrero. Tesis de Maestría Universidad Nacional de Colombia. 155 p.

Coelho, I; Sasa, A; Nader, C. 2006. Características do ejaculado de caprinos sob estresse calórico em câmara bioclimática. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec*. 58: 544-549.

Cowan, R; Moss, R; Kerr, D. 1993. Northern dairy feed base, summer feeding systems. *Tropical Grasslands*. 27:150-161.

Cuartas, C; Naranjo, J; Tarazona, A; Murgueitio, E; Chará, J; Vera, J; Solorio, F; Flores, M; Sánchez, B; Barahona, R. 2014. Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Rev Colomb Cienc Pecu* 27:76-94.

Cubillos, A. 2011. el proceso de transformación del páramo de guerrero por sistemas de ganadería bovina (1960-2010), con énfasis en políticas públicas. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia. 126 p.

Da Silva, R. 2006. Weather and climate and animal production. In: Update of the guide to agricultural meteorological practices. WMO-No.134 published in 1982.

Darnhofer, I. 2014. Resilience and why it matters for farm management. *European Review of Agricultural Economics* 41(3):461-484.

Dulal, HD; Brodnig, G; Shah, KU. 2011. Capital assets and institutional constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Mitig Adapt Strat Glob Change* 16:1-23.

Escobar, M; Navas, A; Medina, C; Corrales, J; Tenjo, A; Borrás, L. 2020. Efecto de prácticas agroecológicas sobre características del suelo en un sistema de lechería especializada del trópico alto colombiano. *Livestock Research for Rural Development*. 32, (58).

Esquivel, H. 2007. Tree resources in traditional silvopastoral systems and their impact on productivity and nutritive value of pastures in the dry tropics of Costa Rica. Tesis de PhD. CATIE, Costa Rica. 161 p.

Estupiñán, L; Gómez, J; Barrantes, V; Limas, L. 2009. Efecto de actividades agropecuarias en las características del suelo en el páramo el granizo, (Cundinamarca - Colombia). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 12 (2): 79-89.

Food and Agriculture Organization of the United Nations- FAO. La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones. Roma. 2009. <http://www.fao.org/docrep/011/a0701s/a0701s00.htm>.

Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO. Tackling Climate Change Through Livestock. A global assessment of emissions and mitigation opportunities Roma. 2013. <http://www.fao.org/docrep/018/i3437e/i3437e00.htm>.

Field, CB; Barros, VR; Dokken, DJ; Mach, KJ; Mastrandrea, MD; Bilir, TE; et al. White LL.

(eds.). IPCC: Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2014.

Folcke, C. 2006. Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change*. 16: 253–267.

Folke, C; Carpenter, S; Walker, B; Scheffer, M; Chapin, T; Rockstrom, J. 2010. Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology And Society*. 15:9.

Friedlingstein, P; Matthews, W; O’Sullivan, M; Robbie, M; Hauck, J; Peters, G;... et al .2019. Global Carbon Budget 2019. *Earth Syst. Sci. Data* 11:1783–1838

Friend, R; Moench, M. 2013. What is the purpose of urban climate resilience? Implications for addressing poverty and vulnerability. *Urban Climate* 6:98-113.

Ganesan, A; Schwietzke, S; Poulter, B; Arnold, T; Lan, X; Rigby, M; Vogel, F... et al. 2019. Advancing scientific understanding of the global methane budget in support of the Paris Agreement *Glob. Biogeochem Cycles* 33(12):1475–1512.

Garbacha, K; Lubella, M; DeClerck, F. 2012. Payment for Ecosystem Services: The roles of positive incentives and information sharing in stimulating adoption of silvopastoral conservation practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 156: 27– 36.

Garzón, J. 2011. Cambio climático: ¿cómo afecta la producción ganadera? *REDVET Rev. electrón. Vet*, 12 (8).

Gaston, J; Vera, L; Vieli, L; Montalba, R. 2009. Conceptos unificadores para la sustentabilidad de la agricultura: Elementos teóricos para el desarrollo de la agroecología. *Vertientes del pensamiento agroecológico* (Altieri M ed), Medellín. p 11-44.

Gerber, PJ; Steinfeld, H; Henderson, B; Mottet, A; Opio, C; Dijkman, J; Falcucci, A; Tempio, G. 2013. Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma.

Giraldo, C; Escobar, F; Chará, J; Calle, Z. 2011. The adoption of silvopastoral systems promotes the recovery of ecological processes regulated by dung beetles in the Colombian Andes. *Insect Conserv Divers* 4:115-122.

Giraldo, O. 2008. Seguridad alimentaria y producción pecuaria campesina: el caso de la localidad rural de sumapaz. *Revista Luna Azul*. 27: 49 – 59.

Gliessman, S. 1998. *Agroecology: Ecological Process in Sustainable Agriculture*. Ann Arbor Press, Ann Arbor, MI.

Gómez, M; Navarro, O; Pérez, CA. 2016. Evaluación de la frecuencia de corte del pasto guinea mombaza (*Megathyrsus maximus, Jacq*), en condiciones de sol y sombra natural en el municipio de Sampués, Sucre-Colombia. *Rev Colomb Cienc Anim*. 8(Supl):283-292.  
<https://doi.org/10.24188/recia.v8.n0.2016.383>

González, J; Wing Ching, R. 2018. Producción y reproducción de vacas Holstein, Jersey y sus cruces en cinco localidades de Costa Rica. *UNED Research Journal*. 10 (2): 422-427.

Grain. *Campo y crisis climática. Soberanía Alimentaria. Biodiversidad y Culturas*. Barcelona. 2010.

Guevara, L; Polania, Y; Pardo, J; Piñeros, R. 2013. Preferencia trófica de coleópteros coprófagos en dos usos del suelo en zonas de bosque seco tropical. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 26: suplemento.

Guzmán, G; Alonso, A. 2007. La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable. *Ecosistemas*. 16 (1): 24-36.

Hahn, G; Mader, T; Eigenberg, R. 2003. Perspectives on development of thermal indices for animal studies and management. *Proc Symp Interactions between climate and animal production, EAAP, Technical series N° 7*, p 31-44.

Hall, j; Ashton, M; Garen, E; Jose, S. 2011. The ecology and ecosystem services of native trees: Implication for reforestation and land restoration in Mesoamerica. *Forest Ecology and Management*. 261: 1553–1557.

Harvey, CA; Villanueva, C; Ibrahim, M; Gómez, R; López, M; Stefan, K; Sinclair, F. 2008. Productores, árboles y producción ganadera en paisajes en América Central: implicaciones para la conservación de la biodiversidad. In: Harvey C, Sáenz J, editors. *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica* Santo Domingo de Heredia. Costa Rica: INBio p.197-224

Hecht, S.1999. La evolución del pensamiento agroecológico. *Agroecología bases para una agricultura sustentable*. (Altieri M. ed), Montevideo. p 15-30.

Holling C. 2001. Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems* 4(5):390-405.

Holt-Gimenez, E. 2002. Measuring farmers' agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 93: 87-105.

Honig, H; Ofer, L; Kaim, M; Jacobi, S; Shinder, D; Gershon, E. 2016. The effect of cooling management on blood flow to the dominant follicle and estrous cycle length at heat stress. *Theriogenology*. 86 (2): 626-634.

IDMC. 2019. IDMC Mid-Year Figures: Internal Displacement from January to June 2019 (Geneva: IDMC).

Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC. 2014. Climate Change 2014. Synthesis report- Summary for policymakers. Ginebra.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. 2013. Cambio climático 2013: Bases físicas, contribución del grupo de trabajo I al Quinto informe de evaluación del IPCC, Glosario, 22 p En: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI\\_AR5\\_glossary\\_ES.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. 2007. Mitigación del Cambio Climático: Contribución del Grupo de trabajo III al cuarto informe de evaluación del IPCC (Vol. 4). Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. 2007. Climate change: impacts, adaptation and vulnerability –summary for policymakers Contribución del Grupo de Trabajo II al Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. Cuarta Evaluación. Ginebra.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland. 2014. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. 2014. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change ed O Edenhofer et al (Cambridge: Cambridge University Press)

Jackson, R; Friedlingstein, P; Andrew, R; Canadell, J; Le Quéré, C; Peters, G. 2019. Persistent fossil fuel growth threatens the Paris Agreement and planetary health. *Environ. Res. Lett.* 14(12): 121001

Jarvis, A; Touval, J; Castro, M; Sotomayor, L; Graham, G. 2010. Assessment of threats to ecosystems in South America. *J Nat Conservat* 18:180-188.

Johnson, H. 1987. Bioclimate effects on growth, reproduction and milk production of livestock. In Johnson HD editor. *Bioclimatology and Adaptation of Livestock*. World Animal Science B - 5. Amsterdam: Elsevier Scientific Publication. p. 2 - 26.

Keren, E; Olson, B. 2006. Thermal balance of cattle grazing winter range: Model application. *Journal Animal Science*. 84:1238-1247.

Land Trust Alliance. 2019. *Altered Precipitation*. Washington: Land Trust Alliance. Obtenido de <https://climatechange.lta.org/climate-impacts/changing-water-regimes/altered-precipitation/>

Leyva, J. C; Armenta, C; Zamorano, A; Thomas, M; Rincon, G; Medrano, J; Rivera, A; Reyna, G; Luna, N. 2015. Variables climáticas asociadas a la producción de leche en vacas Holstein criadas bajo condiciones de estrés por calor del Valle del Yaqui, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. 11 (1): 1-11.

López, A; Hernández, D. 2016. Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El trimestre económico* 4 (332):459-496.

Lorente-Saiz A. 2010. Ganadería y cambio climático: una influencia recíproca. *GeoGraphos. Revista Digital para Estudiantes de Geografía y Ciencias Sociales* 1(3):1-22.

Luedeling, E; Huth, I; Kindt, R; König, K. 2014. Agroforestry systems in a changing climate - challenges in projecting future performance. *Curr Opin Environ Sustain*. 6:1-7.

Luque, J. 2015. El óxido nitroso y su influencia en el calentamiento global, provincia de Manabí, Ecuador. *Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM* 18 (35):75-82.

Mader, T; Davis, M; Brown-Brandl, T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal Animal Science*. 84:712-719.

Maldonado, J; Ramírez, G. 1997. Efecto de la inoculación con hongos micorrizógenos en almácigos de café (*coffea arábica*) Variedad Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Tesis, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín. p. 3 – 83.

Manyena, S. 2006. The Concept of Resilience Revisited. *Disasters* 30(4):433–450.

Martin-Breen, P; Anderies, M. 2011. Resilience: A literature review. Brighton: Institute of Development Studies, The Resource Alliance, The Rockefeller Foundation.

Mastrangelo, M; Gavin, M. 2012. Trade-offs between cattle production and bird conservation in an agricultural frontier of the Gran Chaco of Argentina. *Conserv. Biol.* 26: 1040 –1051.

Matthews, C. 2006. La ganadería amenaza al medio ambiente. Roma: FAO Sala de prensa. Obtenido de <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>

Mauricio, R. 2012. Comment to “Pasture shade and farm management effects on cow productivity in the tropics” by Justin A.W. Ainsworth, Stein R. Moe, C. Skarpe [*Agric. Ecosyst. Environ.* 155 (2012) 105–110]. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 161: 78–79.

Mayunga, J. 2007. Understanding and Applying the Concept of Community Disaster Resilience: A Capital-Based Approach. Paper prepared for the summer academy Megacities as Hotspots of Risk: Social Vulnerability and Resilience Building. Munich, Germany, 22–28 July 2007. Available at: <https://www.ehs.unu.edu/file/get/3761>.

Mbow, C; Van Noordwijk, M; Luedeling, E; Neufeldt, H; Minang, P; Kowero, G. 2014. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 6:61–67.

McDowell, R. 1972. Improvement livestock production. In warm climates. W.H. Freeman and company, San Francisco. p 22.

Milera, M. 2013. Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente. *Avances en Investigación Agropecuaria.* 17 (3): 7-24.

Molina, M; Mahecha, L; Medina, M. 2005. Importancia del manejo de hongos micorrizógenos en el establecimiento de árboles en sistemas silvopastoriles. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias.* 18 (2):162 – 175.

Monje, J. 2011. La agroecología: un marco de referencia para entender sus procesos en la

investigación y la praxis. Revista Luna Azul. 32: 128 – 134.

Montealegre, J; Pabón, J. 1999. Variabilidad climática interanual asociada al ciclo el niño, la niña – oscilación del sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

Montiel, L; Estrada, E; Espinosa, M; Mellado, M; Hernández, J; Martínez, G; Vera, H. 2019. Factores de riesgo a nivel de establo asociados con el desempeño reproductivo en el sistema de producción de leche a pequeña escala en México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 10 (3): 676-691.

Moreno. J. 2013. La gestión comunitaria de recursos naturales, agrosilvopastoriles y pesqueros en la Sierra de Santa Marta, Veracruz, México: ¿una alternativa posible al discurso desarrollista y a la globalización capitalista? Universitas humanística. 75: 189-217.

Murgueitio, E; Calle, Z; Uribe, F; Calle, A; Solorio, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. Forest Ecol Manag 261:1654-1663.

Murgueitio, E; Chará, J; Solarte, A; Uribe, F; Zapata, C; Rivera, J. 2013. Agroforestería Pecuaria y Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. Revista Colombiana Ciencias Pecuarias. 26:313-316.

Nahed, J; Sanchez, B; Mena, Y; Ruiz, J; Aguilar, R; Castel, J; Ruiz, F; Orantes, M; Manzur, A; Cruz, J; Delgadillo, C. 2013. Feasibility of converting agrosilvopastoral systems of dairy cattle to the organic production model in southeastern Mexico. Journal of Cleaner Production. 43: 136 -145.

Navas, A. 2003. Influencia de la cobertura arbórea de sistemas silvopastoriles en la distribución de garrapatas en fincas ganaderas en el bosque seco tropical. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 77 p.

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: 113:122.

Navas, A. 2019. Bancos forrajeros de *Moringa oleifera*, en condiciones de bosque húmedo tropical. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 20(2):207-218.

Navas, A; Aragón, L; Triana, J. 2020. Efecto del componente arbóreo sobre la dinámica de crecimiento y calidad nutricional de una pradera mixta en trópico alto. Rev Med Vet. 41:71-82. doi: <https://doi.org/10.19052/mv.vol11.iss41.7>

Navas, A; Montaña, V. 2019. Comportamiento de *Tithonia diversifolia* bajo condiciones de bosque húmedo tropical. Rev Inv Vet Perú 2019; 30(2):721-732.

Nelson, D; Adger, W; Brown, K. 2007. Adaptation to Environmental Change: Contributions of a Resilience Framework. Annual Review of Environment and Resources 32:395–419.

Nguyen, Q; Hoang, M; O'born, I; Noordwijk, M. 2013. Multipurpose agroforestry as a climate change resiliency option for farmers: an example of local adaptation in Vietnam. Climatic Change. 117:241-257.

Nicholls, C; Altieri, M. 2019. Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. Cuadernos de Investigación 11(1): 55-61.

Nieves, H; Olarte, C. 2008. Resumen técnico módulo agricultura de inventario nacional GEI años 2000 y 2004. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), Colombia. p 3 – 9.

Obispo, N; Espinoza, Y; Gil, J; Ovalles, F; Rodríguez, M. 2008. Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximum*) en un sistema silvopastoril. Zootecnia Trop 26(3).

Oesterheld, M. 2008. Impacto de la agricultura sobre los ecosistemas. Fundamentos ecológicos y problemas más relevantes. Ecología Austral. 18 (3):337- 346.

Oliva, M; Valqui, L; Meléndez, J. 2018. Influencia de especies arbóreas nativas en sistemas silvopastoriles sobre el rendimiento y valor nutricional de *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens*. Scientia Agropecuaria. 9(4):579-583. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.14>

Ordonez, J; Luedeling, E; Kindt, R; Hesti Lestari, H; Harja, D; Jamnadass, R; van Noordwijk, M. 2014. Constraints and opportunities for tree diversity management along the forest transition curve to achieve multifunctional agriculture. Current Opinion in Environmental Sustainability. 6:54–60.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2018. GLEAM 2.0- Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y su potencial de mitigación. Naciones Unidas.

Organización Meteorológica Mundial. (2019). La concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera alcanza un nuevo récord. Ginebra: Prensa OMM

Organización Meteorológica Mundial. 2019. Cambio climático y desertificación. Obtenido de [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=5046](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5046)

Oyhantçabal, W; Vitale, E; Lagarmilla, P. 2010. El cambio climático y su relación con las enfermedades animales y la producción animal. En: Compendio de los temas técnicos presentados ante la Asamblea mundial de los delegados o a las Comisiones regionales de la OIE–2009, Paris: Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) 169-177 p.

Paciullo, D; de Castro, C; Gomide, C; Maurício, R; Pires, M; Müller, M; Xavier, D. 2011. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livestock Sci.* 141: 166 – 172.

Parry, M; Canziani, O; Palutikof J.... otros. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Universidad de Cambridge, Reino Unido. [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fou](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fou)

Pavan, K; Gottam, B; Desh, R. 2019. The effect of climate change on productivity and reproductive and health performance of livestock: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 7(2): 4-9.

Pérez, N. 2011. Rasgos funcionales nutricionales de especies leñosas en sistemas silvopastoriles y su contribución a la sostenibilidad de la ganadería bovina en la época seca en el departamento de Rivas. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 123 p.

Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. *Sistemas Silvopastoriles*. Módulo de enseñanza tropical No 2. Material de Enseñanza No 40. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 258 p.

Piñeros, R; Silva, K; Sánchez, M; Mora, J; Holguín, V. 2009. Indicadores agronómicos del pasto vidal (*bothriochloa saccharoides*) bajo sombra simulada en el valle cálido del Magdalena, Tolima (Colombia). *Revista Luna Azul*. 29: 32 – 36.

Porretta, D; Mastrantonio, V; Amendolia, S; Gaiarsa, S; Epis, S; Genchi, C... et al. 2013. Effects of global changes on the climatic niche of the tick *Ixodes ricinus* inferred by species distribution modelling. *Parasites & Vectors* (6):271.

Ramírez, N; Rueda, M; Ferguson, B; Jiménez. 2012. Caracterización del sistema agrosilvopastoril en la depresión Central de Chiapas. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 16 (2):7-22.

Rehman, A; Ma, H; Irfan, M;... et al. 2020. Does carbon dioxide, methane, nitrous oxide, and GHG emissions influence the agriculture? Evidence from China. *Environ Sci Pollut Res* 27, 28768–28779. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08912-z>

Renaudeau, D. 2005. Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Caribbean (Creole) restrictively-fed growing pigs. *Anim Res*. 54:81-93.

Renda, A. (2006). Papel de los sistemas agroforestales en el escenario agrario de las cuencas hidrográficas de Cuba. *Pastos y Forrajes*. 29:351.

Ríos, L; Salas, W; Espinosa, J. 2013. Resiliencia socioecológica de los agroecosistemas, mas que una externalidad. *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático*. Medellín, Colombia. 60-63 p.

Ríos, V; Ortiz, N; Valencia, A; Orjuela, J. 2013. Estrés calórico y su relación con variables reproductivas en machos bovinos en la Amazonia Colombiana. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 14 (4): 1-12.

Rivera, L; Armbrachta, I; Calle, Z. 2013. Silvopastoral systems and ant diversity conservation in a cattle-dominated landscape of the Colombian Andes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 181: 188– 194.

Rodríguez, F. 2011. Efecto de los árboles aislados sobre características del suelo en sistemas silvopastoriles en Rivas, Nicaragua. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 77 p.

Romero, D; Echevarría, R; Trillo, Z; Hidalgo, L; Aguirre, T; Robles, R; Núñez, D. 2020. Efecto del faique (*Acacia macracantha*) sobre el valor nutricional del pasto guinea (*Panicum maximum Jacq.*) en un sistema silvopastoril. *Rev Inv Vet Perú*. (31)1:1-9. <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i1.17562>

Romero, J. 2010. El efecto de cuatro especies arbóreas en sistemas silvopastoriles, sobre características del suelo en Matiguás y Muy Muy, Nicaragua. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 170 p.

Rousseau, L; Fonteb, S; Téllez, O; Van der, R; Lavellea, P. 2013. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecological Indicators* 27: 71–82.

Ruiz, J; Vargas, L; Abarca, M; Hidalgo, H. 2019. Efecto del estrés calórico sobre la

producción del ganado lechero en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 30 (3): 733-750.

Sáenz, J; Villatoro, F; Ibrahim, M; Fajardo, D; Pérez, M. 2007. Relación entre las comunidades de aves y la vegetación en agropaisajes dominados por la ganadería en Costa Rica, Nicaragua y Colombia. *Agroforestería en las Américas* 45:37-48

Salas, W; Ríos, L; Alvarez, J. 2012. Marco conceptual para entender la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos. *Ecología Austral*. 22:74-79

Sánchez, B; Flores, S; Rodríguez, E; Anaya, A; Contreras, E. 2020. Causes and consequences of climate change in livestock production and animal health. Review. *Rev Mex Cienc Pecu* 11(Supl 2):126-145.

Sánchez, B; Flores, S; Rodríguez, E; Anaya, A; Contreras, E. 2020. Causes and consequences of climate change in livestock production and animal health. Review. *Rev Mex Cienc Pecu* 11(Supl 2):126-145.

Sánchez, S. 2007. Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* Jacq. y en un sistema silvopastoril de *P. maximum* y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Tesis PhD. Instituto de Ciencia Animal. Cuba. 124 p.

Sánchez, S; Hernández, M. 2011. Comportamiento de comunidades de lombrices de tierra en dos sistemas ganaderos. *Pastos y Forrajes*. 34 (3): 359-366.

Sanfiozeno, A. 2008. Contribución de diferentes arreglos silvopastoriles a la conservación de la biodiversidad, mediante la provisión de hábitat y conectividad en el paisaje de la subcuenca del Río Copán, Honduras. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 101 p.

Schippera, T; Tannerb, O; Dubec, K; Adamsd, S. 2020. The debate: Is global development adapting to climate change? *World Development Perspectives* 18 100205:1-5.

Seinfeld, JH; Pandis, SN. 1998. Atmospheric chemistry and physics from air pollution to climate change. New York. John Wiley and Sons, Incorporated.

Semarnat. 2009. Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. Ciudad de México: Serie ¿Y el medio ambiente? En: [https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio\\_climatico\\_09-web.pdf](https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio_climatico_09-web.pdf)

Sevilla, G. 2006. Perspectivas agroecológicas. De la Sociología Rural a la Agroecología. Icaria Editorial, Barcelona. p 257.

Smith, P; Olesen, J. 2010. Synergies between the mitigation of, and adaptation to, climate change in agriculture. *J Agric Sci.* 148:543-552.

Sossa, C; Gaviria, X; Mejía, A; Suárez, J; Barahona, R; Lopera, J; Chará, J. 2013. Producción y calidad de leche en Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) del trópico bajo colombiano. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias.* 26: suplemento.

Sousa, L; Maurício, R; Moreira, G; Gonc, L; Borges, I; Pereira, L. 2010. Nutritional evaluation of Braquiaraõ grass in association with Aroeira trees in a silvopastoral system. *Agrofor. Syst.* 79:179 – 189.

Souza, M. 2003. Contribution of tree to the control of heat stress in dairy cows and the financial viability of livestock farms in humid tropics. Tesis de PhD. CATIE, Costa Rica. 47 p.

Steenwerth, K; Hodson, A; Bloom, A; Carter, M; Cattaneo, A; Chartres, C; Hatfield, J; Henry, K... otros. 2014. Climate-smart agriculture global research agenda: scientific basis for action. Steenwerth et al. *Agriculture & Food Security* 3:11.

Steinfeld, H; Gerber, P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales, M; de Haan, C. 2009. La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y soluciones. Roma (Italia): LEAD – FAO.

Tayengwa, D; Tirivangasi, H; Rankoana, S. 2020. Rural community perceptions on the impact of climate Change on subsistence farming: utoko community in Zimbabwe. *Journal of social sciences and humanities* 17 (7):89-104.

Tilman, D; Reich, P; Knops, J. 2006. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature.* 441:629-632.

Vallejo, V. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal.* 16 (1): 83 – 99.

Vallejo, V; Roldán, F; Arbeli, Z; Terán, W; Lorenz, N; Dick, R. 2012. Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in silvopastoral systems of Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 150: 139-148.

Vázquez, L; Castellanos, A; Leiva, V. 2019. Transición agroecológica y resiliencia socioecológica a sequías en Cuba. *Celia Boletín Científico* 3:1-43.

Velarde, L. 2012. Evaluación de la percepción y los factores determinantes en la implementación de medidas de adaptación al cambio y variabilidad climática por los productores de leche de la cuenca del río La Villa, Panamá. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 94 p.

Vélez, M; Uribe, L. 2010. ¿Cómo afecta el estrés por calor la reproducción? Biosalud. 9 (2): 83-95.

Walker, B; Carpenter, S; Anderies, J; Abel, N; Cumming, G; Janssen, M; Lebel, L; Norberg, J; Peterson, G; Pritchard, R. 2002. Resilience management in social- ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. Conservation Ecology 6(1):14.

## 2. Características y desempeño de sistemas de producción de leche de pequeños productores con prácticas agroecológicas y manejo convencional

### Resumen

Los sistemas de producción de leche desarrollan diferentes prácticas que determinan su productividad y el manejo de los recursos naturales, algunas de ellas permiten mejorar la adaptación a condiciones climáticas que pueden limitar la producción. El objetivo de este trabajo fue determinar las características productivas de sistemas que realizan prácticas agroecológicas y convencionales en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto. El estudio se desarrolló en los municipios de Carmen de Carupa y Suesca (Cundinamarca), seleccionaron 16 fincas de pequeños productores con diferentes prácticas convencionales y agroecológicas, se determinaron propiedades físico-químicas, microbiológicas, macrofauna, profundidad de raíces, compactación, producción y calidad de forraje, producción y calidad de leche, se utilizó un diseño completamente al azar, los datos se analizaron con ANOVA y tukey y análisis de conglomerados, se realizó mediante el programa Infostat®. Se presentaron diferencias en el pH, materia orgánica, CIC, fósforo, magnesio, calcio, profundidad de raíces, lombrices, presión, profundidad de resistencia y actinomicetos en el suelo entre fincas, la producción de materia seca durante el año en cada finca presentó diferencias, excepto en un sistema convencional pequeña escala y en el agroecológico, se presentaron diferencias entre fincas en la producción de materia seca al año y la composición botánica, en las pasturas la fibra en detergente ácido, los carbohidratos solubles, cenizas, calcio y magnesio presentaron diferencias entre fincas, igualmente la producción de leche durante el año en cada finca y la producción de leche por mes y año por hectárea entre fincas, también en la grasa, sólidos totales y nitrógeno ureico en leche entre fincas. Las condiciones climáticas a lo largo del año y las prácticas convencionales o agroecológicas afectan las propiedades edáficas, la calidad y el presupuesto forrajero al igual que la producción y calidad de leche de los sistemas de producción de lechería especializada.

**Palabras clave:** agroecología, calidad nutricional, ganadería, pastura, variabilidad climática

### Abstract

Milk production systems develop different practices that determine their productivity and the management of natural resources, some of them allow better adaptation to climatic conditions that can limit production. The objective of this work was to determine the productive characteristics of systems that carry out agroecological and conventional practices in environmentally strategic areas of the high tropics. The study was developed in the municipalities of Carmen de Carupa and Suesca (Cundinamarca), they selected 16 farms of

small producers with different conventional and agroecological practices, physicochemical, microbiological, macrofauna, root depth, compaction, forage production and quality, milk production and quality were determined, a completely random design was used, the data were analyzed with ANOVA and tukey and cluster analysis, it was carried out using the Infostat® program. There were differences in pH, organic matter, CEC, phosphorus, magnesium, calcium, depth of roots, worms, pressure, depth of resistance and actinomycetes in the soil between farms, the production of dry matter during the year in each farm showed differences, except in a small-scale conventional system and in one agroecological, there were differences between farms in the production of dry matter per year and the botanical composition, in the pastures the fiber in acid detergent, the soluble carbohydrates, ashes, calcium and magnesium presented differences between farms, likewise the milk production during the year in each farm and the milk production per month and year per hectare between farms, also in fat, total solids and urea nitrogen in milk between farms. The climatic conditions throughout the year and the conventional or agroecological practices affect the edaphic properties, the quality and the forage budget as well as the milk production and quality of the specialized dairy production systems.

**Keyword:** agroecology, nutritional quality, livestock, pasture, climate variability

## 2.1 Introducción

Los sistemas de producción agropecuaria han sido una de las causas de degradación de ecosistemas estratégicos (Rivera et al., 2013), como en zonas superiores a los 3000 metros de altura donde los páramos prestan el servicio de regulación hídrica, abasteciendo a numerosas ciudades y centros urbanos de agua para diferentes actividades. Las dinámicas territoriales han favorecido el cambio de uso del suelo, estableciéndose actividades agropecuarias que comúnmente no son acordes con la vocación de uso (Chaves, 2011; Cubillos, 2011).

Los modelos agrícolas y pecuarios comúnmente se basan en modelos de revolución verde que simplifican los ecosistemas estableciendo monocultivos y utilizando tecnologías que incorporan altas cantidades de insumos externos, principalmente agroquímicos. Este modelo además de causar la degradación de las zonas captadoras de agua (Medina, 2016), contamina las aguas (Solomon et al., 2007), favorece la erosión (Estupiñán et al, 2009) y contribuye a las emisiones de gases con efecto invernadero (Solomon et al., 2007).

Los modelos productivos convencionales tienen alto riesgo económico al estar expuestos a los incrementos de los insumos y a la volatilidad de los mercados, es así como en estas zonas diversos cultivos como cebada, trigo y papa en un momento fueron el eje de la economía regional, pero con la caída de los precios y el incremento de los costos de producción se

generaron problemas sociales y económicos que llevaron nuevamente al cambio de sistema de producción, estableciendo sistemas de lechería especializada pero bajo los mismos modelos de producción convencionales.

Los modelos ganaderos en estos agroecosistemas presentan alta vulnerabilidad a condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático (Velarde, 2012), condiciones que afectan en algunos momentos del año factores de producción como el suelo, los forrajes (Rueda et al., 2011), animales y la disponibilidad de agua (Cuartas et al., 2014).

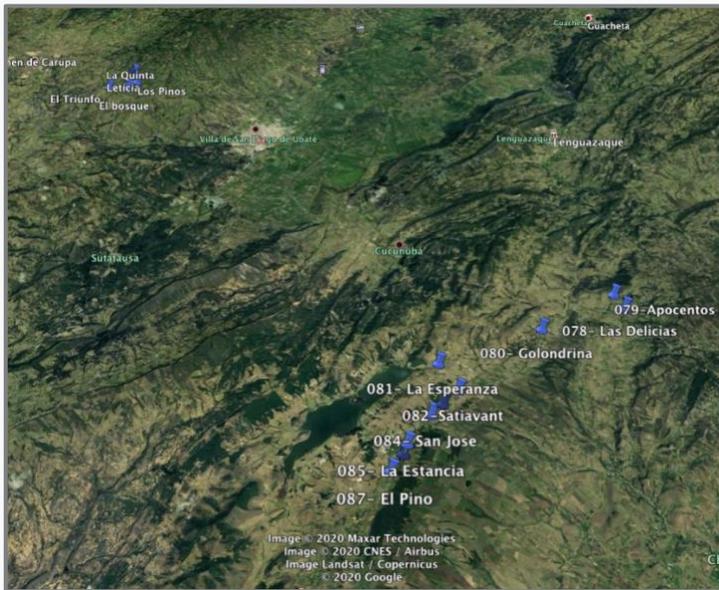
Algunos productores han incorporado prácticas agroecológicas en busca de establecer sistemas sostenibles (Steinfeld et al., 2009; Jarvis et al., 2010), como alternativa ante el elevado precio de los agroquímicos, varios de ellos consideran desde su experiencia que estas prácticas permiten reducir el impacto de los eventos climáticos sobre el suelo, las pasturas y los animales, favoreciendo la retención del agua (Vallejo et al., 2010) que comúnmente se pierde por escorrentía y lixiviación.

Dentro de las prácticas utilizadas por pequeños productores de leche se encuentra las zanjas de infiltración, pastoreo rotacional, descompactación con arado de cincel, incorporación de abonos orgánicos y abonos verdes, uso de pastos tolerantes a sequía, praderas polifíticas, sistemas silvopastoriles y uso de desparasitantes que no afectan la macrofauna edáfica, además la suplementación con residuos de cosecha y la conservación de forrajes para reducir el impacto de la reducción de forraje en las épocas críticas (Altieri, 2013). Estas prácticas permiten la conservación y recuperación del suelo, favorecen el ciclaje de nutrientes, la conservación del agua (Rueda et al., 2011), la producción y calidad de forraje.

El desempeño de los sistemas de producción de leche también está determinado por otras dinámicas sociales, económicas, políticas y ambientales que se presentan en el territorio. El objetivo de este trabajo fue determinar las características y el desempeño de los sistemas de producción de leche de pequeños productores, con diferentes prácticas de manejo, en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

## **2.2 Materiales y métodos**

El estudio se desarrolló en seis fincas de la vereda Alisal (N5° 19.956' W73° 51.574', municipio de Carmen de Carupa y 10 fincas del municipio de Suesca (N 05°11.249' W073°45.438'), departamento de Cundinamarca (figura 2-1). Todas ubicadas entre los 2900 y 3100 m s. n. m., Carmen de Carupa presenta una precipitación promedio anual de 610 mm, temperatura media anual de 14 °C humedad relativa de 65 %, mientras que Suesca presenta una precipitación promedio anual de 734 mm, temperatura media anual de 14 °C humedad relativa de 72 % (CAR, 2006).



**Figura 2-1.** Ubicación de los sistemas de producción de leche seleccionados, Alisal y Suesca, Cundinamarca. Fuente: Google, 2000.

En cada zona se identificaron sistemas de producción de leche de pequeños productores que realizaran diferentes prácticas dentro de su proceso productivo, la identificación se realizó con ayuda de las asociaciones de ganaderos, visita y entrevista con los productores, y con funcionarios de la Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR) quienes adelantan trabajos con los productores desde hace varios años. Los predios seleccionados cumplieron con criterios preestablecidos según prácticas (agroecológicas y convencionales) identificadas en la zona de estudio (tabla 2-1), interés de los productores por participar (intercambio de saberes), tomar y compartir información.

Se definieron cuatro categorías que abarcan sistemas convencionales, en transición y agroecológicos, la asignación de las fincas seleccionadas se realizó dependiendo del tipo de prácticas convencionales y el número de prácticas agroecológicas que el sistema utilizará (tabla 2-2), de tal manera que los sistemas convencionales pequeña escala (CPE) presentaron prácticas convencionales y hasta cinco tipos de prácticas agroecológicas, los sistemas convencionales en transición (CET) algunas prácticas convencionales y de cinco a siete prácticas agroecológicas, los sistemas orgánicos (O) no utilizaron agroquímicos, presentaron siete o más prácticas agroecológicas y tuvieron un enfoque más de sustitución de productos agroquímicos, mientras que el sistema agroecológico (A) no utilizó prácticas convencionales, presentó alta diversidad funcional y estructural y mínimo ocho prácticas agroecológicas .

**Tabla 2-1.** Prácticas agroecológicas y convencionales utilizadas en agroecosistemas de producción de leche, en el trópico alto.

<b>Prácticas agroecológicas en sistemas ganaderos</b>	<b>Prácticas convencionales</b>
Zanjas de infiltración	Aplicación de plaguicidas químicos
Descompactación del suelo con cincel	Uso de herbicidas
Pastoreo rotacional	Aplicación de fertilizantes químicos
Uso de albendazoles o levamisoles	Pastoreo continuo o alterno
Praderas polifíticas (gramíneas - leguminosas)	Utilización de implementos que invierten el prisma del suelo
Incorporación de abonos orgánicos;	Aplicación de ivermectinas
Incorporación de abonos verdes	Pastura en monocultivo (monofíticas)
Especies forrajeras tolerantes a eventos climáticos	Alta suplementación con balanceados comerciales
Conservación de forrajes	
Suplementación con residuos de cosecha	
Sistemas silvopastoriles	

**Tabla 2-2.** Clasificación de sistemas de producción de leche de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Alisal y Suesca, Cundinamarca)

<b>Zona</b>	<b>Finca</b>	<b>Tipo de sistema</b>	<b>Número de prácticas agroecológicas</b>
Alisal	Bosque-CET	Convencional en transformación	7
	Triangulo-CET	Convencional en transformación	5
	Triunfo-CET	Convencional en transformación	5
	Leticia-CET	Convencional en transformación	7
	Quinta-CPE	Convencional pequeña escala	4
	Pinos-CPE	Convencional pequeña escala	5
Suesca	Satiavan-CET	Convencional en transformación	7
	Delicias-CET	Convencional en transformación	7
	Don Camilo-CPE	Convencional pequeña escala	5
	Pino-CPE	Convencional pequeña escala	5
	Rosal-CPE	Convencional pequeña escala	4
	Golondrina-CPE	Convencional pequeña escala	5
	Apocentos-O	Orgánico	7
	San José-O	Orgánico	7
	Esperanza-O	Orgánico	8
	Estancia-A	Agroecológico	8

El estudio tuvo una duración de 20 meses, seis de conocimiento de la zona, interacción con asociaciones ganaderas, productores y selección de fincas, posteriormente 14 meses de evaluación de los sistemas.

Las áreas de pastoreo en las fincas presentaron praderas conformadas por pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinum*), Rye grass (*Lolium spp.*) y en menor porcentaje Falsa poa (*Holcus lanatus*), Trébol blanco (*Trifolium repens*) y Trébol rojo (*Trifolium pratense*), mientras que aquellas con sistemas silvopastoriles predominaron árboles de Aliso (*Alnus acuminata*), Acacia japonesa (*Acacia melanoxylum*), Acacia negra (*Acacia decurrens*) y Tilo (*Sambucus nigra*), en arreglos de cerca viva y árboles dispersos. El manejo del pastoreo vario, algunas fincas presentaron pastoreo rotacional, otras alterno, con periodos de ocupación de 1 a 2 días y de recuperación entre 45 y 120 días dependiendo la época (precipitación) del año. La suplementación de los animales varió dependiendo de la finca, en general es baja, principalmente se utilizó papa, sal mineralizada y balanceado comercial.

Los animales utilizados en los sistemas productivos fueron de raza Holstein, algunos cruces con Jersey y normando. Las fincas realizaron doble ordeño sin apoyo de la cría, algunas en potrero y otras en establo, igualmente algunas de forma manual y otras mecanico. En Alisal la leche es recogida y almacenada en tanque de frío (asociación), mientras que en Suesca es recogida (caliente) en finca después de cada ordeño. Todas las fincas pueden ser categorizadas como sistemas de lechería especializada, el objetivo productivo es la producción y venta de leche, las crías machos son vendidas después del nacimiento y solo se levantan las hembras como remplazos, la mayoría de los productores están afiliados a asociaciones de comercialización de leche de la zona, igualmente en las fincas se lleva a cabo protocolos de rutina de ordeño, aunque existen falencias en algunos sistemas.

Se determinó la precipitación, temperatura ambiental y humedad relativa durante el tiempo de estudio, para lo cual en cada zona se seleccionó una finca en la cual se instaló un pluviómetro y se registró la precipitación diaria y el número de días con eventos al mes. Igualmente se instalaron dos dataloggers (OM-EL-USB-2-LCD), uno bajo la copa de un árbol y otro en un área abierta, se registró la temperatura ambiente y humedad relativa cada hora. Con los datos registrados se determinó el índice temperatura humedad máximo (ITHmax) y índice temperatura humedad mínimo (ITHmin) por hora y para cada mes (Hahn, 1999).

En cada finca se realizaron análisis del suelo de las áreas de pastoreo, uno en época de sequía y otro en lluvias, en las fincas con sistemas silvopastoriles también se realizó análisis bajo la copa de los árboles en ambas épocas. En cada ocasión se tomó una muestra compuesta de suelo en las áreas de pastoreo; se realizó un recorrido en zigzag para tomar submuestras (5)

al azar con un barreno a una profundidad de 40 cm, luego se homogenizó el suelo y se tomó una muestra de 1000 g (IGAC, 2013), mientras que para las muestras bajo la copa de los árboles se seleccionaron cinco individuos al azar y se tomaron 4 puntos de medición referenciados con los puntos cardinales. Las muestras se llevaron al laboratorio (Corporación autónoma ambiental de Cundinamarca - CAR) para el análisis fisicoquímico, conductividad (conductimétrico - NTC 5596 Método B), pH (potenciométrico - NTC 5264), capacidad de intercambio catiónico (Extracción por acetato de amonio 1N – NTC 5268), densidad aparente (ATSM committee D18.2000. D2937-00 Standard test method for density of soil in place by the drive cylinder method), de potasio (Extracción por acetato de amonio 1N – NTC 5349, espectroscopía óptica/plasma acopiado inductivamente –ICAP, 3125 B), calcio (Extracción por acetato de amonio 1N – NTC 5349, Espectroscopía óptica/plasma acopiado inductivamente –ICAP, 3125 B), magnesio (Extracción por acetato de amonio 1N – NTC 5349, Espectroscopía óptica/plasma acopiado inductivamente –ICAP, 3125 B), fósforo (Extracción por acetato de amonio 1N – NTC 5349, Espectroscopía óptica/plasma acopiado inductivamente –ICAP, 3125 B), carbono orgánico total (NTC 5403, 2013-07-17 Método B; oxidación húmeda) materia orgánica (cálculo a partir de carbono orgánico).

La resistencia a la penetración y profundidad de resistencia se determinó en cada finca, se realizaron muestreos en ambas épocas (sequía y lluvias), utilizando un penetrómetro penetroViewer 6.08. Para las mediciones se utilizó la misma metodología descrita para la toma de muestras de suelo (áreas abiertas y bajo árboles).

Igualmente, en cada finca y en cada época se realizaron muestreos de macrofauna, siguiendo la metodología sugerida por Tropical Soil Biology and Fertility – TSBF (Anderson y Ingram 1993), mediante un transecto donde los puntos de muestreos fueron seleccionados al azar y con una distancia de veinte metros entre puntos, se realizaron tres cajuelas de 25 x 25 x 30 cm. El material contenido en cada punto se dispuso en estratos de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm sobre una bandeja para aislar y realizar conteo. Luego se determinó familia y número de individuos en 1 m<sup>2</sup>, identificando la presencia de lombrices (Annelida: Haplotaxida: *Lumbricidae*) y escarabajos (Insecta: Coleoptera: *Scarabaeidae*). En cada cajuela se determinó la profundidad de raíces.

Las propiedades microbiológicas se determinaron en 10 fincas dentro de las cuales estuvieron todas las categorías, se realizó un solo muestreo siguiendo la metodología descrita para las propiedades físico-químicas (áreas abiertas y bajo árboles). Las muestras se dispusieron en una cava con gel refrigerante a 4°C y fueron enviadas al laboratorio para determinar la presencia de bacterias mesófilas aerobias (NTC 4519:2009), bacterias fijadoras de nitrógeno (Agar Ashby/recuento por profundidad), microorganismos solubilizadores de fosfatos (recuento por profundidad), hongos (Agar PDA/recuento en profundidad) y actinomicetes (Agar avena/recuento en profundidad).

La producción de forraje verde (FV) se determinó en todas las fincas mediante el método de corte, para lo cual se realizaron aforos destructivos previos al inicio del pastoreo durante cada época evaluada (dos por época), los muestreos de todas las fincas se realizaron durante tres días en cada ocasión, se realizaron recorridos en zigzag en los cuales se lanzó un marco (0,5 x 0,5 cm) y se cortó el forraje dentro del marco a 10 cm del suelo, luego se pesó para determinar la biomasa comestible, posteriormente se realizó la separación de gramíneas, leguminosas y arvenses, se pesaron por separado para determinar la composición botánica, se tomaron cinco muestras en cada muestreo, mientras que bajo la copa de los árboles se seleccionaron cinco individuos al azar y se tomaron cuatro puntos de medición referenciados con los puntos cardinales.

Durante el estudio se realizaron tres muestreos en todas las fincas (sequía y lluvias), se tomaron muestras de 500 g de FV para determinar la calidad nutricional de la pastura, las cuales fueron llevadas al laboratorio (AGROSAVIA) donde las muestras se secaron en horno a 65 °C durante 48 h hasta un peso constante, y luego se molieron a través de una criba de 1 mm. Se realizaron análisis de espectroscopía NIR, se determinó porcentaje de materia seca (%MS), proteína cruda (PC%), proteína soluble (%PC), proteína B (%PC), proteína C (%PC), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), digestibilidad, carbohidratos no estructurales, carbohidratos solubles, energía neta de lactancia, cenizas, calcio, fósforo, magnesio y potasio (Ariza et al., 2018), se utilizó un espectrómetro VIS / NIR de barrido (Foss NIRSystems modelo 6500; [www.foss.com](http://www.foss.com)). Los espectros se grabaron con WinISI 4.7.0 ([www.foss.com](http://www.foss.com)).

En todas las fincas y durante todo el estudio se midió la producción total de leche diaria en cada ordeño. Se tomaron muestras de leche del ordeño de la tarde y directamente de la cantina en frascos de 70 ml con bronopol y acidez de sodio, las muestras se dispusieron en una cava con gel refrigerante a 4°C y fueron enviadas al laboratorio (Consejo Nacional Lácteo), en el cual se determinó la calidad composicional: grasa, proteína, sólidos totales, lactosa y nitrógeno en leche (NUL), se utilizó el equipo lactoscan MCCCWS. Se realizaron dos muestreos en cada época (sequía y lluvias).

Se utilizó un diseño completamente al azar, se aplicó prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el conjunto de datos de las diferentes variables. Las variables físico-químicas del suelo, profundidad de raíces, macrofauna y microbiología se realizó ANOVA y tukey ( $\alpha$  0.05) entre fincas. Se realizó ANOVA y tukey ( $\alpha$  0.05) para la producción de MS/ha/corte por finca y para la producción de MS/ha/año ajustada al manejo de la pastura entre fincas, para la composición botánica entre fincas, para la producción y calidad de forraje por época para cada sitio (Alisal y Suesca) y para la calidad nutricional de la pastura entre fincas. Se realizó ANOVA y tukey ( $\alpha$  0.05) para la producción de leche durante el estudio por finca, al igual que para la producción de leche ajustada por ha/mes y producción de leche por ha/año entre fincas, también para la calidad de leche entre fincas. Se realizó un análisis de conglomerados

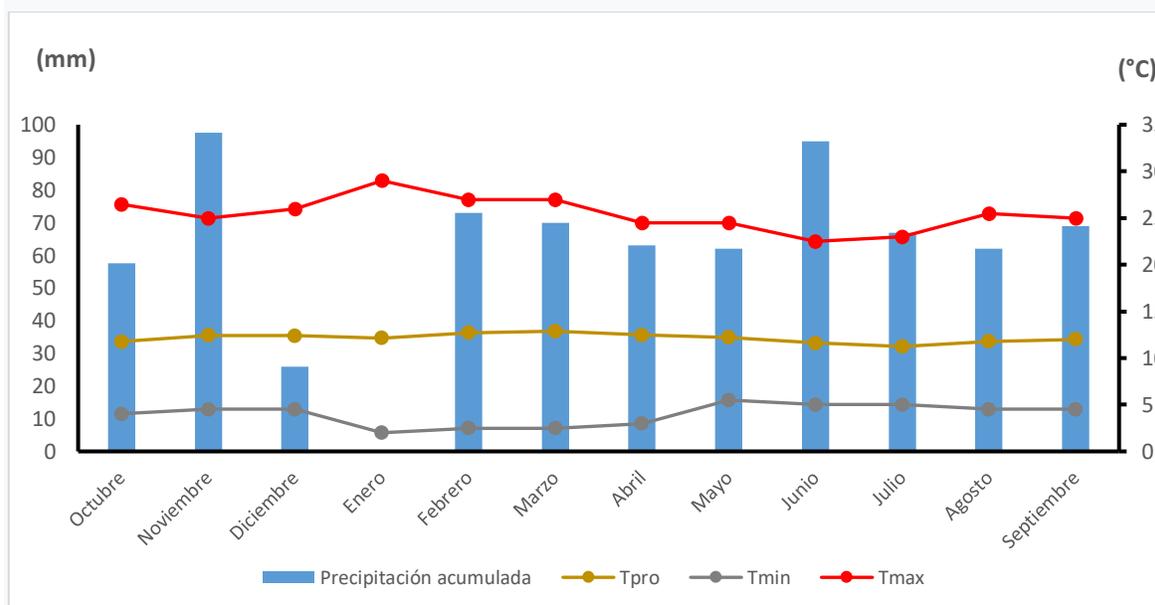
(distancia Euclidea) con variables edáficas, producción y calidad de forraje, producción y calidad de leche para ver relaciones entre fincas. El análisis de los datos se realizó mediante el programa Infostat®.

## 2.3 Resultados y discusión

### 2.3.1 Comportamiento meteorológico en Alisal y Suesca (Cundinamarca)

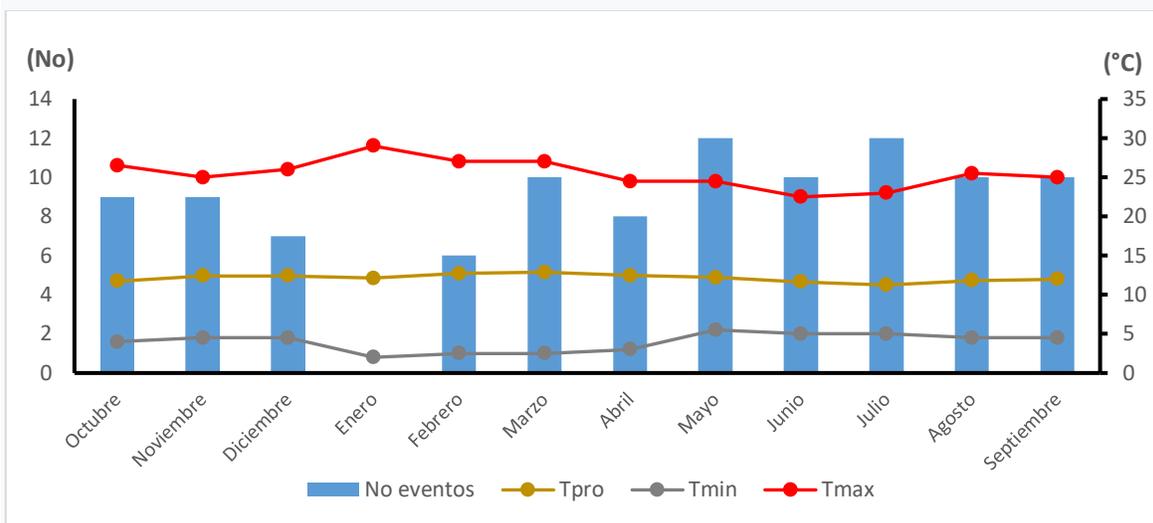
Las dos zonas de estudio presentaron condiciones meteorológicas diferentes durante el periodo de evaluación, se observaron cambios en el comportamiento de la precipitación, lo cual afectó la producción ( $p = 0.0099$ ), calidad de forraje (proteína cruda y energía neta de lactancia,  $p = 0.0007$  y  $p = 0.0013$  respectivamente) y la capacidad de carga, también se encontraron diferencias en el comportamiento de la temperatura mínima y máxima, lo que generó condiciones de estrés calórico en los animales, en Alisal se presentó un ITH mínimo de 36 y ITH máximo 74, mientras que en Suesca el ITH mínimo y máximo fue de 34 y 78 respectivamente, estas condiciones pudieron afectar el desempeño de los animales.

En la zona de Alisal se observó reducción en la precipitación el mes de diciembre, no se presentaron lluvias en enero (figura 2-2). Se presentaron menores temperaturas en los meses de enero, febrero y marzo época en la cual se presentan fenómenos de heladas. Para estos mismos meses se observó un rango más amplio entre temperaturas mínimas y máximas.



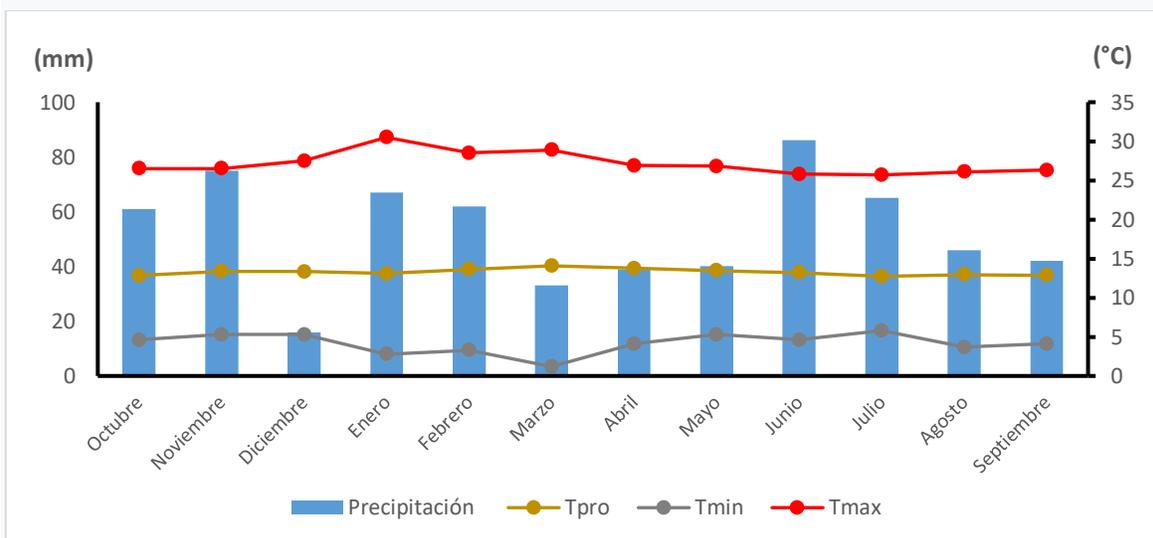
**Figura 2-2.** Precipitación mensual, temperatura promedio, mínima y máxima mensual en Alisal (Cundinamarca).

Las precipitaciones de octubre a febrero se presentaron en eventos durante menor cantidad de días al mes, lo que puede indicar eventos de mayor magnitud (figura 2-3).



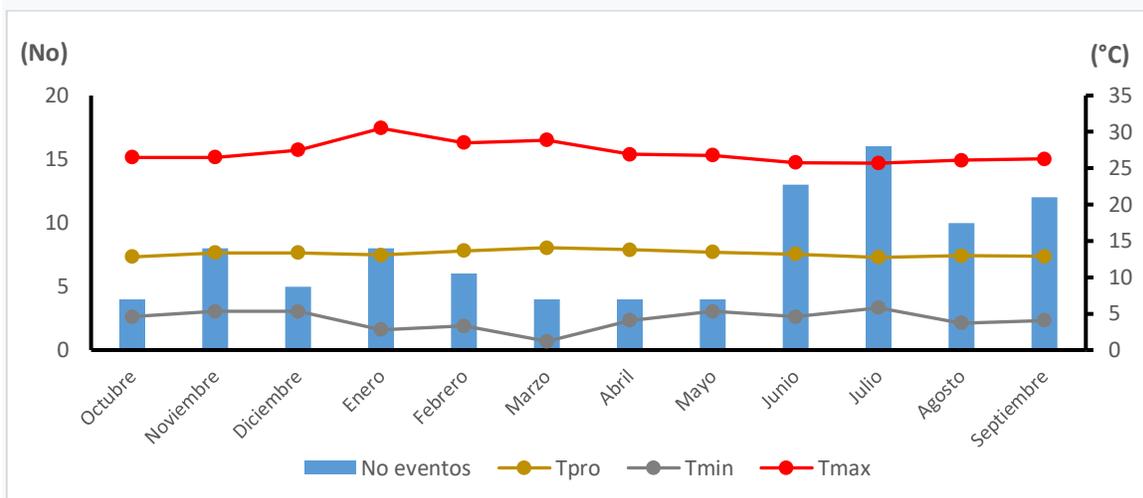
**Figura 2-3.** Número de días con eventos de precipitación al mes, temperatura promedio, mínima y máxima mensual en Alisal (Cundinamarca).

En Suesca se presentó poca precipitación el mes de diciembre y baja en marzo, abril, mayo, agosto y septiembre (figura 2-4). Al igual que en Alisal se observó un rango más amplio de temperaturas mínimas y máximas en los meses de enero, febrero y marzo época donde también se presentan fenómenos de heladas.



**Figura 2-4.** Precipitación mensual, temperatura promedio, mínima y máxima mensual en Suesca (Cundinamarca).

A diferencias de Alisal las precipitaciones de octubre a mayo se presentaron en eventos durante menos días al mes, lo que muestra eventos de mayor magnitud con relación a los meses donde se presentó la misma cantidad de precipitación (figura 2-5). Además de la baja cantidad de lluvias que se presenta en ambas zonas con relación a las necesidades de los pastos para crecer, la disponibilidad de agua se presenta en pocos días del mes lo que genera en algunos momentos un balance hídrico negativo en las plantas reduciendo o inhibiendo su crecimiento.



**Figura 2-5.** Número de días con eventos de precipitación al mes, temperatura promedio, mínima y máxima mensual en Suesca (Cundinamarca).

El comportamiento de la precipitación, temperatura y luminosidad son determinantes en el crecimiento y la disponibilidad de forraje al momento del pastoreo (Correa et al., 2018), las condiciones que se presentan en ecosistemas tropicales generan épocas críticas por sequía o excesos de lluvia que reducen la producción de forraje y de leche (Vargas et al., 2018), esta condición se ha agudizado en los últimos tiempos por la variabilidad y eventos climáticos extremos (Cuartas et al., 2014).

La reducción de leche no solo se presenta por falta de forraje en estas épocas, además la temperatura y humedad relativa pueden generar estrés térmico en los animales, afectando la producción, calidad de leche (Leyva et al., 2015; Morales y Wing Ching, 2020) y la eficiencia reproductiva (Honig et al., 2016).

### 2.3.2 Características del suelo de sistemas de lechería especializada con prácticas agroecológicas y manejo convencional

Aunque se presentaron diferencias en el pH, MO y CIC entre fincas, no se observó una tendencia en las propiedades físico-químicas por tipo de sistema (tabla 2-3), igualmente se

observó en los contenidos de minerales (tabla 2-4). Esto se puede explicar posiblemente por la diferencia de las prácticas y manejos que realizan en el suelo las diferentes fincas, que no son necesariamente las mismas en cada tipo de sistema.

**Tabla 2-3.** Características físico-químicas en suelos de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de Alisal y Suesca (Cundinamarca).

Zona	Finca	pH	MO (g/100g)	CIC (cmol/kg)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Alisal	Bosque-CET	5.2 <sup>ab</sup> ±0.1	9.3 <sup>c</sup> ±1.1	32.5 <sup>ab</sup> ±4.0	1.1 <sup>a</sup> ±0.1
	Triangulo-CET	4.7 <sup>a</sup> ±	8.9 <sup>bc</sup> ±	21.1 <sup>ab</sup> ±	1.3 <sup>a</sup> ±
	Triunfo-CET	4.9 <sup>ab</sup> ±0.1	1.8 <sup>a</sup> ±0.6	19.8 <sup>ab</sup> ±0.6	1.6 <sup>a</sup> ±0.1
	Leticia-CET	5.4 <sup>ab</sup> ±0.1	6.8 <sup>bc</sup> ±1.4	29.9 <sup>ab</sup> ±11	1.3 <sup>a</sup> ±0.1
	Quinta-CPE	5.1 <sup>ab</sup> ±	4.7 <sup>bc</sup> ±	26.7 <sup>ab</sup> ±	-
	Pinos-CPE	5.6 <sup>ab</sup> ±	8.3 <sup>bc</sup> ±	34.2 <sup>ab</sup> ±	1.2 <sup>a</sup>
Suesca	Golondrina-CPE	4.8 <sup>a</sup> ±	2.3 <sup>ab</sup> ±	17.5 <sup>ab</sup> ±	1.5 <sup>a</sup> ±
	Don Camilo-CPE	5.9 <sup>ab</sup> ±	1.6 <sup>a</sup> ±	15.5 <sup>a</sup> ±	1.6 <sup>a</sup> ±
	Rosal-CPE	5.3 <sup>ab</sup> ±	5.2 <sup>bc</sup> ±	41.3 <sup>b</sup> ±	1.2 <sup>a</sup> ±
	Pino-CPE	5.9 <sup>ab</sup> ±	2.2 <sup>ab</sup> ±	14.7 <sup>a</sup> ±	1.1 <sup>a</sup> ±
	Satiavan-CET	6.0 <sup>ab</sup> ±0.6	1.6 <sup>a</sup> ±0.0	16.5 <sup>ab</sup> ±0.9	1.1 <sup>a</sup> ±0.6
	Delicias-CET	5.4 <sup>ab</sup> ±0.1	2.7 <sup>bc</sup> ±0.2	21.7 <sup>ab</sup> ±1.8	1.4 <sup>a</sup> ±0.1
	Apocentos-O	5.5 <sup>ab</sup> ±0.0	2.4 <sup>ab</sup> ±0.2	18.8 <sup>ab</sup> ±3.9	1.3 <sup>a</sup> ±0.1
	San José-O	5.9 <sup>ab</sup> ±	1.9 <sup>a</sup> ±	15.1 <sup>a</sup> ±	1.6 <sup>a</sup> ±
	Esperanza-O	6.3 <sup>b</sup> ±0.4	1.8 <sup>a</sup> ±0.3	13.2 <sup>a</sup> ±0.5	1.7 <sup>a</sup> ±0.1
Estancia-A	6.3 <sup>b</sup> ±0.1	1.8 <sup>a</sup> ±0.0	16.5 <sup>ab</sup> ±0.3	1.7 <sup>a</sup> ±0.1	
	p valor	0.0078	0.0023	0.0175	0.2810

CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico. Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Buenas prácticas ganaderas como la adecuada rotación de los animales en las áreas de pastoreo, la utilización de sistemas silvopastoriles y otras que incorporan materia orgánica al suelo permiten contribuir a restaurar la ecología y funcionalidad de varios insectos (saprófagos, depredadores, parasitoides y descomponedores) que participan en el reciclaje de nutrientes (Murgueitio et al., 2011; Guevara et al, 2013).

**Tabla 2-4.** Contenidos de minerales en los suelos de fincas de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de Alisal y Suesca (Cundinamarca).

Zona	Finca	P	Na	Mg	K	Ca
		(mg/kg)		(cmol/kg)		
Alisal	Bosque-CET	9.5 <sup>a</sup> ±1.1	0.11 <sup>a</sup> ±0.1	1.0 <sup>ab</sup> ±0.5	2.0 <sup>a</sup> ±0.3	2.6 <sup>ab</sup> ±1.1
	Triangulo-CET	60.2 <sup>b</sup> ±	0.44 <sup>a</sup> ±	1.7 <sup>ab</sup> ±	2.1 <sup>a</sup> ±	4.0 <sup>ab</sup> ±
	Triunfo-CET	9.6 <sup>a</sup> ±0.5	0.20 <sup>a</sup> ±0.1	0.6 <sup>ab</sup> ±0.2	0.96 <sup>a</sup> ±0.3	2.5 <sup>ab</sup> ±0.4
	Leticia-CET	18.0 <sup>ab</sup> ±2.9	0.25 <sup>a</sup> ±0.0	0.6 <sup>ab</sup> ±0.1	0.93 <sup>a</sup> ±0.5	3.7 <sup>ab</sup> ±0.6
	Quinta-CPE	21.3 <sup>ab</sup> ±	0.00 <sup>a</sup> ±	0.1 <sup>a</sup> ±	0.00 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup> ±
	Pinos-CPE	14.5 <sup>a</sup> ±	0.27 <sup>a</sup> ±	1.6 <sup>ab</sup> ±	0.15 <sup>a</sup> ±	3.6 <sup>ab</sup> ±
Suesca	Satiavan-CET	6.1 <sup>a</sup> ±0.8	0.16 <sup>a</sup> ±0.0	2.5 <sup>ab</sup> ±0.1	0.64 <sup>a</sup> ±0.0	6.0 <sup>b</sup> ±0.3
	Delicias-CET	27.2 <sup>ab</sup> ±8.9	0.37 <sup>a</sup> ±0.2	1.7 <sup>ab</sup> ±0.2	0.39 <sup>a</sup> ±0.1	5.3 <sup>b</sup> ±0.2
	Don Camilo-CPE	4.9 <sup>a</sup> ±	0.31 <sup>a</sup> ±	2.2 <sup>ab</sup> ±	0.63 <sup>a</sup> ±	3.3 <sup>ab</sup> ±
	Pino-CPE	10.2 <sup>a</sup> ±	0.07 <sup>a</sup> ±	1.2 <sup>ab</sup> ±	0.94 <sup>a</sup> ±	3.5 <sup>ab</sup> ±
	Rosal-CPE	14.3 <sup>a</sup> ±	0.36 <sup>a</sup> ±	1.4 <sup>ab</sup> ±	0.60 <sup>a</sup> ±	4.6 <sup>b</sup> ±
	Golondrina-CPE	8.4 <sup>a</sup> ±	0.15 <sup>a</sup> ±	2.3 <sup>ab</sup> ±	0.31 <sup>a</sup> ±	2.4 <sup>ab</sup> ±
	Apocentos-O	12.2 <sup>a</sup> ±8.9	0.32 <sup>a</sup> ±0.0	2.6 <sup>ab</sup> ±0.6	0.80 <sup>a</sup> ±0.0	4.2 <sup>ab</sup> ±0.7
	San José-O	27.3 <sup>ab</sup> ±	0.04 <sup>a</sup> ±	2.1 <sup>ab</sup> ±	0.68 <sup>a</sup> ±	4.2 <sup>ab</sup> ±
	Esperanza-O	10.9 <sup>ab</sup> ±6.9	0.14 <sup>a</sup> ±0.0	2.4 <sup>ab</sup> ±0.4	1.02 <sup>a</sup> ±0.0	4.9 <sup>b</sup> ±0.1
	Estancia-A	10.9 <sup>a</sup> ±0.6	0.10 <sup>a</sup> ±0.0	3.0 <sup>b</sup> ±0.2	0.86 <sup>a</sup> ±0.2	4.9 <sup>b</sup> ±0.0
	p valor	0.0240	0.3770	0.0144	0.0512	0.0169

CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico. Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Se presentaron diferencias (tabla 2-5) entre sistemas en la profundidad de raíces ( $<0.0001$ ), lombrices ( $p = 0.0390$ ), presión ( $p = 0.0061$ ) y profundidad de resistencia ( $p = 0.0008$ ). Baja profundidad de raíces y alta compactación superficial afectan el crecimiento y la toma de nutrientes y agua por las raíces reduciendo la producción de forraje en las praderas en las épocas secas. igualmente puede limitar el crecimiento y la producción de forraje en épocas de lluvias por encharcamientos. Las diferencias entre sistemas se pueden atribuir posiblemente a prácticas agroecológicas que permiten un mejor manejo del suelo (descompactación del suelo con cincel, pastoreo rotacional, praderas polifíticas, incorporación de abonos orgánicos y abonos verdes) (Vallejo et al., 2012.)

**Tabla 2-5.** Profundidad de raíces, macrofauna y resistencia a la penetración en suelos de fincas de pequeños productores de leche de Alisal y Suesca (Cundinamarca).

Zona	Finca	Profundidad de raíces (cm)	Lumbricidae (m <sup>2</sup> )	Presión (Mpa)	Profundidad resistencia (cm)
Alisal	Bosque-CET	29 <sup>b</sup> ±7	8 <sup>a</sup> ±8	2.7 <sup>ab</sup> ±0.2	55 <sup>b</sup> ±21
	Triangulo-CET	32 <sup>b</sup> ±5	203 <sup>b</sup> ±72	2.4 <sup>ab</sup> ±	52 <sup>b</sup> ±
	Triunfo-CET	30 <sup>b</sup> ±11	41 <sup>ab</sup> ±19	2.8 <sup>ab</sup> ±0.8	46 <sup>b</sup> ±33
	Leticia-CET	29 <sup>b</sup> ±8	3 <sup>a</sup> ±3	3.5 <sup>ab</sup> ±1.2	29 <sup>a</sup> ±26
	Quinta-CPE	33 <sup>b</sup> ±8	137 <sup>b</sup> ±83	3.3 <sup>ab</sup> ±	10 <sup>a</sup> ±
	Pinos-CPE	30 <sup>b</sup> ±7	55 <sup>ab</sup> ±55	2.6 <sup>ab</sup> ±	50 <sup>b</sup> ±
Suesca	Satiavan-CET	17 <sup>a</sup> ±5	88 <sup>b</sup> ±44	4.0 <sup>ab</sup> ±1.2	11 <sup>a</sup> ±5
	Delicias-CET	29 <sup>b</sup> ±9	39 <sup>ab</sup> ±25	1.5 <sup>a</sup> ±0.3	40 <sup>ab</sup> ±38
	Don Camilo-CPE	29 <sup>b</sup> ±6	55 <sup>ab</sup> ±22	3.1 <sup>ab</sup> ±0.3	25 <sup>a</sup> ±14
	Pino-CPE	24 <sup>ab</sup> ±4	6 <sup>a</sup> ±6	5.2 <sup>b</sup> ±0.9	11 <sup>a</sup> ±8
	Rosal-CPE	27 <sup>ab</sup> ±6	72 <sup>ab</sup> ±72	3.3 <sup>ab</sup> ±1.1	38 <sup>ab</sup> ±12
	Golondrina-CPE	26 <sup>ab</sup> ±5	0 <sup>a</sup> ±0	***	10 <sup>a</sup> ±1.7
	Apocentos-O	25 <sup>ab</sup> ±4	96 <sup>b</sup> ±55	2.6 <sup>ab</sup> ±1.0	46 <sup>b</sup> ±23
	San José-O	29 <sup>ab</sup> ±15	121 <sup>b</sup> ±11	4.2 <sup>ab</sup> ±0	10 <sup>a</sup> ±3
	Esperanza-O	24 <sup>ab</sup> ±7	72 <sup>ab</sup> ±28	4.6 <sup>ab</sup> ±0	15 <sup>a</sup> ±7
	Estancia-A	36 <sup>b</sup> ±11	74 <sup>ab</sup> ±18	3.3 <sup>ab</sup> ±1	40 <sup>ab</sup> ±7
p valor		<0.0001	0.0390	0.0061	0.0008

CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico. \*\*\*: compacto. Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

El pastoreo en monocultivo y sistemas de pastoreo continuo o alterno con amplios periodos de ocupación favorecen la compactación del suelo ya que los animales caminan más en busca de alimento (Medina, 2016), en ganadería la compactación se presenta entre 10 y 30 cm de profundidad (Jiménez et al., 2012; Villazón et al., 2018; Reichert et al., 2007), afectando el crecimiento de las pasturas, las raíces para desarrollarse adecuadamente ejercen presiones que oscilan entre 0,90 y 1,50 Mpa (Bowen et al., 1994), se considera que resistencia a la penetración superiores a 2 Mpa reducen el crecimiento de las raíces (Ramírez et al., 2007) y mayores a 2,50 Mpa lo pueden detener (Threadgill, 1982). Esta condición precisa de acciones que permitan eliminar las limitantes físicas para las raíces, lo cual se puede realizar a través del uso de arado de cincel o cultivos de cobertura y pradera polifíticas con leguminosas que actúan como subsoladores biológicos que penetren en los horizontes densos (Medina, 2016).

No se presentaron diferencias entre fincas en el contenido bacterias fijadoras de nitrógeno, bacterias mesófilas y hongos en el suelo (tabla 2-6), se presentó diferencias ( $p = 0.0013$ ) solo

en actinomicetos siendo mayor la concentración en la finca el Bosque- CET. Los microorganismos en el suelo favorecen el ciclaje de nutrientes, la fijación de nitrógeno atmosférico y la disponibilidad de nutrientes para las pasturas. Las prácticas agroecológicas y la reducción de prácticas degradativas del suelo favorecen el incremento de las poblaciones microbiales (Escobar et al., 2020).

**Tabla 2-6.** Poblaciones microbiológicas en suelos de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de Alisal y Suesca (Cundinamarca).

Zona	Finca	Actinomicetos (UFC/g)	Bacterias fijadoras N (UFC/g)	Bacterias mesófilas (UFC/g)	Hongos (UFC/g)
Alisal	Bosque-CET	64.5 x 10 <sup>5b</sup>	11.5 x 10 <sup>5a</sup>	26.5 x 10 <sup>5a</sup>	1.5 x 10 <sup>6a</sup>
	Quinta-CPE	14 x 10 <sup>5a</sup>	1 x 10 <sup>6a</sup>	4.2 x 10 <sup>6a</sup>	5.9 x 10 <sup>5a</sup>
	Pinos-CPE	17 x 10 <sup>5a</sup>	17 x 10 <sup>5a</sup>	2.4 x 10 <sup>6a</sup>	3.6 x 10 <sup>5a</sup>
Suesca	Delicias-CET	14.5 x 10 <sup>5a</sup>	27 x 10 <sup>5a</sup>	49.5 x 10 <sup>5a</sup>	6.75 x 10 <sup>5a</sup>
	Pino-CPE	81 x 10 <sup>4a</sup>	13 x 10 <sup>5a</sup>	1.6 x 10 <sup>6a</sup>	5.3 x 10 <sup>5a</sup>
	Rosal-CPE	1 x 10 <sup>6a</sup>	18 x 10 <sup>5a</sup>	5 x 10 <sup>5a</sup>	5.6 x 10 <sup>5a</sup>
	Apocentos-O	12.9 x 10 <sup>5a</sup>	10.5 x 10 <sup>5a</sup>	26.5 x 10 <sup>5a</sup>	5.85 x 10 <sup>5a</sup>
	San José-O	1 x 10 <sup>6a</sup>	12 x 10 <sup>5a</sup>	2.1 x 10 <sup>6a</sup>	6.6 x 10 <sup>5a</sup>
	Esperanza-O	13.5 x 10 <sup>5a</sup>	19.5 x 10 <sup>5a</sup>	3.8 x 10 <sup>6a</sup>	10.9 x 10 <sup>5a</sup>
	Estancia-A	12.5 x 10 <sup>5a</sup>	26 x 10 <sup>5a</sup>	54 x 10 <sup>5a</sup>	7.9 x 10 <sup>5a</sup>
p valor		0.0013	0.1590	0.7361	0.1881

CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico. Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

### 2.3.3 Producción de forraje, composición botánica y calidad nutricional

Durante el periodo de evaluación la mayoría de los sistemas presentaron diferencias en la producción de forraje durante los muestreos (tabla 2-7), lo que muestra la vulnerabilidad a las épocas críticas. Tres sistemas no presentaron diferencias, el agroecológico y un convencional en transición, ambos con prácticas agroecológicas entre ellas sistemas silvopastoriles (con alto porcentaje de cobertura arbórea) lo que posiblemente favoreció la retención de humedad en el suelo y en el balance hídrico en el sistema. El tercer sistema fue un convencional en pequeña escala, este comportamiento se explica por la disponibilidad de riego que tiene esta finca durante todo el año.

En la región la disponibilidad de agua para riego es muy baja o nula para la mayoría de las fincas. La condición de sequía asociada en algún momento a fuertes vientos, heladas y altas temperaturas reduce la producción de biomasa comestible en algunas épocas del año.

**Tabla 2-7.** Cambios en la producción de materia seca – MS(t/ha) durante el año, en sistema de producción de leche de pequeños productores de Alisal y Suesca (Cundinamarca).

Zona	Finca	Producción de MS (t/ha/corte)				p valor
		Muestreo				
		1	2	3	4	
Alisal	Bosque-CET	2.20 <sup>a</sup> ±0.2	3.32 <sup>ab</sup> ±0.5	2.92 <sup>ab</sup> ±0.7	4.17 <sup>b</sup> ±0.3	0.0463
	Triangulo-CET	2.7 <sup>ab</sup> ±0.2	1.63 <sup>ab</sup> ±0.6	1.30 <sup>a</sup> ±0.9	4.7 <sup>b</sup> ±1.0	0.0427
	Triunfo-CET	1.57 <sup>a</sup> ±0.3	5.27 <sup>b</sup> ±0.6	3.62 <sup>ab</sup> ±0.9	3.88 <sup>b</sup> ±0.3	0.0016
	Leticia-CET	2.05 <sup>a</sup> ±0.3	8.25 <sup>c</sup> ±0.6	3.65 <sup>ab</sup> ±0.5	4.45 <sup>b</sup> ±0.9	< 0.0001
	Quinta-CPE	2.6 <sup>a</sup> ±0.3	3.10 <sup>a</sup> ±0.3	1.97 <sup>a</sup> ±0.6	8.83 <sup>b</sup> ±0.3	< 0.0001
	Pinos-CPE	3.47 <sup>a</sup> ±0.5	3.17 <sup>a</sup> ±1.2	5.3 <sup>a</sup> ±0.9	4.13 <sup>a</sup> ±0.1	0.2947
Suesca	Satiavan-CET	7.38 <sup>b</sup> ±2.5	2.33 <sup>ab</sup> ±1.2	0.88 <sup>a</sup> ±0.1	3.5 <sup>ab</sup> ±0.2	0.0299
	Delicias-CET	5.3 <sup>a</sup> ±1.0	3.17 <sup>a</sup> ±1.1	4.03 <sup>a</sup> ±0.7	2.97 <sup>a</sup> ±0.2	0.0675
	Don Camilo-CPE	11.83 <sup>b</sup> ±3.1	1.27 <sup>a</sup> ±0.2	1.67 <sup>a</sup> ±0.5	3.13 <sup>a</sup> ±0.7	0.0049
	Pino-CPE	13.17 <sup>b</sup> ±2.2	1.40 <sup>a</sup> ±0.1	1.0 <sup>a</sup> ±0.3	2.8 <sup>a</sup> ±0.8	0.0008
	Rosal-CPE	7.97 <sup>b</sup> ±1.1	5.53 <sup>ab</sup> ±1.9	1.27 <sup>a</sup> ±0.4	4.13 <sup>ab</sup> ±0.3	0.0161
	Golondrina-CPE	7.63 <sup>b</sup> ±2.2	1.53 <sup>ab</sup> ±0.2	0.83 <sup>a</sup> ±0.3	3.5 <sup>ab</sup> ±1.6	0.0315
	Apocentos-O	12.15 <sup>b</sup> ±2.5	4.47 <sup>a</sup> ±0.6	2.5 <sup>a</sup> ±0.7	4.93 <sup>a</sup> ±0.3	0.0018
	San José-O	7.1 <sup>b</sup> ±1.3	3.33 <sup>a</sup> ±0.7	0.70 <sup>a</sup> ±0.1	3.67 <sup>ab</sup> ±0.5	0.0032
	Esperanza-O	7.53 <sup>b</sup> ±2.4	1.58 <sup>a</sup> ±0.4	1.37 <sup>a</sup> ±0.4	4.65 <sup>ab</sup> ±0.5	0.0064
	Estancia-A	4.27 <sup>a</sup> ±1.0	2.42 <sup>a</sup> ±0.3	3.9 <sup>a</sup> ±0.7	4.8 <sup>a</sup> ±0.5	0.0818

CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico. Medias con una letra común en la misma fila no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Se presentaron diferencias en la producción de materia seca disponible al año ( $p = 0.0004$ ) entre los sistemas (tabla 2-8), los sistemas que realizaron rotaciones más rápidas tuvieron mayor producción de biomasa comestible al tener mayor número de rotaciones al año, mientras que los sistemas que realizaron rotaciones largas (90 a 120 días), presentaron menor producción de MS al año al tener menor número de rotaciones. Además, las condiciones climáticas también afectaron la producción de forrajes ( $p = 0.0099$ ), siendo menor en las épocas de menor precipitación, esto puede explicar las diferencias en cada sistema a lo largo del periodo de evaluación.

Los sistemas de producción de leche en el trópico basan su alimentación principalmente en la disponibilidad de forraje (Dulal et al., 2011), el déficit hídrico que se presenta en la época seca afecta la recuperación de las pasturas, la disponibilidad de forraje y reduce la capacidad de carga (Ramírez y García, 2004; Correa et al., 2018; Córdova et al., 2009; Vargas et al., 2018), esto puede explicar posiblemente el incremento de leguminosas en Pinos-CEP, ya que estas especies soportan mejor condiciones de estrés hídrico (Neto et al., 2015) al tener

sistemas radicales más profundos, aunque la composición botánica está determinada por múltiples factores y no solo por la precipitación, existe una sinergia entre las especies cultivadas, altura sobre el nivel del mar, manejo de pradera, prácticas agrícolas, etc (Fonseca et al., 2020).

**Tabla 2-8.** Producción de materia seca disponible (t/ha/año) y composición botánica en sistemas de producción de leche de pequeños productores de Alisal y Suesca (Cundinamarca).

Zona	Finca	Recuperación pastura (días)	Producción MS disponible (t/ha/año)*	Gramíneas (%)	Leguminosas (%)	Arvenses (%)
Alisal	Bosque-CET	90-120	12.63 <sup>a</sup> ±1.05	92 <sup>bc</sup> ±5	8 <sup>bc</sup> ±5	0 <sup>a</sup> ±0
	Triangulo-CET	60	15.65 <sup>ab</sup> ±3.11	96 <sup>c</sup> ±2	4 <sup>bc</sup> ±2	0 <sup>a</sup> ±0
	Triunfo-CET	90	14.36 <sup>ab</sup> ±1.52	96 <sup>c</sup> ±2	4 <sup>bc</sup> ±2	0 <sup>a</sup> ±0
	Leticia-CET	60	28.04 <sup>bc</sup> ±3.35	99 <sup>c</sup> ±0.3	1 <sup>ab</sup> ±0.1	0 <sup>a</sup> ±0
	Quinta-CPE	90-120	12.34 <sup>a</sup> ±2.53	80 <sup>ab</sup> ±6	20 <sup>cd</sup> ±6	0 <sup>a</sup> ±0
	Pinos-CPE	60	24.52 <sup>bc</sup> ±2.55	67 <sup>a</sup> ±10	33 <sup>d</sup> ±10	0 <sup>a</sup> ±0
Suesca	Satiavan-CET	60	19.71 <sup>bc</sup> ±5.02	90 <sup>bc</sup> ±4	1 <sup>ab</sup> ±0.6	9 <sup>b</sup> ±4
	Delicias-CET	45	31.31 <sup>cd</sup> ±3.12	100 <sup>c</sup> ±0	0 <sup>ab</sup> ±0	0 <sup>a</sup> ±0
	Don Camilo-CPE	60	27.31 <sup>bc</sup> ±8.96	100 <sup>c</sup> ±0	0 <sup>a</sup> ±0	0 <sup>a</sup> ±0
	Pino-CPE	90	17.15 <sup>ab</sup> ±5.82	88 <sup>bc</sup> ±6	10 <sup>bc</sup> ±5	2 <sup>a</sup> ±1
	Rosal-CPE	60	28.8 <sup>bc</sup> ±5.31	93 <sup>bc</sup> ±4	4 <sup>bc</sup> ±3	3 <sup>ab</sup> ±2
	Golondrina-CPE	45	27.30 <sup>bc</sup> ±8.02	98 <sup>c</sup> ±1	1 <sup>ab</sup> ±1	1 <sup>a</sup> ±0.4
	Apocentos-O	60	34.84 <sup>d</sup> ±6.33	96 <sup>c</sup> ±3	3 <sup>bc</sup> ±3	1 <sup>a</sup> ±1
	San José-O	90-120	14.78 <sup>ab</sup> ±3.03	75 <sup>ab</sup> ±9	18 <sup>cd</sup> ±7	0 <sup>a</sup> ±0
	Esperanza-O	45	30.56 <sup>cd</sup> ±6.33	90 <sup>bc</sup> ±3	9 <sup>bc</sup> ±3	1 <sup>a</sup> ±0.5
	Estancia-A	45	30.60 <sup>cd</sup> ±2.90	97 <sup>c</sup> ±1	1 <sup>ab</sup> ±0.2	2 <sup>a</sup> ±1.5
p valor			0.0004	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico. \*: producción ajusta al número de pastoreos al año según período de descanso de las pasturas.

Los sistemas silvopastoriles retienen humedad en el sistema al reducir la evapotranspiración esto mejora las condiciones para la supervivencia y desarrollo de la planta al disminuir el estrés hídrico (Rueda et al., 2011; Vallejo et al., 2010), además los árboles reducen el efecto negativo del viento, lo que permite que esta práctica agroecológica mejore las condiciones de producción con relación al monocultivo que se presenta en los sistemas convencionales.

Se encontraron diferencias entre sistemas en la composición botánica dentro de las praderas (tabla 2-8), aunque en la mayoría de las fincas las praderas son polifíticas, predominaron las gramíneas, en fincas con sistemas silvopastoriles y alta cobertura arbórea la sombra generada posiblemente pudo reducir las especies de hoja ancha, en el caso de los sistemas sin árboles

factores como cortos periodos de recuperación de la pradera pueden afectar a las especies leguminosas que requieren mayor tiempo de recuperación que las gramíneas (Merchant y Solano, 2016).

No se presentaron diferencias estadísticas entre tipos de finca en el porcentaje de proteína cruda y sus fracciones contenidas en el pasto (tabla 2-9), aunque se encontraron diferencias numéricas en el porcentaje de proteína cruda lo que se puede explicar posiblemente por el manejo de la rotación, ya que los mayores porcentajes se presentaron en fincas donde las pasturas tuvieron menor tiempo de recuperación, esto permite a las plantas tener mayor concentración de proteína al momento del pastoreo, pero además cortos periodos de recuperación favorecen mayor reciclaje de nutrientes a partir de la concentración de excretas de los animales. Se presentaron diferencias en el porcentaje de proteína cruda entre época ( $p = 0.0007$ ), siendo mayor en la época de mayor precipitación.

Se presentaron diferencias en la fibra en detergente ácido ( $p = 0.0184$ ) y en los carbohidratos solubles ( $p = 0.0088$ ) entre fincas (tabla 2-10). Igualmente, en la energía neta de lactancia ( $p = 0.0013$ ) entre épocas, siendo mayor en la época de mayor precipitación.

**Tabla 2-9.** Contenidos de proteína cruda (PC) y diferentes fracciones de la proteína en pasturas de sistemas de producción de lechería especializada de pequeños productores de Alisal y Suesca (Cundinamarca).

Zona	Finca	Proteína cruda	Proteína Soluble	Proteína B	Proteína C
		(%)		(% PC)	
Alisal	Bosque-CET	14.7 <sup>a</sup> ±2.5	37.3 <sup>a</sup> ±1.1	56.3 <sup>a</sup> ±0.7	7.1 <sup>a</sup> ±0.7
	Triangulo-CET	15.7 <sup>a</sup> ±2.4	39.7 <sup>a</sup> ±1.5	53.9 <sup>a</sup> ±1.5	7.0 <sup>a</sup> ±0.04
	Triunfo-CET	12.1 <sup>a</sup> ±0.7	35.9 <sup>a</sup> ±0.4	56.4 <sup>a</sup> ±0.6	7.8 <sup>a</sup> ±0.4
	Leticia-CET	13.5 <sup>a</sup> ±2.0	37.2 <sup>a</sup> ±1.2	57.4 <sup>a</sup> ±0.9	6.8 <sup>a</sup> ±0.5
	Quinta-CPE	15.1 <sup>a</sup> ±1.5	38.1 <sup>a</sup> ±2.2	56.3 <sup>a</sup> ±1.3	7.1 <sup>a</sup> ±1.3
	Pinos-CPE	15.7 <sup>a</sup> ±1.3	39.8 <sup>a</sup> ±1.1	54.2 <sup>a</sup> ±1.5	6.8 <sup>a</sup> ±0.7
Suesca	Satiavan-CET	14.9 <sup>a</sup> ±1.2	40.9 <sup>a</sup> ±1.1	54.0 <sup>a</sup> ±0.9	6.7 <sup>a</sup> ±0.2
	Delicias-CET	18.1 <sup>a</sup> ±1.2	40.8 <sup>a</sup> ±1.7	53.8 <sup>a</sup> ±1.3	7.7 <sup>a</sup> ±0.5
	Don Camilo-CPE	8.9 <sup>a</sup> ±0.4	34.0 <sup>a</sup> ±1.2	56.9 <sup>a</sup> ±1.2	9.3 <sup>a</sup> ±0.3
	Pino-CPE	14.4 <sup>a</sup> ±5.6	37.2 <sup>a</sup> ±4.4	50.6 <sup>a</sup> ±4.2	8.6 <sup>a</sup> ±0.2
	Rosal-CPE	13.0 <sup>a</sup> ±0.5	41.0 <sup>a</sup> ±0.1	51.3 <sup>a</sup> ±0.5	7.5 <sup>a</sup> ±0.6
	Golondrina-CPE	15.6 <sup>a</sup> ±1.6	41.6 <sup>a</sup> ±0.6	50.8 <sup>a</sup> ±0.5	7.2 <sup>a</sup> ±0.2
	Apocentos-O	15.6 <sup>a</sup> ±1.2	40.0 <sup>a</sup> ±1.9	54.1 <sup>a</sup> ±1.4	7.7 <sup>a</sup> ±0.6
	San José-O	11.5 <sup>a</sup> ±1.2	38.0 <sup>a</sup> ±1.9	53.1 <sup>a</sup> ±1.5	8.0 <sup>a</sup> ±0.4
	Esperanza-O	15.3 <sup>a</sup> ±2.6	39.2 <sup>a</sup> ±2.6	56.2 <sup>a</sup> ±2.4	7.7 <sup>a</sup> ±0.5
	Estancia-A	17.4 <sup>a</sup> ±0.7	39.8 <sup>a</sup> ±1.5	52.5 <sup>a</sup> ±0.9	8.3 <sup>a</sup> ±0.9

p valor	0.2073	0.1790	0.0524	0.3611
---------	--------	--------	--------	--------

CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico. Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Se presentaron diferencias en la fibra en detergente ácido ( $p = 0.0184$ ) y en los carbohidratos solubles ( $p = 0.0088$ ) entre fincas (tabla 2-10). Igualmente, en la energía neta de lactancia ( $p = 0.0013$ ) entre épocas, siendo mayor en la época de mayor precipitación.

**Tabla 2-10.** Digestibilidad, fibras y contenidos de energía de pasturas de sistemas de producción de lechería especializada de pequeños productores de Alisal y Suesca (Cundinamarca).

Zona	Finca	Dig	FDN	FDA	CNE	CSol	ENL
		(%)					(Mcal/kg)
Alisal	Bosque-CET	61.0 <sup>a</sup> ±2.4	58 <sup>a</sup> ±2.3	33 <sup>ab</sup> ±1.1	8.9 <sup>a</sup> ±0.9	3.6 <sup>ab</sup> ±0.3	1.25 <sup>a</sup> ±0.05
	Triangulo-CET	62.3 <sup>a</sup> ±2.3	55 <sup>a</sup> ±4.3	31 <sup>ab</sup> ±1.2	9.1 <sup>a</sup> ±0.3	3.6 <sup>ab</sup> ±0.1	1.28 <sup>a</sup> ±0.05
	Triunfo-CET	58.6 <sup>a</sup> ±0.6	59 <sup>a</sup> ±0.9	34 <sup>ab</sup> ±0.8	10.6 <sup>a</sup> ±0.5	3.9 <sup>ab</sup> ±0.2	1.19 <sup>a</sup> ±0.02
	Leticia-CET	61.3 <sup>a</sup> ±1.9	52 <sup>a</sup> ±2.6	28 <sup>a</sup> ±1.3	12.5 <sup>a</sup> ±0.6	5.2 <sup>ab</sup> ±0.3	1.26 <sup>a</sup> ±0.04
	Quinta-CPE	62.3 <sup>a</sup> ±1.4	54 <sup>a</sup> ±3.1	29 <sup>a</sup> ±0.5	9.2 <sup>a</sup> ±1.3	4.3 <sup>ab</sup> ±0.5	1.28 <sup>a</sup> ±0.03
	Pinos-CPE	62.1 <sup>a</sup> ±0.9	56 <sup>a</sup> ±0.8	31 <sup>ab</sup> ±0.5	10.4 <sup>a</sup> ±0.3	4.2 <sup>ab</sup> ±0.5	1.27 <sup>a</sup> ±0.02
Suesca	Satiavan-CET	61.9 <sup>a</sup> ±0.9	55 <sup>a</sup> ±1.7	30 <sup>ab</sup> ±1.0	10.1 <sup>a</sup> ±0.9	4.2 <sup>ab</sup> ±0.5	1.27 <sup>a</sup> ±0.02
	Delicias-CET	64.9 <sup>a</sup> ±1.5	52 <sup>a</sup> ±2.7	29 <sup>a</sup> ±1.7	10.7 <sup>a</sup> ±0.7	4.0 <sup>b</sup> ±0.6	1.34 <sup>a</sup> ±0.61
	Don Camilo-CPE	54.8 <sup>a</sup> ±0.4	64 <sup>a</sup> ±0.8	38 <sup>b</sup> ±0.4	10.2 <sup>a</sup> ±1.0	3.1 <sup>ab</sup> ±0.2	1.11 <sup>a</sup> ±0.01
	Pino-CPE	61.3 <sup>a</sup> ±6.1	54 <sup>a</sup> ±8.9	31 <sup>ab</sup> ±5.3	10.6 <sup>a</sup> ±3.1	3.9 <sup>ab</sup> ±0.9	1.26 <sup>a</sup> ±0.14
	Rosal-CPE	60.0 <sup>a</sup> ±0.6	60 <sup>a</sup> ±1.3	32 <sup>ab</sup> ±0.8	9.0 <sup>a</sup> ±0.8	3.1 <sup>ab</sup> ±0.3	1.22 <sup>a</sup> ±0.01
	Golondrina-CPE	62.3 <sup>a</sup> ±1.7	57 <sup>a</sup> ±2.2	31 <sup>ab</sup> ±1.5	9.1 <sup>a</sup> ±0.9	2.9 <sup>a</sup> ±0.2	1.28 <sup>a</sup> ±0.04
	Apocentos-O	61.9 <sup>a</sup> ±1.2	57 <sup>a</sup> ±1.6	32 <sup>ab</sup> ±0.8	9.4 <sup>a</sup> ±0.5	3.5 <sup>ab</sup> ±0.2	1.27 <sup>a</sup> ±0.03
	San José-O	58.7 <sup>a</sup> ±1.6	59 <sup>a</sup> ±4.0	32 <sup>ab</sup> ±2.1	11.3 <sup>a</sup> ±1.0	3.8 <sup>ab</sup> ±0.5	1.2 <sup>a</sup> ±0.04
	Esperanza-O	61.4 <sup>a</sup> ±2.6	57 <sup>a</sup> ±2.6	33 <sup>ab</sup> ±2.0	9.7 <sup>a</sup> ±0.8	4.0 <sup>ab</sup> ±0.5	1.26 <sup>a</sup> ±0.06
Estancia-A	63.5 <sup>a</sup> ±0.6	55 <sup>a</sup> ±0.7	31 <sup>ab</sup> ±0.6	9.0 <sup>a</sup> ±0.5	2.8 <sup>a</sup> ±0.3	1.31 <sup>a</sup> ±0.01	
p valor	0.1656	0.2066	0.0184	0.0968	0.0088	0.1602	

Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Dig: digestibilidad; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; CNE: carbohidratos no estructurales; CSol: carbohidratos solubles; EM: energía metabolizable; ENL: energía neta de lactancia, análisis realizados con NIRs. CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico

Se presentaron diferencias en los contenidos de cenizas, calcio y magnesio en la pastura entre fincas (tabla 2-11).

**Tabla 2-11.** Contenidos de minerales en pasturas de sistemas de producción de lechería especializada de pequeños productores de Alisal y Suesca (Cundinamarca).

Zona	Finca	Cenizas (%)	Calcio (%)	Fósforo (%)	Magnesio (%)	Potasio (%)
Alisal	Bosque-CET	9.7 <sup>a</sup> ±0.26	0.47 <sup>ab</sup> ±0.04	0.29 <sup>a</sup> ±0.04	0.28 <sup>ab</sup> ±0.03	2.84 <sup>a</sup> ±0.27
	Triangulo-CET	10.4 <sup>ab</sup> ±0.50	0.40 <sup>ab</sup> ±0.05	0.31 <sup>a</sup> ±0.03	0.27 <sup>ab</sup> ±0.01	3.0 <sup>a</sup> ±0.22
	Triunfo-CET	9.6 <sup>a</sup> ±0.09	0.37 <sup>ab</sup> ±0.03	0.23 <sup>a</sup> ±0.01	0.28 <sup>ab</sup> ±0.01	2.33 <sup>a</sup> ±0.11
	Leticia-CET	9.8 <sup>a</sup> ±0.59	0.42 <sup>ab</sup> ±0.04	0.23 <sup>a</sup> ±0.02	0.21 <sup>a</sup> ±0.02	2.51 <sup>a</sup> ±0.17
	Quinta-CPE	10.5 <sup>ab</sup> ±0.34	0.6 <sup>b</sup> ±0.08	0.30 <sup>a</sup> ±0.02	0.24 <sup>ab</sup> ±0.01	2.65 <sup>a</sup> ±0.54
	Pinos-CPE	11.0 <sup>ab</sup> ±0.78	0.5 <sup>ab</sup> ±0.01	0.29 <sup>a</sup> ±0.03	0.27 <sup>ab</sup> ±0.01	2.68 <sup>a</sup> ±0.29
Suesca	Satiavan-CET	10.4 <sup>ab</sup> ±0.42	0.35 <sup>ab</sup> ±0.05	0.30 <sup>a</sup> ±0.02	0.23 <sup>ab</sup> ±0.01	2.84 <sup>a</sup> ±0.33
	Delicias-CET	12.6 <sup>b</sup> ±0.61	0.44 <sup>ab</sup> ±0.04	0.33 <sup>a</sup> ±0.03	0.25 <sup>ab</sup> ±0.01	3.0 <sup>a</sup> ±0.17
	Don Camilo-CPE	10.8 <sup>ab</sup> ±0.31	0.36 <sup>ab</sup> ±0.02	0.20 <sup>a</sup> ±0.02	0.26 <sup>ab</sup> ±0.02	2.33 <sup>a</sup> ±0.17
	Pino-CPE	9.9 <sup>a</sup> ±1.09	0.53 <sup>ab</sup> ±0.18	0.24 <sup>a</sup> ±0.06	0.21 <sup>a</sup> ±0.03	2.15 <sup>a</sup> ±0.65
	Rosal-CPE	9.9 <sup>a</sup> ±0.27	0.43 <sup>ab</sup> ±0.04	0.32 <sup>a</sup> ±0.03	0.29 <sup>b</sup> ±0.01	3.02 <sup>a</sup> ±0.32
	Golondrina-CPE	11.3 <sup>ab</sup> ±0.75	0.32 <sup>a</sup> ±0.03	0.32 <sup>a</sup> ±0.01	0.24 <sup>ab</sup> ±0.02	3.10 <sup>a</sup> ±0.36
	Apocentos-O	10.8 <sup>ab</sup> ±0.33	0.42 <sup>ab</sup> ±0.04	0.31 <sup>a</sup> ±0.03	0.27 <sup>ab</sup> ±0.02	3.15 <sup>a</sup> ±0.24
	San José-O	9.9 <sup>a</sup> ±0.20	0.46 <sup>ab</sup> ±0.02	0.23 <sup>a</sup> ±0.02	0.26 <sup>ab</sup> ±0.03	2.56 <sup>a</sup> ±0.23
	Esperanza-O	10.5 <sup>ab</sup> ±0.60	0.47 <sup>ab</sup> ±0.05	0.31 <sup>a</sup> ±0.04	0.29 <sup>ab</sup> ±0.02	2.78 <sup>a</sup> ±0.37
	Estancia-A	11.7 <sup>ab</sup> ±0.40	0.4 <sup>ab</sup> ±0.02	0.34 <sup>a</sup> ±0.02	0.26 <sup>ab</sup> ±0.01	2.97 <sup>a</sup> ±0.22
p valor		0.0014	0.0463	0.0553	0.0026	0.4870

CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico. Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

### 2.3.4 Producción y calidad de leche de sistemas de producción de pequeños productores en Alisal y Suesca (Cundinamarca).

Se presentaron diferencias en la producción de leche a lo largo del año en todos los sistemas evaluados en Alisal (tabla 2-12) y en Suesca (tabla 2-13), las cuales se pueden atribuir en gran parte a las condiciones climáticas que afectan la producción de forraje durante el año y particularmente en esta región a las épocas secas ( $p = 0.0099$ ), además al estrés calórico que sufren los animales, en Alisal se presentó un ITH mínimo de 36 y ITH máximo de 74, mientras que en Suesca el ITH mínimo y máximo fue de 34 y 78 respectivamente, estas condiciones pudieron afectar el desempeño de los animales (Morales y WingChing, 2020).

**Tabla 2-12.** Producción promedio de leche (kg) al día para cada mes, de fincas de pequeños productores de la zona de Alisal (Cundinamarca).

Mes	Producción promedio de leche (kg) al día de cada mes.					
	Triunfo-CET	Leticia-CET	Bosque-CET	Triangulo-CET	Pinos-CPE	Quinta-CPE
Oct	49 <sup>f</sup> ±3	76 <sup>b</sup> ±10	79 <sup>ab</sup> ±4	90 <sup>f</sup> ±4	89 <sup>cd</sup> ±5	47 <sup>a</sup> ±3
Nov	47 <sup>f</sup> ±6	61 <sup>a</sup> ±9	80 <sup>ab</sup> ±12	91 <sup>f</sup> ±6	84 <sup>b</sup> ±4	53 <sup>b</sup> ±5
Dic	48 <sup>f</sup> ±5	60 <sup>a</sup> ±4	76 <sup>a</sup> ±13	103 <sup>g</sup> ±4	86 <sup>bc</sup> ±8	55 <sup>bc</sup> ±3
Ene	39 <sup>e</sup> ±5	87 <sup>d</sup> ±7	77 <sup>a</sup> ±8	94 <sup>f</sup> ±8	75 <sup>a</sup> ±7	67 <sup>ef</sup> ±11
Feb	40 <sup>e</sup> ±7	89 <sup>cd</sup> ±6	79 <sup>ab</sup> ±9	74 <sup>d</sup> ±7	87 <sup>cd</sup> ±6	66 <sup>e</sup> ±8
Mar	29 <sup>d</sup> ±2	85 <sup>d</sup> ±3	82 <sup>ab</sup> ±6	83 <sup>e</sup> ±5	85 <sup>b</sup> ±6	61 <sup>d</sup> ±4
Abr	29 <sup>d</sup> ±4	86 <sup>d</sup> ±4	78 <sup>ab</sup> ±6	77 <sup>d</sup> ±4	86 <sup>b</sup> ±4	57 <sup>cd</sup> ±3
May	20 <sup>c</sup> ±5	80 <sup>bc</sup> ±6	85 <sup>bc</sup> ±13	74 <sup>d</sup> ±3	88 <sup>cd</sup> ±4	60 <sup>cd</sup> ±6
Jun	16 <sup>a</sup> ±2	79 <sup>bc</sup> ±5	81 <sup>ab</sup> ±4	61 <sup>b</sup> ±8	102 <sup>e</sup> ±5	72 <sup>g</sup> ±6
Jul	20 <sup>bc</sup> ±8	83 <sup>cd</sup> ±6	75 <sup>a</sup> ±7	67 <sup>c</sup> ±3	92 <sup>d</sup> ±9	69 <sup>fg</sup> ±6
Ago	16 <sup>ab</sup> ±4	79 <sup>bc</sup> ±4	81 <sup>ab</sup> ±9	67 <sup>c</sup> ±8	91 <sup>cd</sup> ±7	72 <sup>fg</sup> ±6
Sep	27 <sup>d</sup> ±4	83 <sup>cd</sup> ±6	90 <sup>c</sup> ±6	54 <sup>a</sup> ±8	87 <sup>cd</sup> ±5	78 <sup>h</sup> ±5
p <	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala

Se presentaron diferencias ( $p < 0.0001$ ) en la producción de leche por hectárea al mes entre las fincas evaluadas (tabla 2-14), siendo la finca Estancia-A la más eficiente en el uso de la tierra. El sistema agroecológico produjo la mayor cantidad de leche por hectárea al año, lo que se puede explicar en parte por el manejo de las áreas de pastoreo, en las cuales no se presentaron cambios drásticos en la producción de biomasa comestible a lo largo del año, con relación a otros sistemas donde se observaron diferencias en la producción de forraje entre muestreos.

Se presentaron diferencias en la calidad composicional de la leche entre sistemas (tabla 2-15), particularmente en la grasa ( $p = 0.0320$ ) y los sólidos totales ( $p = 0.0399$ ), siendo mayor en la finca Satiavan-CET, lo que se puede explicar por la composición racial de los animales (cruces con jersey) y la alimentación de las vacas donde predomina el suministro de forrajes y bajos niveles de suplementación con carbohidratos solubles.

**Tabla 2-13.** Producción promedio de leche (kg) al día para cada mes, de fincas de pequeños productores de la zona de Suesca (Cundinamarca).

Mes	Producción promedio de leche (kg) al día de cada mes					
	Estancia-A	Satiavan-CET	Delicias-CET	Apocentos-O	San José-O	Golondrina-CPE
Oct	146 <sup>de</sup> ±9	43 <sup>f</sup> ±6	234 <sup>f</sup> ±28	107 <sup>cd</sup> ±13	43 <sup>b</sup> ±6	251 <sup>h</sup> ±15
Nov	145 <sup>de</sup> ±9	52 <sup>g</sup> ±9	165 <sup>cd</sup> ±14	106 <sup>bc</sup> ±8	49 <sup>c</sup> ±9	200 <sup>ef</sup> ±8
Dic	138 <sup>cd</sup> ±9	49 <sup>g</sup> ±6	145 <sup>ab</sup> ±9	124 <sup>ef</sup> ±17	63 <sup>d</sup> ±5	200 <sup>ef</sup> ±15
Ene	137 <sup>bc</sup> ±6	34 <sup>cd</sup> ±6	135 <sup>a</sup> ±11	128 <sup>f</sup> ±12	49 <sup>c</sup> ±5	217 <sup>g</sup> ±18
Feb	117 <sup>a</sup> ±8	27 <sup>a</sup> ±3	157 <sup>bc</sup> ±24	102 <sup>b</sup> ±7	41 <sup>b</sup> ±3	179 <sup>c</sup> ±9
Mar	117 <sup>a</sup> ±8	31 <sup>ab</sup> ±6	183 <sup>e</sup> ±11	104 <sup>bc</sup> ±7	32 <sup>a</sup> ±4	145 <sup>a</sup> ±14
Abr	165 <sup>f</sup> ±15	33 <sup>bc</sup> ±6	165 <sup>cd</sup> ±11	108 <sup>cd</sup> ±8	34 <sup>a</sup> ±5	147 <sup>a</sup> ±9
May	159 <sup>f</sup> ±12	36 <sup>de</sup> ±6	166 <sup>cd</sup> ±13	111 <sup>cd</sup> ±8	40 <sup>b</sup> ±6	164 <sup>b</sup> ±18
Jun	165 <sup>f</sup> ±9	36 <sup>de</sup> ±3	141 <sup>a</sup> ±9	115 <sup>de</sup> ±14	40 <sup>b</sup> ±5	192 <sup>de</sup> ±11
Jul	167 <sup>f</sup> ±11	40 <sup>ef</sup> ±7	174 <sup>de</sup> ±18	105 <sup>bc</sup> ±9	34 <sup>a</sup> ±3	196 <sup>de</sup> ±9
Ago	147 <sup>e</sup> ±7	39 <sup>ef</sup> ±6	175 <sup>de</sup> ±12	90 <sup>a</sup> ±9	30 <sup>a</sup> ±4	210 <sup>fg</sup> ±10
Sep	133 <sup>b</sup> ±15	38 <sup>de</sup> ±7	165 <sup>cd</sup> ±7	92 <sup>a</sup> ±6	30 <sup>a</sup> ±10	186 <sup>cd</sup> ±18
p <	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico

Aunque no se reportan los datos de la calidad higiénica de la leche, en ambas zonas es baja, lo que afecta la capacidad de resiliencia de los sistemas al incrementar la vulnerabilidad cuando los mercados bonifican o castigan esta característica de importancia en la producción de alimentos. Además, se observan niveles bajos o en el límite de nitrógeno ureico en leche (NUL), lo que muestra un imbalance entre la energía y la proteína en la dieta de los animales, lo que puede estar asociado a el bajo aporte de proteína cruda que hace el forraje en varias fincas.

La calidad nutricional del forraje también afecta la producción de leche (Kolver, 2003), se reduce con bajos niveles de proteína cruda (Yamandú, 2004, citado en Calvache y Navas, 2012) como paso en la época de menor precipitación ( $p = 0.0007$ ), al igual que con el incremento en la FDN y FDA que se presenta en forrajes de avanzado tiempo de recuperación (Ramírez y García, 2004), aunque no se presentaron diferencias estadísticas en la FDN, si se observaron diferencias numéricas.

**Tabla 2-14.** Producción de leche por hectárea al mes (kg/ha/mes) y por hectárea al año (kg/ha/año), de fincas de pequeños productores de la zona de Alisal y Suesca (Cundinamarca).

Zona	Finca	Producción de leche por	Producción de leche por
		hectárea al mes (kg/ha/mes)	hectárea al año (kg/ha/año)
Alisal	Bosque-CET	350 <sup>bc</sup> ±18	4194
	Triangulo-CET	476 <sup>d</sup> ±94	5718
	Triunfo-CET	321 <sup>b</sup> ±128	3854
	Leticia-CET	599 <sup>e</sup> ±69	7187
	Quinta-CPE	427 <sup>cd</sup> ±60	5128
	Pinos-CPE	670 <sup>e</sup> ±48	8038
Suesca	Satiavan-CET	166 <sup>a</sup> ±33	1994
	Delicias-CET	678 <sup>e</sup> ±110	8136
	Golondrina-CPE	380 <sup>cd</sup> ±64	4556
	Apocentos-O	410 <sup>cd</sup> ±46	4921
	San José-O	176 <sup>a</sup> ±43	2112
	Estancia-A	977 <sup>f</sup> ±120	11728
	p valor	<0.0001	

CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico. Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

La época seca reduce drásticamente la calidad nutricional de los forrajes (Cuartas et al., 2014), en este estudio en la época de menor precipitación se redujo la proteína cruda ( $p = 0.0007$ ) y la energía neta de lactancia ( $p = 0.0013$ ), además genera condiciones de estrés calórico en los animales, lo que puede reducir el consumo voluntario de los animales con la consecuente reducción en la producción de leche y el contenido de grasa y proteína (Leyva et al., 2015; Gaughan et al., 2009).

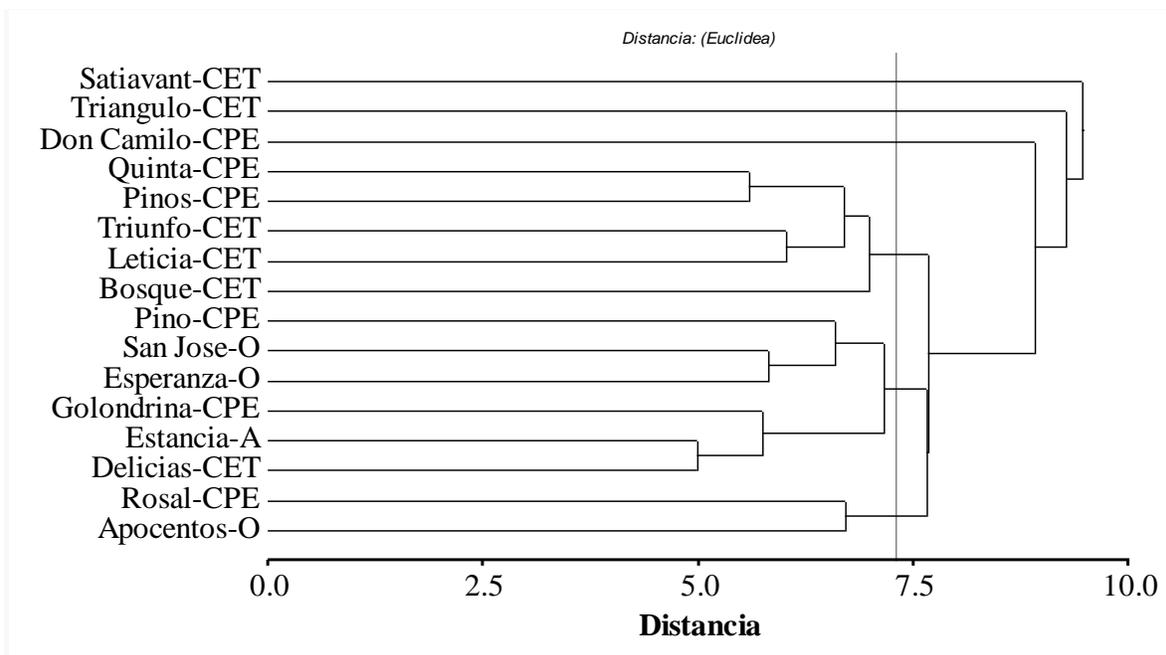
**Tabla 2-15.** Calidad composicional de leche de fincas de pequeños productores de la zona de Alisal y Suesca (Cundinamarca).

Zona	Finca	Grasa (%)	Proteína (%)	ST (%)	Lactosa (%)	NUL (mg/dl)
Alisal	Bosque-CET	3.4 <sup>a</sup> ±0.3	3.1 <sup>a</sup> ±0.2	11.7 <sup>a</sup> ±0.6	4.5 <sup>a</sup> ±0.2	9.5 <sup>a</sup> ±1.6
	Triangulo-CET	3.4 <sup>ab</sup> ±0.3	3.0 <sup>a</sup> ±0.2	11.7 <sup>a</sup> ±0.5	4.6 <sup>a</sup> ±0.2	10.3 <sup>ab</sup> ±1.9
	Triunfo-CET	3.6 <sup>ab</sup> ±0.6	3.2 <sup>a</sup> ±0.3	12.2 <sup>ab</sup> ±0.6	4.7 <sup>a</sup> ±0.2	11.1 <sup>ab</sup> ±3.0
	Leticia-CET	4.1 <sup>ab</sup> ±0.7	3.4 <sup>a</sup> ±0.3	12.7 <sup>ab</sup> ±0.6	4.5 <sup>a</sup> ±0.3	10.0 <sup>ab</sup> ±3.3
	Quinta-CPE	3.3 <sup>a</sup> ±0.5	3.1 <sup>a</sup> ±0.1	11.6 <sup>a</sup> ±0.6	4.5 <sup>a</sup> ±.1	10.2 <sup>ab</sup> ±2.2
	Pinos-CPE	3.6 <sup>ab</sup> ±0.2	3.2 <sup>a</sup> ±0.1	12.2 <sup>ab</sup> ±0.3	4.7 <sup>a</sup> ±0.3	11.3 <sup>ab</sup> ±1.4
Suesca	Satiavan-CET	5.3 <sup>b</sup> ±1.1	3.5 <sup>a</sup> ±0.3	14.4 <sup>b</sup> ±2.0	4.9 <sup>a</sup> ±0.4	15.1 <sup>b</sup> ±0.5
	Delicias-CET	3.7 <sup>ab</sup> ±1.0	3.4 <sup>a</sup> ±0.4	12.5 <sup>ab</sup> ±1.3	4.5 <sup>a</sup> ±0.3	12.5 <sup>ab</sup> ±4.1
	Don Camilo-CPE	3.9 <sup>ab</sup> ±0.5	3.2 <sup>a</sup> ±0.2	12.4 <sup>ab</sup> ±0.8	4.6 <sup>a</sup> ±0.4	10.3 <sup>ab</sup> ±4.2
	Pino-CPE	3.8 <sup>ab</sup> ±0.7	3.2 <sup>a</sup> ±0.1	12.4 <sup>ab</sup> ±1.0	4.6 <sup>a</sup> ±0.5	14.0 <sup>ab</sup> ±3.5
	Rosal-CPE	3.8 <sup>ab</sup> ±0.5	3.1 <sup>a</sup> ±0.1	12.0 <sup>ab</sup> ±0.5	4.4 <sup>a</sup> ±0.3	11.9 <sup>ab</sup> ±0.8
	Golondrina-CPE	4.1 <sup>ab</sup> ±1.0	3.3 <sup>a</sup> ±0.5	12.6 <sup>ab</sup> ±1.6	4.5 <sup>a</sup> ±0.3	13.0 <sup>ab</sup> ±4.6
	Apocentos-O	4.3 <sup>ab</sup> ±0.6	3.3 <sup>a</sup> ±0.3	13.1 <sup>ab</sup> ±1.1	4.7 <sup>a</sup> ±0.4	11.0 <sup>ab</sup> ±1.8
	San José-O	3.6 <sup>ab</sup> ±1.0	3.2 <sup>a</sup> ±0.2	12.1 <sup>ab</sup> ±1.1	4.6 <sup>a</sup> ±0.2	12.3 <sup>ab</sup> ±3.4
	Esperanza-O	4.3 <sup>ab</sup> ±0.9	3.5 <sup>a</sup> ±0.3	13.3 <sup>ab</sup> ±1.5	4.7 <sup>a</sup> ±0.5	10.9 <sup>ab</sup> ±4.1
	Estancia-A	4.1 <sup>ab</sup> ±0.5	3.4 <sup>a</sup> ±0.1	12.6 <sup>ab</sup> ±0.8	4.5 <sup>a</sup> ±0.4	12.8 <sup>ab</sup> ±3.3
p valor		0.0320	0.2599	0.0399	0.8693	0.4224

CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico. Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Las concentraciones de nitrógeno ureico en leche inferiores a 15 mg/dL señalan una deficiencia relativa de proteína en la dieta, lo que causa en los animales un imbalance en la relación energía – proteína (Hammond, 1998), afectando la eficiencia productiva y reproductiva. Esto se puede presentar cuando los animales consumen forrajes con bajo porcentaje de proteína y altos de FDN (Correa et al., 2008), lo que puede limitar el aporte de proteína cruda y energía, además de restringir el consumo voluntario de materia seca.

El análisis de similitud realizado para los diferentes tipos de sistemas de producción de leche de pequeños productores de Alisal y Suesca, con variables edáficas, producción y calidad de forraje, producción y calidad de leche, muestra la formación de tres grupos, el primero conformado por dos sistemas convencionales de pequeña escala y tres convencionales en transición, el segundo por dos sistemas convencionales pequeña escala, uno convencional en transición, dos orgánicos y uno agroecológico y el tercero conformado por uno convencional pequeña escala y uno orgánico (figura 2-6).



CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico

**Figura 2-6.** Análisis de conglomerados (método promedio, distancia Euclidea) con variables edáficas, producción y calidad de forraje, producción y calidad de leche, para sistemas de lechería especializada de pequeños productores de Alisal y Suesca (Cundinamarca).

## 2.4 Conclusiones

Las condiciones climáticas que se presentan durante el año afectan la producción de forraje en los sistemas de lechería especializada, el sistema agroecológico no presenta tanta variabilidad en la producción de forraje como aquellos que realizan prácticas convencionales o están en proceso de reconversión.

Las prácticas convencionales o agroecológicas utilizadas en las fincas afectan las propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo, al igual que la macrofauna, en este trabajo no se presentaron tendencias en el comportamiento de las variables por tipo de sistema, esto se puede atribuir al corto tiempo que llevan algunos sistemas en el proceso de reconversión.

Las condiciones de sequía afectan la producción y calidad del forraje, afectando negativamente la producción y calidad de leche, el sistema agroecológico presentó menor variabilidad en la producción de forraje, mayor producción de forraje por hectárea al año, lo que se reflejó en mayor eficiencia en producción de leche por hectárea.

## 2.5 Bibliografía

Altieri, M. 2013. Construyendo resiliencia socio-ecológica en agroecosistemas: algunas consideraciones conceptuales y metodológicas. Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático. REDAGRES – CYTED. Medellín, CO. 94- 104 p.

Calvache, I; Navas, A. 2012. Factores que influyen en la composición nutricional de la leche. Revista Colombiana de Ciencia Animal, 5:73-85.

Chaves, J. 2011. Análisis multicriterio de la sustentabilidad ambiental de los sistemas productivos agropecuarios presentes en la alta montaña del complejo páramo de guerrero. Tesis de Maestría Universidad Nacional de Colombia. 155 p.

Córdova, A; Murillo, A; Castillo, H. 2009. Efecto de factores climáticos sobre la conducta reproductiva bovina en los trópicos. Revista electrónica de Veterinaria, 11(1):1-12.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. 2006. Diagnóstico prospectiva y formulación de la Cuenca hidrográfica de los ríos Uvate y Suárez. Bogotá, 308 p.

Correa, H; Escalante, L; Jaimes, L. 2018. Efecto de la época del año y la altura remanente posterior al pastoreo sobre el crecimiento y calidad nutricional del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el norte de Antioquia. Livestock Research for Rural Development, 30(97). <http://www.lrrd.org/lrrd20/4/corra20059.htm>

Correa, H; Pabón, M; Carulla, J. 2008: Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I - Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. Livestock Research for Rural Development, 20(4). <http://www.lrrd.org/lrrd20/4/corra20059.htm>

Cuartas, C; Naranjo, J; Tarazona, A; Murgueitio, E; Chará, J; Vera, J; Solorio, F; Flores, M; Sánchez, B; Barahona, R. 2014. Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. Rev Colomb Cienc Pecu 27:76-94.

Cubillos, A. 2011. el proceso de transformación del páramo de guerrero por sistemas de ganadería bovina (1960-2010), con énfasis en políticas públicas. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia. 126 p.

Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Dulal, HD; Brodnig, G; Shah, KU. 2011. Capital assets and institutional constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Mitig Adapt Strat Glob Change* 16:1-23.

Escobar, M; Navas, A; Medina, C; Corrales, J; Tenjo, A; Borrás, L. 2020. Efecto de prácticas agroecológicas sobre características del suelo en un sistema de lechería especializada del trópico alto colombiano. *Livestock Research for Rural Development*. 32, (58).

Estupiñán, L; Gómez, J; Barrantes, V; Limas, L. 2009. Efecto de actividades agropecuarias en las características del suelo en el páramo el granizo, (Cundinamarca - Colombia). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 12 (2): 79-89.

Fonseca, D; Bohórquez, I; Rodríguez, C; Vivas, N. 2020. Effect of the recovery period on the production and nutritional quality of some forage species. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(2):135-144. doi: [https://doi.org/10.18684/bsaa\(18\)135-144](https://doi.org/10.18684/bsaa(18)135-144).

Gaughan, J; Lacetera, S; Valtorta, H; Khalifa, L; Hahn, L; Mader, T. 2009. Response of Domestic Animals to Climate Challenges. In: Ebi L, Burton I, McGregor GR, editors. *Biometeorology for adaptation to climate variability and change*. New Zeland: Springer p.131-170.

Guevara, L; Polania, Y; Pardo, J; Piñeros, R. 2013. Preferencia trófica de coleópteros coprófagos en dos usos del suelo en zonas de bosque seco tropical. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 26: suplemento.

Hammond, A. 1998. Use of BUN and MUN as guides for protein and energy supplementation in cattle. *Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 2(2):44-48.

Honig, H; Ofer, L; Kaim, M; Jacobi, S; Shinder, D; Gershon, E. 2016. The effect of cooling management on blood flow to the dominant follicle and estrous cycle length at heat stress. *Theriogenology*, 86(2):626-634.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. 2013. Guía de muestreo. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 8p. <https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/guiademuestreo.pdf>

Jarvis, A; Touval, J; Castro, M; Sotomayor, L; Graham, G. 2010. Assessment of threats to ecosystems in South America. *J Nat Conservat* 18:180-188.

Jiménez, C; Rosas, G; Falla, R. 2012. Efecto de la ganadería en las propiedades físicas del suelo de lomerío en el Centro de investigaciones amazónicas macagual. Ingenierías & Amazonia 5(1):42-50.

Kolver, E.S. 2003. Nutritional limitations to increased production on pasture-based systems. Proceedings of the Nutrition Society, 62(2):291-300.

Leyva, J; Armenta, C; Zamorano, A; Thomas, M; Rincon, G; Medrano, J; Rivera, A; Reyna, G; Luna, N. 2015. Variables climáticas asociadas a la producción de leche en vacas Holstein criadas bajo condiciones de estrés por calor del Valle del Yaqui, México. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales 11(1):1-11.

Medina, Carlos. 2016. Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. Remediaciones. Rev Colombiana Cienc Anim, 8(1):88-93.

Merchant, I; Solano, J. 2016. Las praderas, sus asociaciones y características: una revisión. Acta Agrícola y Pecuaria 2(1): 1-11.

Morales, C; WingChing, J. 2020. Condiciones climáticas y la producción láctea del ganado jersey en dos pisos altitudinales. Agronomía Mesoamericana, 31(1):157-176.

Murgueitio, E; Calle, Z; Uribe, F; Calle, A; Solorio, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. Forest Ecol Manag 261:1654-1663.

Neto, J; Severiano, E; Pinho, K; Guimarães, W; Gomes, W; Andrade, R. 2015. Descompactação biológica do solo por capins do gênero *Brachiaria* em Integração Agricultura-Pecuária. Acta Scientiarum. Agronomía 37(3):375-383. doi:<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i3.19392>.

Ramírez, L; García, I. (2004). Renovación de pasturas degradadas de kikuyo *Pennisetum clandestinum*, Hoechst, con labranza mínima en una región alto andina de Colombia I. Productividad forrajera. Acta Agronómica, 53(3):69-75.

Ramírez, R; Marín, J; Pérez, J. 2007. Efecto del pisoteo caprino en las propiedades físicas de un suelo de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín (en línea). 13 p.

Reichert, J; Sanches, L; Reinert, D. 2007. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, Brasil: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

Rivera, L; Armbrachta, I; Calle, Z. 2013. Silvopastoral systems and ant diversity conservation in a cattle-dominated landscape of the Colombian Andes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 181: 188– 194.

Rueda, O; Cuartas, C; Naranjo, J; Córdoba, C; Murgueitio, E; Anzola H. 2011. Comportamiento de variables climáticas durante estaciones secas y de lluvia, bajo influencia del ENSO 2009-2010 (El Niño) y 2010-2011 (La Niña) dentro y fuera de sistemas silvopastoriles intensivos en el Caribe seco de Colombia. *Rev Colomb Cienc Pecu* 24:512.

Solomon, S; Qin, M; Manning, Z; Chen, M; Marquis, K; Averyt, M...otros. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Universidad de Cambridge, Reino Unido. p. 212–213, 541–542, 544. <http://www.pnud.cl/recientes/IPCC-Report.pdf> >

Steinfeld, H; Gerber, P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales, M; de Haan, C. 2009. *La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y soluciones*. Roma (Italia): LEAD – FAO.

Theadgill, E.1982. Residual tillage effects as determined by cone index. *Transactions of the ASAE*. 25: 859-863.

Vallejo, V; Roldán, F; Dick, R. 2010. Soil enzymatic activities and microbial biomass in an integrated agroforestry cronosequence compared to monoculture and a native forest in Colombia. *Biol Fertil Soils* 46:577-587.

Vallejo, V; Roldán, F; Arbeli, Z; Terán, W; Lorenz, N; Dick, R. 2012. Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in silvopastoral systems of Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 150: 139-148.

Vargas, J; Sierra, A; Mancipe, M; Avellaneda, A. 2018. El kikuyo, una gramínea presente en los sistemas de rumiantes en trópico alto colombiano. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 13(2):137-156.

Velarde, L. 2012. Evaluación de la percepción y los factores determinantes en la implementación de medidas de adaptación al cambio y variabilidad climática por los productores de leche de la cuenca del río La Villa, Panamá. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 94 p.

Villazón, J; Martín, G; Cobo, Y; Hernández, D. 2018. Resistencia a la penetración en un Vertisol Crómico con pasto natural. *Pastos y Forrajes*, 41(3):202-207.

### **3. Percepciones y conocimiento local de pequeños productores de leche en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto. Efecto de la variabilidad y cambio climático en la producción de leche y estrategias de adaptación**

#### **Resumen**

Los pequeños productores toman algunas decisiones de intervención en sus fincas a partir del conocimiento del clima en la región, en los últimos años la variabilidad climática ha afectado negativamente la producción de leche. El objetivo de este trabajo fue conocer la percepción y conocimiento de pequeños productores sobre el comportamiento del clima, su efecto en los sistemas de producción de leche y las prácticas que permiten la adaptación a la variabilidad y cambio climático. El estudio desarrolló en los municipios de Carmen de Carupa y Suesca (Cundinamarca), participaron 40 productores, la información se recopiló a través de entrevista semiestructurada, encuesta y observación en campo, se indagó por las causas del cambio climático, los eventos climáticos que afectan la producción de leche, cambios en el clima en los últimos años y estrategias que permitan adaptación, se utilizó estadística descriptiva mediante el programa Infostat®. Los productores consideran como causa principal de cambio climático la deforestación, perciben cambios en el clima y reconocen la sequía, las heladas y las altas temperaturas como eventos de mayor impacto en la producción de leche, los cuales incrementan las plagas en los potreros, reducen la producción de pasto, leche, salud y reproducción de los animales, ingresos económicos y disponibilidad de agua, perciben cambios de las épocas de lluvias y menor precipitación, sequías más prolongadas, incremento en la temperatura y heladas durante el año, consideran importantes las prácticas agroecológicas para adaptarse a la variabilidad climática. Los sistemas de producción de leche se ven fuertemente afectados por eventos extremos identificados por los productores como cambios en las condiciones climáticas, y también perciben las prácticas agroecológicas como estrategias para mejorar la adaptación a nuevos escenarios climáticos.

**Palabras clave:** agroecosistemas, ganadería, prácticas agroecológicas, saberes ancestrales, sistemas de producción

#### **Abstract**

Small producers make some intervention decisions on their farms based on knowledge of the climate in the region. In recent years, climate variability has negatively affected milk production. The objective of this work was to know the perception and knowledge of small producers about the behavior of the climate, its effect on milk production systems and the practices that allow adaptation to climate variability and change. The study developed in the

municipalities of Carmen de Carupa and Suesca (Cundinamarca), 40 producers participated, the information was collected through a semi-structured interview, survey and observation in the field, it was investigated the causes of climate change, the climatic events that affect milk production, changes in the climate in recent years and strategies that allow adaptation, descriptive statistics were used through the Infostat® program. Producers consider deforestation as the main cause of climate change, perceive changes in the climate and recognize drought, frost and high temperatures as events with the greatest impact on milk production, which increase pests in pastures, reduce pasture production, milk, animal health and reproduction, economic income and water availability, perceive changes in the rainy seasons and less precipitation, longer droughts, increased temperatures and frosts during the year, consider agroecological practices important to adapt to climate variability. Milk production systems are strongly affected by extreme events identified by producers as changes in climatic conditions, and they also perceive agroecological practices as strategies to improve adaptation to new climatic scenarios.

**Keyword:** agroecosystems, livestock, agroecological practices, ancestral knowledge, production systems

### 3.1 Introducción

Muchos de los sistemas de producción agropecuaria se han desarrollado a partir del cambio de uso del suelo de ecosistemas estratégicos (Hall et al, 2011; Sanfiorenzo, 2008), con la consecuente pérdida de servicios ecosistémicos y sus efectos en el corto, mediano y largo plazo. La degradación de los ecosistemas intervenidos por el hombre se acelera por el uso de modelos tecnológicos que simplifican los agroecosistemas, presentan baja rentabilidad en el corto tiempo y pérdida del potencial productivo del suelo, lo que conlleva a ampliar la frontera agrícola (Bohórquez, 2011) cambiando la matriz de paisaje.

Las actividades que se desarrollan para modificar los ecosistemas también generan efectos negativos sobre las condiciones climáticas, acentuando eventos meteorológicos que afectan los sistemas de producción (Velarde, 2012), la deforestación, quemas, sumado a las prácticas convencionales de los sistemas agropecuarios como la utilización de insumos agroquímicos (fertilizantes sintéticos), generan gases con efecto invernadero que contribuyen en el tiempo a modificar el clima (Mauricio, 2012; Rousseau 2013). Igualmente, las nuevas condiciones (pérdida de la biodiversidad) favorecen procesos de erosión y pérdida de nutrientes que reducen la producción y calidad de forrajes en los sistemas ganaderos, esta situación se agudiza por las condiciones climáticas (épocas secas) o eventos meteorológicos extremos (heladas, lluvias torrenciales).

Los productores organizan diversas actividades en las fincas a partir del conocimiento ancestral o local sobre el comportamiento del clima, lo que les permite tomar decisiones como cuándo sembrar, conservar forrajes o descartar animales poco productivos, igualmente pueden reconocer temporadas críticas que afectan la eficiencia de los animales y la rentabilidad, de manera que toman decisiones para manejar condiciones económicas a lo largo del año.

Comúnmente se desarrollan iniciativas que buscan mejorar la adaptación de los sistemas ganaderos a las condiciones climáticas extremas, pero pocas veces se consulta a los productores acerca de su percepción del efecto del clima sobre los sistemas de producción, menos sobre prácticas que conocen o utilizan que les ha permitido adaptarse a estos impactos climáticos.

En algunos lugares este tipo de conocimiento ancestral o local se ha erosionado o perdido por múltiples factores o dinámicas territoriales, como desplazamiento o migración de las comunidades, promoción de modelos de producción convencionales que incorporan altos insumos al sistema perdiéndose el conocimiento sobre el uso de prácticas o diversidad local.

Algunos ganaderos desarrollan prácticas dentro de los sistemas de producción de leche que les ha permitido adaptarse o reducir el impacto de los fenómenos climáticos, muchas de las cuales favorecen la recuperación o conservación del suelo al mejorar las propiedades físico-químicas y microbiológicas (Altieri y Nicholls, 2008), la producción y calidad de las pasturas, conservación y abastecimiento de agua y bienestar de los animales.

El objetivo de este trabajo fue a partir de procesos de facilitación, conocer la percepción y el conocimiento local de pequeños productores localizados en zonas ambientalmente estratégicas, sobre el comportamiento del clima y su efecto en los sistemas de producción de leche, además conocer las prácticas que les permite mejorar la adaptación de sus fincas a las condiciones climáticas.

### **3.2 Materiales y métodos**

El trabajo se desarrolló en los municipios de Carmen de Carupa - vereda Alisal (N5° 19.956' W73° 51.574') y Suesca (N 05°11.249' W073°45.438') departamento de Cundinamarca. Las condiciones climáticas de Carmen de Carupa corresponden a una precipitación promedio anual de 610 mm, temperatura media anual de 14 °C y humedad relativa de 65 %, mientras que Suesca presenta una con precipitación promedio anual de 734 mm, temperatura media anual de 14 °C y humedad relativa de 72 % (CAR, 2006).

Carmen de Carupa ha experimentado un fuerte cambio de uso del suelo con incremento de las actividades agropecuarias principalmente de los sistemas de lechería especializada y una fuerte reducción de las áreas de bosque, al igual que el incremento de las unidades de producción agropecuaria y el número de bovinos presentes en la zona (DANE, 2020). Suesca también ha experimentado un cambio similar en el uso del suelo, pero a diferencia de Carmen de Carupa se presenta una reducción de los sistemas agrícolas, áreas que también son destinadas a la ganadería de leche como algunas de bosque, las unidades de producción agropecuaria tienden a mantenerse igual a décadas anteriores, pero también se observa un fuerte incremento en el número de animales presentes en los sistemas de producción de leche (DANE, 2020).

Se desarrolló un trabajo participativo con pequeños productores de leche, cuyas fincas se encuentran ubicadas entre los 2900 y 3100 m s. n. m., zona considerada ambientalmente estratégica (zona de regulación hídrica), se recolectó información sobre la percepción y el conocimiento local acerca del efecto de la variabilidad y cambio climático sobre la producción de leche. La información fue colectada a través de entrevista semiestructurada, encuesta y observación en campo.

Las áreas de pastoreo en las fincas presentaron praderas conformadas por pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinum*), Rye grass (*Lolium spp.*) y en menor porcentaje Falsa poa (*Holcus lanatus*), Trébol blanco (*Trifolium repens*) y Trébol rojo (*Trifolium pratense*), mientras que aquellas con sistemas silvopatoriles predominaron árboles de Aliso (*Alnus acuminata*), Acacia japonesa (*Acacia melanoxylum*), Acacia negra (*Acacia decurrens*) y Tilo (*Sambucus nigra*), en arreglos de cerca viva y árboles dispersos. El manejo del pastoreo vario, algunas fincas presentaron pastoreo rotacional, otras alterno, con periodos de ocupación de 1 a 2 días y de recuperación entre 45 y 120 días dependiendo la época (precipitación) del año. La suplementación de los animales varió dependiendo de la finca, en general es baja, principalmente se utilizó papa, sal mineralizada y balanceado comercial.

Los animales utilizados en los sistemas productivos fueron de raza Holstein, algunos cruces con Jersey y normando. Las fincas realizaron doble ordeño sin apoyo de la cría, algunas en potrero y otras en establo, igualmente algunas de forma manual y otras mecanico. En Alisal la leche es recogida y almacenada en tanque de frío (asociación), mientras que en Suesca es recogida (caliente) en finca después de cada ordeño. Todas las las fincas pueden se categorizadas como sistemas de lechería especializada, el objetivo productivo es la producción y venta de leche, las crías machos son vendidas después del nacimiento y solo se levantan las hembras como remplazos, la mayoría de los productores están afiliados a asociaciones de comercialización de leche de la zona, igualmente en las fincas se lleva a cabo protocolos de rutina de ordeño, aunque existen falencias en algunos sistemas.

En total participaron 40 productores, 47% mujeres y 53% hombres, a los cuales se le indagó por la percepción sobre las causas que generan cambio en el comportamiento del clima, el conocimiento histórico del clima en la zona, cuáles eventos climáticos afectan la producción de leche y cómo se ven reflejados en las fincas, cambios que perciben en el tiempo atmosférico en los últimos años, estrategias que consideran pueden contribuir a la adaptación de las fincas y la preferencias por la siembra de árboles dentro de las áreas de producción.

Se determinó la precipitación, temperatura ambiental y humedad relativa durante el tiempo de estudio (14 meses), para lo cual en cada zona se seleccionó una finca en la cual se instaló un pluviómetro y se registró la precipitación diaria y el número de días con eventos al mes. Igualmente se instaló un dataloggers (OM-EL-USB-2-LCD), se registró la temperatura ambiente y humedad relativa cada hora. Con los datos registrados se determinó el índice temperatura humedad máximo (ITHmax) y índice temperatura humedad mínimo (ITHmin) para cada mes (Hahn, 1999).

La producción de forraje verde (FV) se determinó en 16 las fincas mediante el método de corte, en el cual se realizaron aforos destructivos previos al inicio del pastoreo durante la época de sequía y de lluvias (dos por época), los muestreos de todas las fincas se realizaron durante tres días en cada ocasión, se realizaron recorridos en zigzag en los cuales se lanzó un marco (0,5 x 0,5 cm) y se cortó el forraje dentro del marco a 10 cm del suelo, luego se pesó para determinar la biomasa comestible, se tomaron cinco muestras en cada muestreo.

Durante el estudio se realizaron tres muestreos en cada una de las fincas (sequía y lluvias), se tomaron muestras de 500 g de FV para determinar la calidad nutricional de la pastura, las cuales fueron llevadas al laboratorio (AGROSAVIA) donde las muestras se secaron en horno a 65 °C durante 48 h hasta un peso constante, y luego se molieron a través de una criba de 1 mm. Se realizaron análisis de espectroscopía NIR, se determinó porcentaje de materia seca (%MS), proteína cruda (PC%), proteína soluble (%PC), proteína B (%PC), proteína C (%PC), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), digestibilidad, carbohidratos no estructurales, carbohidratos solubles, energía neta de lactancia, cenizas, calcio, fósforo, magnesio y potasio (Ariza et al., 2018), se utilizó un espectrómetro VIS / NIR de barrido (Foss NIRSystems modelo 6500; [www.foss.com](http://www.foss.com)). Los espectros se grabaron con WinISI 4.7.0 ([www.foss.com](http://www.foss.com)).

En todas las fincas y durante todo el estudio se midió la producción total de leche diaria en cada ordeño.

Se realizó análisis de frecuencia para las variables asociadas a la percepción y conocimiento local de los productores y análisis de componentes principales con variables climáticas, producción y calidad de forraje para la producción de leche. El análisis de los datos se realizó mediante el programa Infostat®.

### 3.3 Resultados y discusión

#### 3.3.1 Percepción de pequeños productores sobre las causas que generan cambios en el comportamiento del clima.

El proceso de facilitación permitió la participación de 40 productores de la zona de estudio, los cuales compartieron su conocimiento y percepción sobre aspectos climáticos locales y la implicación en los procesos productivos que desarrollan en las fincas y que son base de la economía de la región. Conocer la percepción de las comunidades busca entender las maneras de valorar un hecho o un objeto por parte de los individuos o las comunidades y como los afecta (Landini, 2010).

Las principales causas consideradas por los productores que generan el cambio climático (tabla 3-1) están relacionadas con la pérdida de ecosistemas estratégicos (deforestación) y actividades asociadas a modelos de producción convencionales (quemadas, agroquímicos y monocultivos).

**Tabla 3-1.** Percepción de pequeños productores de leche, sobre las causas que generan cambios en las condiciones climáticas en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

Causa	(% de productores)
Deforestación	86
Quemas	69
Uso de agroquímicos	61
Agricultura industrial	39
Contaminación del aire	50
Uso de monocultivos	53
Deterioro del medio ambiente	47
Otra	4

Cada vez se percibe mayor conciencia ambiental en los productores, aunque el incremento en la tasa de deforestación sigue en aumento principalmente para establecer sistemas de producción agropecuarios convencionales, los cuales presentan ineficiencias que llevan al incremento de la frontera agrícola. Los productores consultados en otros estudios también coinciden en la percepción de que la deforestación es una de las principales causas de cambio climático (Zuluaga et al., 2013; Córdoba, 2016). Los resultados pueden estar relacionados con la situación actual de la deforestación que viven estos municipios (DANE, 2020), la cual es percibida por los productores.

De igual manera los productores consideran que el forzamiento al cambio climático está muy relacionado con las actividades que realiza el hombre (Pinilla, 2012), entre las que se encuentran actividades directas o indirectas del sector agropecuario (Zuluaga et al., 2013; Córdoba, 2016). Según estudios realizados Colombia emite el 0.36% de las emisiones totales mundiales de las cuales 36% corresponden a los sistemas agropecuarios (Nieves y Olarte, 2008), otros estudios hablan de 53% de las emisiones nacionales incluyendo el cambio de uso del suelo y la actividad silvícola (IDEAM, 2016).

### **3.3.2 Conocimiento local del comportamiento del clima, por parte de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca)**

Los sistemas de producción de lechería especializada están fuertemente influenciados por los factores climáticos, los cuales determinan en gran parte la disponibilidad de biomasa comestible para los animales (Salles et al., 2003; Velasco et al., 2005), agua para bebida y múltiples actividades que se realizan en los procesos productivos (siembras, renovación de praderas, fertilización, conservación de forrajes, etc). La toma de decisiones que hacen los productores y campesinos de las actividades que deben realizar en la finca se basan en gran medida en el conocimiento climático histórico, aunque mencionan que en los últimos años este comportamiento ha cambiado y con ello incrementado de la incertidumbre a la hora de tomar decisiones en el sistema productivo. Se debe hacer un contraste entre los datos técnicos y las percepciones de las personas sobre las causas de las alteraciones climáticas que afectan las actividades de los productores (Murtinho et al., 2013).

El conocimiento local con relación al comportamiento climático confluyó en identificar participativamente los meses en el año dentro de los cuales se presenta con mayor probabilidad diferentes eventos que afectan positiva o negativamente los procesos productivos en los sistemas de lechería especializada y bajo los cuales los ganaderos toman decisiones para reducir el impacto económico que genera la estacionalidad climática. La participación de los campesinos y agricultores a través de sus conocimientos y la investigación que hacen en sus predios debe promoverse y aumentarse para tener una comprensión holística de las opciones de adaptación de los agricultores (Abayineh y Belay, 2017).

Los productores definieron un comportamiento bimodal de las precipitaciones, el cual inicia a mediados de marzo y termina en junio, la siguiente época de lluvias inicia a mediados de septiembre y finaliza a inicios de diciembre. Las épocas de sequía las definieron como fuertes en la zona, la primera comprende de inicios de diciembre hasta mediados de marzo y la segunda es más corta de julio a inicios de septiembre. Los vientos con mayor fuerza y velocidad los identifican en el mes de agosto, mientras que la época de heladas se presenta

en los meses de enero y febrero, las mayores temperaturas durante el día las percibieron en diciembre, enero y febrero, mientras que no hay un consenso en conocimiento o percepción sobre los meses donde históricamente se presentan las temperaturas más bajas durante el año (tabla 3-2).

La programación de diferentes actividades en los procesos productivos dentro de los sistemas de lechería especializada demanda del comportamiento del clima y del conocimiento por parte de los productores, esto permite tener mayor información en la toma de decisiones. Comprender el conocimiento de los productores y entender el entorno socioeconómico permite apoyar estrategias de adaptación que permitan incrementar la resiliencia de los sistemas productivos (Nguyen et al., 2016), con los nuevos escenarios climáticos los pequeños agricultores y productores serán los más afectados (Altieri y Nicholls, 2008; Tayengwa et al., 2020).

La siembra de nuevas áreas para pastoreo o la renovación de praderas está relacionada con los periodos de lluvias, de tal manera que las semillas tengan las condiciones ideales para su germinación y un adecuado establecimiento de la pradera (Portillo et al., 2019), la reducción de las épocas de lluvia o la inestabilidad de las precipitaciones actualmente afectan estas actividades, la percepción de los productores es que no solo las épocas de lluvia han cambiado, también el número de eventos se ha reducido, es así que el número de días en los cuales cae la precipitación no permite el establecimiento de cultivos forrajeros, lluvias torrenciales también afectan la germinación de las semillas.

La distribución y cantidad (mm) de las lluvias permite determinar el momento óptimo en el cual se recuperan las pasturas y definir el sistema de pastoreo, también determinar la producción de forraje y la carga animal durante el año determinando la necesidad de conservar forraje para los períodos secos. Además, definir la calidad de forraje (épocas secas y de lluvias), de tal manera que se ajusten los planes de suplementación de los animales para favorecer la eficiencia productiva de la finca.

En agroecosistemas de trópico alto la dinámica poblacional de algunos parásitos y vectores de enfermedades está relacionada con las épocas de lluvia, lo que le permite al ganadero ajustar el plan de desparasitación y controlar problemas sanitarios en los animales. Los cambios en las épocas de lluvias y sequía, sumado a inundaciones de las áreas de pastoreo pueden favorecer incrementos de nitratos y nitritos en las plantas y causar intoxicación de los animales al consumir el forraje (Benavides, 2004). El relacionamiento que hacen los productores sobre el comportamiento del clima y los efectos sobre el sistema de producción, le permiten tomar acciones oportunas, con la variabilidad y cambio climático muchos toman decisiones con un alto grado de incertidumbre.

**Tabla 3-2.** Conocimiento del comportamiento climático durante el año, de pequeños productores de leche en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

Mes	Sequía	Helada	Viento	Lluvia	Temp* alta	Temp* baja
(% de productores)						
Enero	86	69	11	6	56	28
Febrero	86	56	14	8	44	17
Marzo	47	31	14	44	25	19
Abril	17	11	11	83	17	11
Mayo	17	11	19	75	19	11
Junio	33	17	14	53	25	25
Julio	42	11	33	36	28	31
Agosto	42	11	86	19	31	8
Septiembre	36	11	39	50	19	14
Octubre	8	11	17	72	17	17
Noviembre	25	11	11	67	14	19
Diciembre	61	31	8	31	50	25

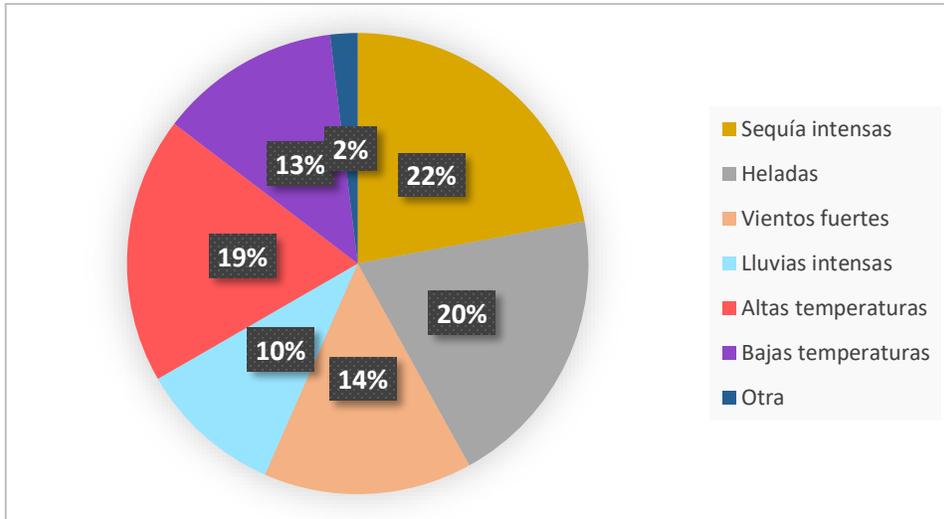
 : Los colores corresponden a los meses en el año donde se presentan de los eventos.

\*: temperatura

### 3.3.3 Percepción de pequeños productores sobre cómo y cuales eventos climáticos afectan los sistemas de producción de leche. Cómo han cambiado las condiciones climáticas en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

Los sistemas de producción de leche en la zona de Carmen de Carupa, Suesca y municipios aledaños son afectados por diferentes eventos meteorológicos que se presentan durante el año. Los productores de la región consideran que las épocas de sequía, las heladas y las altas temperaturas son los eventos de mayor impacto sobre los sistemas ganaderos en la región, los cuales confluyen en algunos meses del año (grafica 3-1), también los vientos en la zona son considerados de importancia porque confluyen con la época seca, generando pérdida de la humedad del suelo y secando rápidamente el forraje lo que incrementa el riesgo de incendios en la región.

En la zona los productores perciben que las condiciones climáticas afectan la producción de leche, pero algunas variables tienen mayor impacto, más aún cuando perciben cambios que se asumen como variabilidad climática y donde se presentan eventos extremos con mayor frecuencia. Estos conocimientos son de gran importancia donde las predicciones en las épocas de sequía o lluvias determinan los ciclos productivos (Ulloa, 2011).



**Figura 3-1.** Percepción de pequeños productores (%), sobre los eventos climáticos que afectan la producción de leche en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

Los productores consideran que en ciertas condiciones climáticas se reduce la producción de pasto (sequías, heladas, temperaturas altas y vientos), los animales enferman (sequías), se reduce la producción de leche (sequías, heladas, temperaturas altas), se afecta la reproducción de las vacas (sequías, heladas, temperaturas altas), se reduce la disponibilidad de agua para los requerimientos del sistema (sequía), incrementan las plagas en los potreros (sequía), y se reducen los ingresos económicos (sequía, heladas, vientos) (tabla 3-3). Estas condiciones incrementan la vulnerabilidad de los pequeños productores de leche ya que las condiciones económicas no les permiten establecer acciones de adaptación (Dounias, 2011).

La percepción sobre el cambio del clima en la región es generalizada por parte de los todos los productores, se percibe una sensación de desconcierto, desorientación y vulnerabilidad, porque el conocimiento ancestral y local que les permitió tomar decisiones de una manera más segura, ahora parece no ser tan útil bajo los nuevos escenarios de variabilidad y cambio climático, las decisiones se toman con un alto nivel de incertidumbre. Los cambios en el clima no solo tienen efectos biológicos, también impactan la cultura al generar procesos de pérdida de conocimientos y nuevas apropiaciones y adaptaciones (Ramos et al., 2011).

**Tabla 3-3.** Efectos de los eventos climáticos sobre los sistemas de producción de leche en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca), según la percepción de pequeños productores.

Efecto	Sequías intensas	Heladas	Vientos fuertes	Lluvias intensas	Temp* altas	Temp* bajas
	(% de productores)					
Reducción de producción de pasto	92	83	50	19	53	28
Los animales se enferman	75	28	14	47	42	36
Reducción de la producción de leche	94	78	42	28	56	36
Reduce la reproducción de vacas	72	53	28	33	50	31
Perdida de suelo	75	39	69	53	33	17
Reducción en la disponibilidad de agua	94	31	42	8	44	14
Incremento de plagas en potreros	72	19	19	42	44	36
Disminución de ingresos económicos	94	81	58	39	44	39

\*: temperatura

Impacto  Bajo  Medio  Alto

La mayoría de los productores coinciden en el cambio de las épocas de lluvias las cuales presentan menor cantidad de precipitación, épocas de sequías más prolongadas, incremento en la temperatura máxima y cambio de la época de heladas eventos extremos que mencionan presentarse en la actualidad en cualquier mes del año (tabla 3-4). Este conocimiento empírico sobre predicciones de eventos meteorológicos ha sido reconocido como un potencial para mejorar las predicciones científicas (Granderson, 2014), estudios sobre percepciones del clima por parte de las comunidades han determinado el impacto sobre los procesos productivos, pero sus mayores amenazas muchas veces son otras relaciones económicas o políticas que se presentan en el territorio (Dinero, 2013), por lo tanto es necesario contar con políticas públicas enfocadas en adaptación ante el cambio climático (López y Hernández, 2016).

**Tabla 3-4.** Percepción de pequeños productores de leche, sobre los cambios en el comportamiento climático en zonas estratégicamente ambientales de trópico alto.

<b>Cambios en el comportamiento meteorológico</b>	<b>(%)</b>
Cambios en las épocas de lluvias	67
Mayor cantidad de lluvia	17
Menos cantidad de lluvia	67
Mayor temperatura a día (temperatura máxima)	78
Menor temperatura al día (temperatura mínima)	25
Sequías más largas	81
Sequías más cortas	8
Cambio en épocas de heladas	58
Otra	3

El impacto o magnitud de las variables climáticas sobre los sistemas de producción ganadera en un momento determinado no se puede evaluar individualmente, es común que en una época confluyan varios eventos que potencian el daño sobre los sistemas, por ejemplo, meses donde se presenta una sequía extrema acompañada de altas temperaturas, fuertes vientos y heladas, este análisis y el impacto sobre diferentes procesos productivos permite buscar estrategias locales de adaptación.

La temperatura ambiental, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar, influyen en la eficiencia de sistemas ganaderos (Arias et al., 2008), las épocas secas causan reducción de la producción de alimento en los potreros lo que genera que los animales deban tener mayores desplazamientos en busca de forraje, este comportamiento incrementa la compactación del suelo que tiene efectos negativos en el crecimiento del forraje porque las raíces no pueden penetrar en busca de agua y nutrientes, además se reduce la cobertura del suelo quedando expuestos procesos de erosión (Medina, 2016).

Los incrementos de temperatura provocan mayor evapotranspiración y con ello demanda de agua para las pasturas, al igual que la variabilidad en los patrones de lluvia tiene un efecto negativo en el crecimiento de las plantas y por tanto de la productividad de biomasa total del sistema (McDowell, 2008; Oyhantcabal et al., 2010). Los ganaderos mencionan que el cambio climático reduce la disponibilidad de pasto, especialmente durante la sequía (Angel et al., 2014) lo que representa una limitación más para los animales (Nardone et al., 2006).

La alta temperatura junto a alta humedad relativa generan estrés calórico en los animales, al mismo tiempo se reduce la capacidad de disipar el calor por sudoración o respiración (Da Silva 2006; Hahn et al., 2003; Renaudeau, 2005; Brown-Brandl et al., 2006), la radiación de onda corta y onda larga tienen un fuerte impacto en la carga total de calor y en el estrés por

calor (Keren y Olson 2006), esta condición genera reducción del consumo de alimento (Leyva et al., 2015), perdiendo nutrientes y energía para los procesos productivos (Cañas et al., 2003). Por el contrario, la presencia de viento durante las épocas de lluvia también tiene un efecto negativo, ya que incrementa la pérdida de calor (Mader et al, 2006; Keren y Olson (2006) y los animales deben invertir más nutrientes en la termorregulación. El estrés calórico por frío o calor reduce el desempeño productivo (Ruiz et al., 2019; González y Wing Ching, 2018) y reproductivo (Vélez y Uribe, 2010; Montiel et al., 2019; Castaño et al., 2014; Honig et al., 2016; Ríos et al., 2013).

### **3.3.4 Estrategias de adaptación a condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático, según la percepción de pequeños productores de leche en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).**

Además del conocimiento científico se deberían considerar las percepciones y saberes locales ya que muchas estrategias y alternativas provenientes de la experiencia y conocimiento territorial de las poblaciones locales han probado históricamente su efectividad (Zuluaga et al., 2013). El conocimiento y las percepciones compartidas por los productores de la zona de los municipios de Carmen de Carupa, Suesca y municipios aledaños sobre las acciones que consideran les permite adaptarse a condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático es amplia. Los productores reconocen la importancia de las prácticas agroecológicas para reducir la vulnerabilidad y mejorar la resiliencia de los sistemas de producción de leche, la mayoría son agricultores que décadas atrás se dedicaban a producir trigo, cebada, avena, papa entre otros cultivos y por las dinámicas territoriales (altos costos de producción, los bajos precios, reducción de mercados) cambiaron su sistema de producción a ganadería. En la zona se han desarrollado varios proyectos que ha permitido a varios productores aprender, compartir conocimiento y establecer varias de las prácticas agroecológicas que reconocen como medidas de adaptación (tabla 3-5).

La toma de decisiones de los pequeños productores para adoptar opciones de adaptación pasa por factores socioeconómicos, institucionales y ambientales, no solo son aspectos técnicos, en gran medida influye el acceso al crédito, capital humano y el nivel educativo, por lo que es necesario mejorar las políticas de crédito para aumentar las capacidades de adaptación (Abayineh y Belay, 2017), entendiendo que la resiliencia debe enmarcarse en un contexto social y no limitarse exclusivamente a efectos biofísicos (Friend y Moench, 2013).

Las medidas que permitan incrementar la adaptación deben permear las políticas de agricultura y de sistemas alimentarios de manera que fomenten sistemas sostenibles de producción que mitiguen el cambio climático y fomenten la resiliencia (Caron et al., 2018), por lo tanto, además de conocimiento se necesita crear la capacidad y los cambios en el comportamiento humano e infraestructura social para cambiar los modelos de producción

(Steenwerth et al., 2014; Abayineh y Belay, 2017). La importancia de los sistemas alimentarios para el desarrollo sostenible está en el nexo entre la seguridad alimentaria, nutrición y salud humana, viabilidad de los ecosistemas, cambio climático y justicia social. (Caron et al., 2018)

Muchas comunidades y productores han incorporado prácticas agroecológicas como estrategia de adaptación a condiciones de variabilidad climática, reduciendo las pérdidas en sus sistemas productivos (Altieri y Nicholls, 2008; Nguyen et al, 2013; Velarde, 2012). Las prácticas agroecológicas buscan incrementar la materia orgánica en el suelo y mejorar las propiedades físico-químicas y microbiológicas, de tal forma que las pasturas puedan tener acceso a nutrientes y agua para crecer, además esta practicas tienen impacto en el balance hídrico del sistema reduciendo la evapotranspiración y reteniendo la mayor cantidad de agua que cae en las épocas de lluvia (evitando erosión) y conservándola para las épocas de sequía.

La cobertura del suelo lo protege de los rayos solares directos favoreciendo las relaciones de la materia orgánica y los microorganismos, además reduce la velocidad del agua en la época de lluvias evitando procesos de erosión. Los abonos verdes actúan como subsoladores biológicos contribuyen a la descompactación, y fijación de nitrógeno al suelo (leguminosas), además incrementan la materia orgánica, pueden ayudar al control de arvenses (Medina, 2016). Los abonos orgánicos también incrementan la materia orgánica permiten reciclar residuos de la producción agrícola y pecuaria que pueden ser contaminantes.

**Tabla 3-5.** Estrategias de adaptación (prácticas agroecológicas) a condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático, según la percepción de pequeños productores de leche en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

<b>Estrategias de adaptación</b>	<b>(%)</b>
Uso de variedades de pastos en potreros	75
Siembra de árboles en los potreros	97
Cobertura del suelo	78
Pastoreo rotacional	78
Uso de abonos orgánicos	83
Zanjas de infiltración	61
Uso de abonos verdes	94
Uso de arado de cincel	53
Conservación de forrajes	72
Suplementación con residuos de cosecha	56
Cosecha de agua lluvia	78
Otra	6

Las zanjas de infiltración permiten reducir la erosión y la pérdida de nutrientes por escorrentía, además tienen un impacto fuerte en la captura y conservación de agua (Nicholls y Altieri, 2019) que es utilizada por las pasturas en las épocas de sequía, ya que lentamente se va infiltrando en el perfil del suelo. La utilización de praderas polifíticas permite reducir el impacto de eventos climáticos extremos sobre la base forrajera, algunas variedades pueden resistir mejor las condiciones de sequía, mientras que otras pueden soportar heladas (Castro et al., 2019). La mezcla con especies leguminosas además de mejorar la dieta de los animales, permite fijar nitrógeno atmosférico.

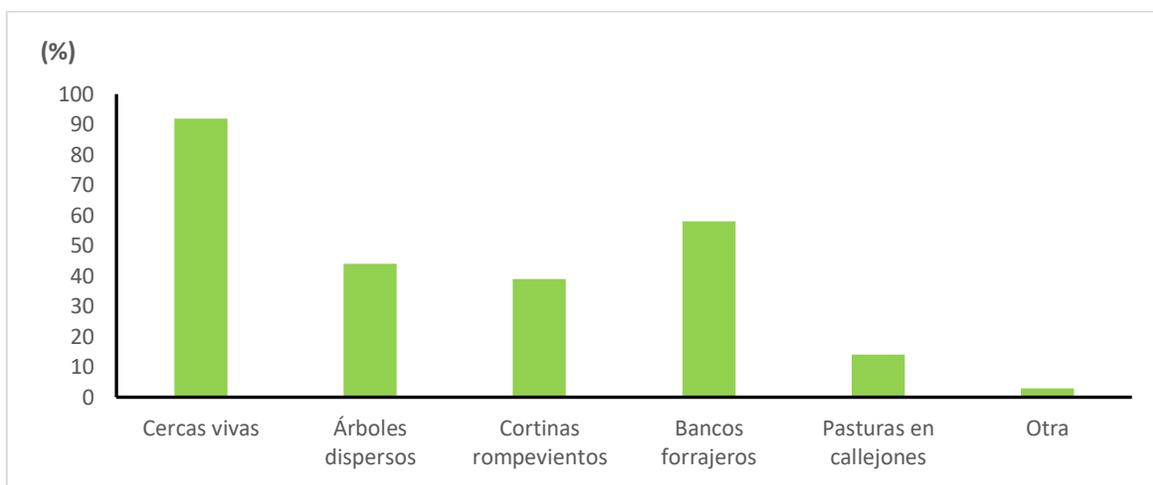
El pastoreo rotacional busca reducir el impacto de los animales sobre la compactación del suelo, además permite administrar el forraje y ofrecerlo a los animales cuando tiene la mayor concentración de nutrientes y digestibilidad. También contribuye a mejorar la fertilidad del suelo eliminando la necesidad de fertilizantes químicos, permite la concentración de excretas de los animales incrementando la materia orgánica de manera localizada. Normalmente el suelo bajo pastoreo se compacta, el arado de cincel elimina las capas compactas mejorando el movimiento de agua y aire en el suelo favoreciendo el crecimiento de las pasturas.

Los sistemas silvopastoriles mejoran el suelo mediante el ciclaje de nutrientes y el aporte de materia orgánica, genera microclimas que favorecen la actividad microbiana, a la vez que permite reducir el estrés calórico en los animales y favorecer su eficiencia productiva y reproductiva. Los árboles son multipropósito algunas especies producen forraje que puede ser utilizado en las épocas críticas. Muchos productores utilizan los árboles para la protección del suelo y los animales, alimentación y protección de los recursos naturales (Angel et al., 2014; Joya et al., 2004; Navas, 2017; Moreno, 2013). La conservación de forrajes y la suplementación con residuos de cosecha permite mantener la capacidad de carga y reducir el impacto de las épocas críticas sobre la producción y reproducción de los animales.

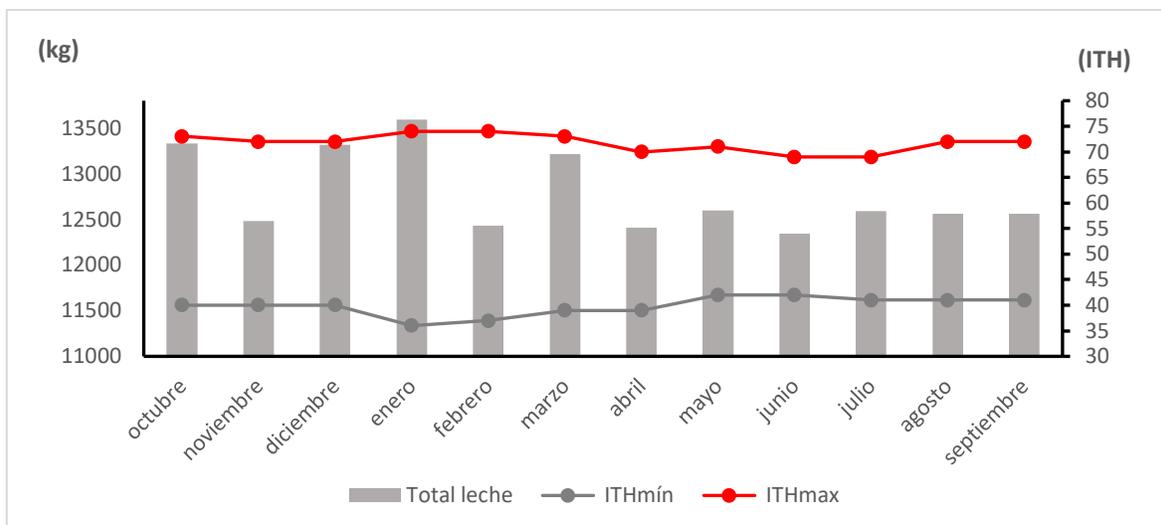
El establecimiento de sistemas silvopastoriles es una de las estrategias de adaptación considerada por la mayoría de productores basada en el conocimiento y la percepción del efecto de los árboles en la región. La vereda Alisal (Carmen de Carupa) después de haber degradado casi en su totalidad los suelos, cambiando ecosistemas de bosque alto andino a sistemas agrícolas convencionales con altos insumos de agroquímicos y de inicialmente la comunidad percibir una sensación de bienestar económico, experimento la degradación rápida de sus recursos que sumada a las dinámicas territoriales (altos costos de producción, los bajos precios, reducción de mercados) llevó al cambio de uso del suelo a sistemas ganaderos, pero además a la reforestación masiva de la vereda, encontrándose una matriz de paisaje con un nivel de complejidad mayor al de las demás veredas del municipio y evidenciando en cada época de sequía y en eventos climáticos extremos las múltiples bondades de los sistemas silvopastoriles, junto a otras prácticas agroecológicas que algunos productores han implementado en los últimos tiempos.

La preferencia en el establecimiento de sistemas silvopastoriles es el arreglo de cercas vivas (figura 3-2), la percepción de varios productores es que los árboles dentro del potrero pueden reducir la producción de forraje ya que las fincas son pequeñas (menos de 4 has), incluso algunos productores arriendan pasto en otros predios y no están dispuestos a sembrar árboles en estas áreas, además se percibe algún nivel de desconocimiento sobre otros arreglos que pueden implementar en las fincas. Esta percepción coincide con campesinos que solo mantienen menos de 37% de cobertura arbórea en los potreros para no reducir la producción de forraje (Ramírez et al., 2012).

La producción de leche es reflejo de múltiples factores, no solo biológicos o climáticos, está determinada por factores sociales, familiares y por otras relaciones de los productores con su entornó, más aún en pequeños productores. En la zona de Alisal en área abiertas se encontró un índice temperatura humedad mínimo bajo (36) y un índice temperatura humedad máximo alto (74) que refleja estrés calórico en los animales por frío en unos momentos y por calor en otros durante todos los meses del año y que afecta la producción de leche (Morales y WingChing, 2020) en las fincas de la zona (figura 3-3). Esto concuerda con el conocimiento y percepción de los productores quienes manifiestan como la variabilidad climática que se presenta en la zona afecta el desempeño productivo y reproductivo de los animales.

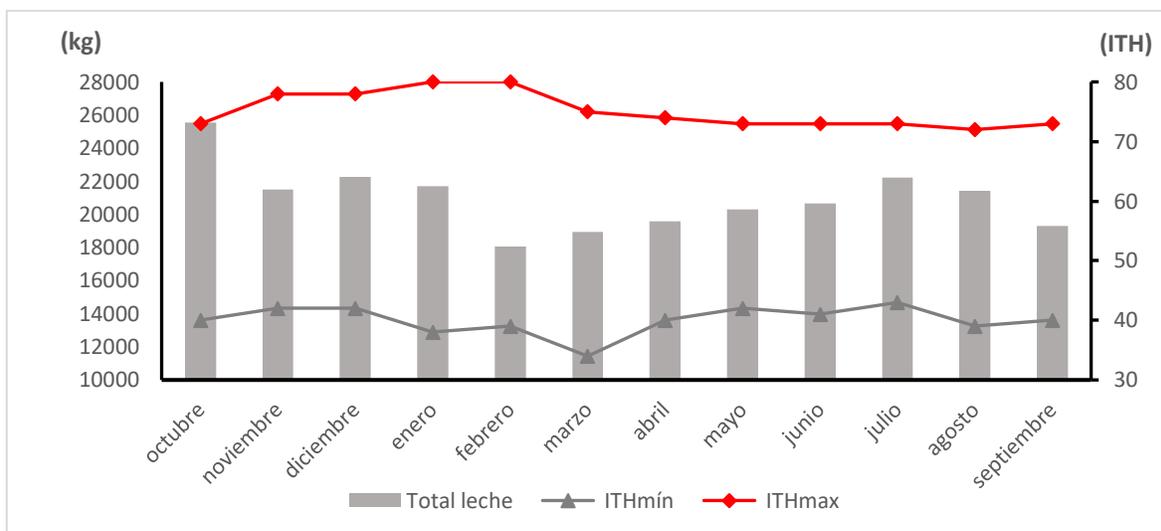


**Figura 3-2.** Preferencias para el establecimiento de sistemas silvopastoriles por pequeños productores de leche en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).



**Figura 3-3.** Índice temperatura humedad (ITH) y producción de leche mensual (kg), reportada por pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).

En la zona de Suesca se observa cambios más drásticos en el ITHmin (34) y ITHmax (78) y en la producción de leche (figura 3-4) con relación Alisal, esto posiblemente explicado por la condición climática propia de la zona, pero también por la matriz de paisaje que en Suesca es simple o menos compleja que en Alisal y donde bajo esta condición la confluencia del comportamiento de diferentes variables climáticas (sequía, vientos, heladas, altas y bajas temperaturas) generan un impacto mayor en los sistema de producción, al presentar mayor vulnerabilidad y menor resiliencia ante estas condiciones.

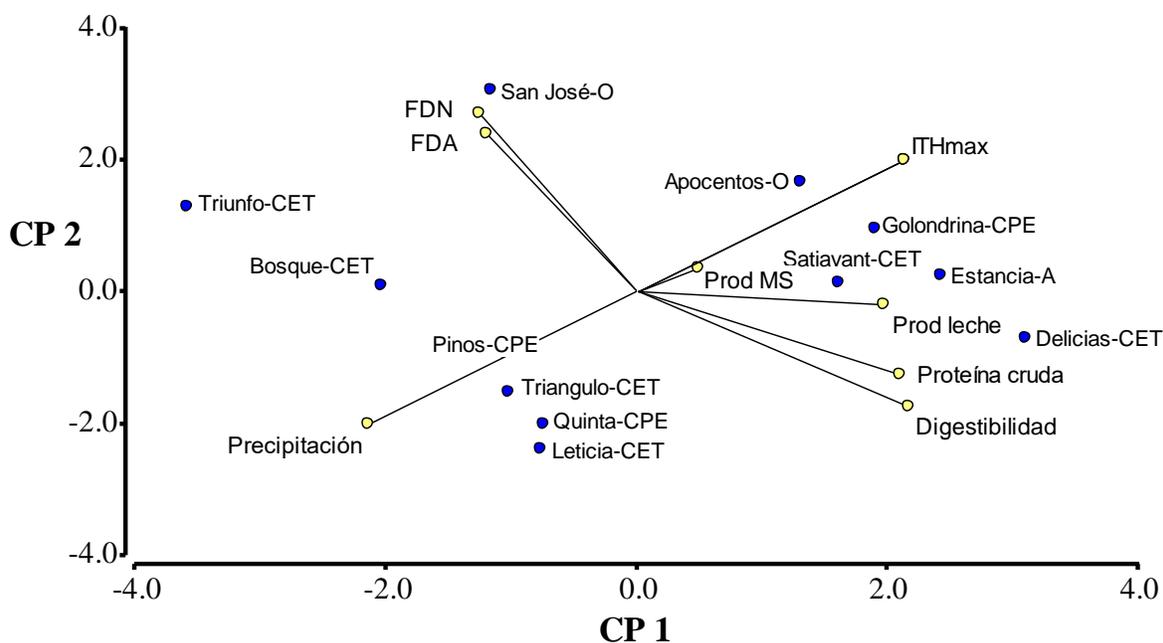


**Figura 3-4.** Índice temperatura humedad (ITH) y producción de leche mensual (kg), reportada por pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).

La producción de leche en la zona se desarrolla a través de una amplia gama de sistemas de producción familiar o de pequeños productores, algunos sistemas se basan en el modelo de revolución verde y tiene características de sistemas convencionales, otros han incorporado en mayor o menor grado prácticas agroecológicas que como mencionan los productores (a partir su conocimiento y percepción) confieren rasgos que incrementan la adaptación y resiliencia a los sistemas de producción de leche en la región ante eventos climáticos.

Se realizó un análisis de componentes principales con las variables climáticas, producción y calidad de forraje y producción de leche para diferentes tipos de sistemas de producción (figura 3-6). Con dos componentes se explicó 74% de la variabilidad, las variables de mayor peso en el componente uno fueron precipitación, ITH, proteína cruda (PC) y digestibilidad, mientras que en el componente dos fueron fibra en detergente neutro (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA) (cuadro 3-6). La producción de leche presentó una relación positiva con la digestibilidad y PC, mientras que presentó una relación negativa con la FDN y FDA, igualmente la precipitación presentó una relación negativa con la producción de materia seca y de leche, lo que corresponde con algunas de las percepciones y conocimiento de los productores que mencionan reducción de forraje y producción de leche en las épocas secas.

La calidad de las pasturas está estrechamente relacionada con las condiciones climáticas y con la edad de recuperación al momento de ser ofrecidas a los animales. En las épocas secas los niveles de FDN y FDA se tienden a incrementar, mientras que el porcentaje de PC y la digestibilidad se reducen en comparación con la época de lluvia (Meisser et al., 2019; Salles et al., 2003).



CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico

**Figura 3-5.** Análisis de componentes principales con variables climáticas, producción y calidad de forraje para la producción de leche en fincas de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca)

**Tabla 3-6.** Porcentaje de variabilidad explicada en dos componentes y peso de las variables (climáticas, producción y calidad de forraje) para la producción de leche en fincas de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

Variables	Componente principal	
	1 (45%)	2 (29%)
Producción de leche (kg)	0.36	-0.04
Producción de materia seca (t/ha)	0.09	0.07
Precipitación (mm)	-0.39	-0.37
ITHmin	0.39	0.37
ITHmax	0.39	0.37
Proteína cruda (%)	0.38	-0.23
Fibra en detergente neutro (%)	-0.23	0.50
Fibra en detergente ácido (%)	-0.22	0.44
Digestibilidad (%)	0.40	-0.32

### **3.4 Conclusiones**

El conocimiento y la percepción que tienen los pequeños productores de leche les ha permitido identificar cambios en las condiciones climáticas de la región y poder determinar cuáles son los eventos que limitan y afectan la producción de leche. Aunque la sequía es una condición limitante, en algunas épocas confluyen eventos (heladas, vientos, bajas y altas temperaturas) que aumentan su impacto negativo en los recursos de producción.

La deforestación, las quemadas y el uso de agroquímicos son considerados como las principales causas generadoras de cambio climático, algunas de estas prácticas comunes en el manejo de los sistemas de producción convencionales se han eliminado o reducido en la región. Además, se considera que en la zona hay cambios en el régimen de lluvias, hay menos precipitación y la sequía es más prolongada.

Prácticas agroecológicas como sistemas agroforestales, abonos verdes, abonos orgánicos, pastoreo rotacional, cobertura del suelo, cosecha de aguas lluvia, praderas polifíticas, zanjas de infiltración y uso de arado de cincel son consideradas como estrategias para mejorar la adaptación a las condiciones de variabilidad y cambio climático. La preferencia por la siembra de árboles es el arreglo de cercas vivas, otros arreglos son menos preferidos por aspectos culturales y el tamaño de los predios.

A pesar de este conocimiento predominan en la zona sistemas de leche convencionales, el proceso de cambio o la implementación masiva de las prácticas reconocidas por los productores avanza lentamente, existen limitantes de orden económico, cultural y político que no permiten avanzar en la reconversión de los sistemas hacia modelos de producción resilientes a los cambios actuales y futuros en el clima.

### **3.5 Bibliografía**

Abayineh, A; Belay, S. 2017. Determinants of smallholder farmers' decision to adopt adaptation options to climate change and variability in the Muger Sub basin of the Upper Blue Nile basin of Ethiopia. *Agriculture & Food Security* 6:64.

Altieri, M; Nicholls, C. 2008. Los impactos del cambio climático sobre las comunidades Campesinas y de agricultores tradicionales y sus Respuestas adaptativas. *Agroecología* 3: 7-28.

Angel, Y; Pimentel, M; Suárez, J. 2014. Conocimiento local sobre estrategias de adaptación al cambio climático en productores ganaderos en San Vicente del Caguán-Colombia. *Zootecnia Trop* 32 (4): 329-339.

Arias, R; Mader, T; Escobar, P. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivo de Medicina Veterinaria*. 40 (1): 7-22.

Benavides, E. 2004 Causas de muerte súbita en bovinos en pastoreo en las sabanas de América Tropical. *Rev Col Cienc Pec* 17(2): 182 – 192.

Bohórquez, A; Sanín, D; Silva, N. 2011. Estructura y composición arbórea de los bosques del diablo (San Felix, Salamina, Caldas), selva altoandina de la cordillera central colombiana. *bol.cient.mus.hist.nat* 16 (2): 39 – 52.

Brown-Brandl, T; Nienaber, J; Eigenberg, R; Mader, T; Morrow, J; Dailey, J. 2006. Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livestock Science*. 105: 19-26.

Cañas, R; Quiroz, R; Leon-Velarde, C; Posadas, A; Osorio, J. 2003. Quantifying energy dissipation by grazing animals in harsh environments. *J TheorBiol* 225:351-359.

Castro, E; Cardona, J; Hernández, F; Valenzuela, M; Avellaneda, Y. 2019. Evaluación de tres cultivares de *Lolium perenne* L, con vacas lecheras, en el trópico alto de Nariño-Colombia. *Pastos y Forrajes* 42(2): 161-170.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. 2006. Diagnóstico prospectiva y formulación de la Cuenca hidrográfica de los ríos Ubate y Suárez. Bogotá, 308 p.

Castaño, F; Rugeles, C; Betancur, C; Ramírez, C. 2014. Impacto del estrés calórico sobre la actividad reproductiva en bovinos y consideraciones para mitigar sus efectos sobre la reproducción. *Revista Biosalud*. 13 (2): 84-94.

Córdoba, C. 2016. Resiliencia y variabilidad climática en agroecosistemas cafeteros en Anolaima (Cundinamarca- Colombia). Tesis de PhD. Universidad Nacional de Colombia, Colombia. 190 p.

Da Silva, R. 2006. Weather and climate and animal production. In: Update of the guide to agricultural meteorological practices. WMO-No.134 published in 1982.

Departamento Administrativo Nacional De Estadística -DANE. 2020. Censo nacional agropecuario 2014. En: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014>

Departamento Administrativo Nacional De Estadística -DANE. 2020. Directorio nacional de explotaciones agropecuarias (censo agropecuario) 1960. En: [http://biblioteca.dane.gov.co/media/libros/LD\\_6990\\_1960\\_V\\_8\\_EJ\\_4.PDF](http://biblioteca.dane.gov.co/media/libros/LD_6990_1960_V_8_EJ_4.PDF)

Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Dinero, S. 2013. Indigenous perspectives of climate change and its effects upon subsistence activities in the Arctic: the case of the Nets'ani Gwich'in. *GeoJournal* 78:114 – 137.

Dounias, E. 2011. Escuchando a los insectos: acercamiento entomológico al cambio climático entre pueblos indígenas africanos en bosques húmedos tropicales. *Perspectivas culturales de clima*. Universidad nacional de Colombia. p 223 – 246.

Friend, R; Moench, M. 2013. What is the purpose of urban climate resilience? Implications for addressing poverty and vulnerability. *Urban Climate* 6:98-113.

González, J; Wing Ching, R. 2018. Producción y reproducción de vacas Holstein, Jersey y sus cruces en cinco localidades de Costa Rica. *UNED Research Journal*. 10 (2): 422-427.

Granderson, A. 2014. Making sense of climate change risks and responses at the community level: A cultural-political lens. *Climate Risk Management* 3:55- 64.

Hahn, G. (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science* 77(2):10-20. doi: 10.2527/1997.77suppl\_210x

Hahn, G; Mader, T; Eigenberg, R. 2003. Perspectives on development of thermal indices for animal studies and management. *Proc Symp Interactions between climate and animal production*, EAAP, Technical series N° 7, p 31-44.

Hall, J; Ashton, M; Garen, E; Jose, S. 2011. The ecology and ecosystem services of native trees: Implication for reforestation and land restoration in Mesoamerica. *Forest Ecology and Management* 261: 1553–1557.

Honig, H; Ofer, L; Kaim, M; Jacobi, S; Shinder, D; Gershon, E. 2016. The effect of cooling management on blood flow to the dominant follicle and estrous cycle length at heat stress. *Theriogenology*. 86 (2): 626-634.  
<http://www.pnud.org.co/sitio.shtml?apc=aCa020011--&x=62593#.Vbedjfmqqko>.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería. 2016. Inventario nacional y departamental de Gases de Efecto Invernadero – Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

años 1990 a 2012. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático., Cancillería y. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. Disponible en:

Joya, M; López, M; Gómez, R; C. Harvey, C. 2004. Conocimiento local sobre el uso y manejo de los árboles en las fincas ganaderas del municipio de Belén, Rivas. Revista Encuentro 68: 1 - 17.

Keren, E; Olson, B. 2006. Thermal balance of cattle grazing winter range: Model application. Journal Animal Science. 84:1238-1247.

Landini, F. 2010. La dinámica de los saberes locales y el proceso de localización del saber científico. Algunos aportes desde un estudio de caso. Cuadernos de desarrollo Rural 7(65): 21-43.

López, A; Hernández, D. 2016. Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. El trimestre económico 4 (332):459-496.

Leyva, J. C; Armenta, C; Zamorano, A; Thomas, M; Rincon, G; Medrano, J; Rivera, A; Reyna, G; Luna, N. 2015. Variables climáticas asociadas a la producción de leche en vacas Holstein criadas bajo condiciones de estrés por calor del Valle del Yaqui, México. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. 11 (1): 1-11.

Mader, T; Davis, M; Brown-Brandl, T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. Journal Animal Science. 84:712-719.

Mauricio, R. 2012. Comment to “Pasture shade and farm management effects on cow productivity in the tropics” by Justin A.W. Ainsworth, Stein R. Moe, C. Skarpe [Agric.

McDowell, RW. Environmental impacts of pasture-based farming. London (UK): CAB International; 2008.

Medina, Carlos. 2016. Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. Remediaciones. Rev Colombiana Cienc Anim, 8(1):88-93.

Meisser, M; Vitra, A; Deléglise, C; Dubois, S; Probo, M; Mosimann, E; . . . Mariotte, P. 2019. Las limitaciones de nutrientes inducidas por la sequía afectan el forraje N y P de

manera diferente en dos pastizales permanentes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 280:85-94.

Montiel, L; Estrada, E; Espinosa, M; Mellado, M; Hernández, J; Martínez, G; Vera, H. 2019. Factores de riesgo a nivel de establo asociados con el desempeño reproductivo en el sistema de producción de leche a pequeña escala en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 10 (3): 676-691.

Morales, C; WingChing, J. 2020. Condiciones climáticas y la producción láctea del ganado jersey en dos pisos altitudinales. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1):157-176.

Moreno. J. 2013. La gestión comunitaria de recursos naturales, agrosilvopastoriles y pesqueros en la Sierra de Santa Marta, Veracruz, México: ¿una alternativa posible al discurso desarrollista y a la globalización capitalista? *Universitas humanística*. 75: 189-217.

Murtinho, F; Taque, C; De Bievre, B; Eakin, H; Lopez, D. 2013. Scarcity in the Andes: A comparison of local perceptions and observed climate, land use and socioeconomic chances. *Human Ecology* 41:667 – 681.

Nardone, A; Ronchi, B; Lacetera, N; Bernabucci, U. 2006. Climatic effects on productive traits in livestock. *Vet Res Commun* 30(Suppl 1):75–81

Navas, A. 2017. Conocimiento local y diseño participativo de sistemas silvopastoriles como estrategia de conectividad en paisajes ganaderos. *Rev. Med. Vet* 34(Supl):55-65.

Nguyen, Q; Hoang, M; O'born, I; Noordwijk, M. 2013. Multipurpose agroforestry as a climate change resiliency option for farmers: an example of local adaptation in Vietnam. *Climatic Change*. 117:241-257.

Nguyen, T; Seddaiu, G; Viridis, S; T, C; Pasqui, M; Roggero, P. 2016. Perceiving to learn or learnig to perceive? Understanding farmers perceptions and adaptation to climate uncertainties. *Agricultural Systems* 143: 205 – 216.

Nieves, H; Olarte, C. 2008. Resumen técnico módulo agricultura de inventario nacional GEI años 2000 y 2004. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), Colombia. p 3 – 9.

Oyhantçabal, W; Vitale, E; Lagarmilla, P. 2010. El cambio climático y su relación con las enfermedades animales y la producción animal. En: *Compendio de los temas técnicos presentados ante la Asamblea mundial de los delegados o a las Comisiones regionales de la OIE–2009*, Paris: Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) 169-177 p.

Pinilla, M; Rueda, A; Pinzón, C; Sánchez, J. 2012. Percepciones sobre los fenómenos de variabilidad climática y cambio climático entre campesinos del centro de Santander, Colombia. *Ambiente y Desarrollo* 16(31):25-37.

Portillo, P; Meneses, D; Morales, S; Cadena, M; Castro, E. 2019. Evaluación y selección de especies forrajeras de gramíneas y leguminosas en Nariño, Colombia. *Pastos y forrajes* 42(2):

Ramírez, N; Rueda, M; Ferguson, B; Jiménez. 2012. Caracterización del sistema agrosilvopastoril en la depresión Central de Chiapas. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 16 (2):7-22.

Ramos, C; Roncoli, C; Kabugo, M; Majugu, A. 2011. Conocimiento climático indígena en el sur de Uganda: múltiples componentes de un sistema dinámico regional. *Perspectivas culturales del clima. Instituto latinoamericano para una sociedad y un derecho alternativo. Universidad Nacional de Colombia*. p 183 – 222.

Renaudeau, D. 2005. Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Caribbean (Creole) restrictively-fed growing pigs. *Anim Res*. 54:81-93.

Ríos, V; Ortiz, N; Valencia, A; Orjuela, J. 2013. Estrés calórico y su relación con variables reproductivas en machos bovinos en la Amazonia Colombiana. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 14 (4): 1-12.

Rousseau, L; Fonteb, S; Téllez, O; Van der, R; Lavellea, P. 2013. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecological Indicators* 27: 71–82.

Ruiz, J; Vargas, L; Abarca, M; Hidalgo, H. 2019. Efecto del estrés calórico sobre la producción del ganado lechero en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 30 (3): 733-750.

Sanfiorenzo, A. 2008. Contribución de diferentes arreglos silvopastoriles a la conservación de la biodiversidad, mediante la provisión de hábitat y conectividad en el paisaje de la subcuenca del Río Copán, Honduras. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 101 p.

Salles, W; Anchão, P; Corsi, M; Ocheuze, ; Mui, S. 2003. Disponibilidade hídrica relacionada ao conteúdo de nitrogênio e à produtividade da alfafa (*Medicago sativa* L.). *Revista Brasileira de Zootecnia* 32(6):1275-1286. doi:<https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000600001>

Tayengwa, D; Tirivangasi, H; Rankoana, S. 2020. Rural community perceptions on the impact of climate Change on subsistence farming: utoko community in Zimbabwe. *Journal of social sciences and humanities* 17 (7):89-104.

Ulloa, A. 2011. Cosntrucciones culturales del clima. *Perspectivas culturales del clima*. Instituto latinoamericano para una sociedad y un derecho alternativo. Universidad Nacional de Colombia. p 17 – 29.

Velarde, L. 2012. Evaluación de la percepción y los factores determinantes en la implementación de medidas de adaptación al cambio y variabilidad climática por los productores de leche de la cuenca del río La Villa, Panamá. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 94 p.

Velasco, I; Ochoa, L; Gutiérrez, C. 2005. Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Región y sociedad* 17(34). <http://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v17n34/v17n34a2.pdf>

Vélez, M; Uribe, L. 2010. ¿Cómo afecta el estrés por calor la reproducción? *Biosalud* 9(2):83-95.

Zuluaga, G; Ruiz, A; Martínez, E. 2013. Percepciones sobre cambio climático y estrategias adaptativas de agricultores agroecológicos del Municipio de Marnilla, Colombia. *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático*. REDAGRES – CYTED. Medellín, Colombia. 43-59p.

#### **4. Comportamiento histórico de la precipitación y la temperatura en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca). Base para el diseño de estrategias de adaptación en sistemas de lechería especializada**

##### **Resumen**

Las características del clima y la variabilidad climática de una región facilitan o limitan el desarrollo de las actividades agropecuarias, el análisis del comportamiento histórico permite determinar periodos que favorecen el desarrollo de ciertas actividades y otros críticos en los cuales se deben establecer estrategias que permitan la adaptación y resiliencia. El objetivo de este trabajo fue analizar el comportamiento histórico de la precipitación y la temperatura en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto y su posible impacto en sistemas de lechería especializada de pequeños productores. El estudio se realizó en los municipios de Carmen de Carupa y Suesca (Cundinamarca), se analizó el cambio de uso del suelo, número de unidades de producción agropecuaria y número de bovinos presentes en sistemas de producción de leche, se analizaron los datos históricos (1930-2010) de la temperatura ambiental y precipitación por década, mes por década y mes histórico, se calculó el índice temperatura humedad máximo y mínimo (1950 – 2010) por década, mes por década y mes histórico y se analizó el efecto de las características del clima sobre los sistemas de producción de leche y algunas estrategias de adaptación, se utilizó ANOVA y Tukey mediante el programa Infostat®. En la región disminuyó el área de bosques y se incrementó la de ganadería, en Carmen de Carupa se incrementó el número de unidades de producción, mientras que en Suesca no se presentó cambios, en ambas zonas se aumentó fuertemente el número de animales, la región presenta un clima con bajas precipitaciones (660 a 875 mm/año), distribución bimodal, se presentaron diferencias en la temperatura ambiental y precipitación por década, mes por década y mes histórico, la temperatura máxima histórica presentó diferencias entre algunos meses hasta de 3°C, mientras que la mínima hasta de 3,3°C, igualmente se presentaron diferencias en el índice temperatura humedad máximo y mínimo por década, mes por década y mes histórico, se presentaron condiciones de estrés por frío y por calor en algunas horas del día durante todo el año. La región presentó incremento de la actividad ganadera con reducción de áreas de bosque, principalmente sistemas de producción de leche de pequeños productores, el comportamiento histórico de la temperatura y la precipitación no evidenció condiciones de cambio climático, se puede asumir como variabilidad climática, las características meteorológicas históricas y actuales de la región en algunas épocas del año afectan los recursos de producción y limitan la producción de leche, los productores deben buscar estrategias de adaptación a las condiciones climáticas actuales y futuras.

**Palabras clave:** agroecosistemas, estrés calórico, ganadería, uso del suelo, variabilidad climática

## **Abstract**

The characteristics of the climate and the climatic variability of a region facilitate or limit the development of agricultural activities, the analysis of historical behavior allows determining periods that favor the development of certain activities and other critics in which strategies that allow adaptation and resilience must be established. The objective of this work was to analyze the historical behavior of precipitation and temperature in environmentally strategic areas of the high tropics and their possible impact on specialized dairy systems of small producers. The study was carried out in the municipalities of Carmen de Carupa and Suesca (Cundinamarca), the change in land use, number of agricultural production units and number of animal present in milk production systems were analyzed, historical data were analyzed (1930-2010) of the environmental temperature and precipitation by decade, month by decade and historical month, the maximum and minimum temperature humidity index (1950 - 2010) was calculated by decade, month by decade and historical month and the effect of the climate characteristics on milk production systems and some adaptation strategies, ANOVA and Tukey were used through the Infostat® program. In the region the area of forests decreased and that of livestock increased, in Carmen de Carupa the number of production units increased, while in Suesca there were no changes, in both areas the number of animals increased strongly, the region presents a climate with low rainfall (660 to 875 mm / year), bimodal distribution, there were differences in environmental temperature and precipitation by decade, month by decade and historical month, the historical maximum temperature presented differences between some months up to 3°C, while the minimum up to 3.3°C, there were also differences in the maximum and minimum temperature humidity index per decade, month by decade and historical month, cold and heat stress conditions were presented in some hours of the day throughout the year. The region presented an increase in livestock activity with a reduction in forest areas, mainly milk production systems of small producers, the historical behavior of temperature and precipitation did not show conditions of climate change, it can be assumed as climate variability, the characteristics historical and current weather conditions in the region at some times of the year affect production resources and limit milk production, producers must seek adaptation strategies to current and future climatic conditions.

**Keyword:** agroecosystems, heat stress, livestock, land use, climate variability

## **4.1 Introducción**

La evolución de los ecosistemas está íntimamente relacionada con el comportamiento del clima a lo largo de tiempo, las variables climáticas influyen directa o indirectamente las relaciones bióticas y abióticas que se presentan en los diferentes componentes de los

ecosistemas. Las relaciones suelo – planta - animal son afectadas por eventos climáticos como períodos de sequía o lluvias, incluso eventos extremos que se pueden presentar con cierta frecuencia como el fenómeno de la Niña o el Niño. Un ejemplo es la dinámica de sucesión vegetal que se presenta en los bosques maduros, donde a partir de fuego generado naturalmente por una tormenta, los árboles maduros mueren y el fuego escarifica las semillas de diversas especies contenidas en el suelo, estos ciclos o eventos naturalmente acontecen en periodos prolongados de tiempo (Quiroga y Santiago, 2019).

En Colombia existen ecosistemas estratégicos como los páramos, los cuales comúnmente se encuentran por encima de los 3000 m s.n. m, estos prestan de servicios ecosistémicos como la captura, almacenamiento y regulación del agua, las características del suelo y la vegetación permitan cumplir su función (Estupiñán et al, 2009) a partir del comportamiento del clima a lo largo del año o de los eventos extremos atmosféricos producto de la variabilidad climática. Esta relación entre el clima y los demás componentes permite una homeostasis en ecosistemas naturales y que los cambios naturales del clima que se presentan durante millones de años, generen cambios de adaptación en los ecosistemas durante el mismo tiempo (Yepes y Silveira, 2011).

El desarrollo de actividades humanas y el asentamiento de comunidades en estos ecosistemas en busca de oportunidades bajo un modelo de desarrollo, ha sido una causa de la degradación de este ecosistema (Chaves, 2011; Cubillos, 2011) y de conflictos sociales, donde la política pública no ha podido armonizar la conservación de un ecosistema estratégico y frágil y la producción sostenible. En las últimas décadas este ecosistema viene presentando cambios en el uso del suelo, cada vez se amplía la frontera agrícola, en la zona de estudio estas áreas han pasado por cultivos de trigo, cebada, papa y actualmente un alto porcentaje en pasturas (DANE, 2020), cambios motivados por factores culturales donde los aspectos económicos son relevantes por la baja rentabilidad de los sistemas de producción dadas las relaciones que se presentan en el territorio.

En la mayoría de los casos el modelo tecnológico de producción que predomina en los sistemas agrícolas o pecuarios se base en revolución verde o modelos convencionales (Chaves, 2011; Cubillos, 2011), el cual se ha establecido por cambios culturales globales en todas las esferas de la sociedad (Rivera et al., 2013), se estima que la introducción del paquete tecnológico de revolución verde en el páramo de Guerrero provocó en los últimos 70 años la pérdida de 65% de la vegetación de bosque alto andino y 47% de la vegetación de páramo (Chaves, 2011).

La actividad ganadera bajo el modelo convencional se estableció a partir de la deforestación y la quema (Giraldo, 2008), el establecimiento de monocultivo de gramíneas (Rivera et al., 2013), manejadas extensivamente, presentando problemas de sobrepastoreo (Giraldo, 2008)

y mostrando el modelo bajos niveles productivos y baja rentabilidad debido principalmente a los altos costos de producción (Chaves, 2011).

El cambio tecnológico por parte de los campesinos en este ecosistema ha sido fomentado por las políticas públicas a través de las instituciones de asistencia técnica y desarrollo generando cambios culturales en el territorio (Cubillos, 2011), además de problemas sociales, económicos y ambientales, los cuales han incrementado en las últimas décadas debido a la variabilidad climática la cual presenta con mayor frecuencia eventos meteorológicos extremos que afectan los recursos de producción, ya que estos agroecosistemas han perdido la capacidad reguladora del agua.

Se estima que el incremento en temperatura, sequía, y precipitaciones fuertes genere la reducción de la productividad, especialmente en zonas secas, afectando principalmente a los pequeños productores (Altieri y Nicholls, 2008), esta condición climática hace que se incremente la vulnerabilidad de los sistemas de producción de leche convencionales ante los nuevos escenarios de variabilidad y cambio climático (Velarde, 2012).

Los sistemas sostenibles ganaderos pueden contribuir a recuperar suelos degradados, incrementar la productividad y reducir la presión sobre los recursos naturales hombre (Nahed et al., 2013; Murgueitio et al., 2011), el diseño precisa de cambiar el modelo tecnológico, incorporar prácticas que favorezcan la adaptación, mitigación y resiliencia a condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático. El diseño de los sistemas ganaderos no se limita a mejorar la eficiencia biológica, debe tener en cuenta diferentes dimensiones (sociales, económicas, políticas, ambientales, etc), además de contemplar el análisis del comportamiento histórico del clima para tratar de identificar condiciones que pueden limitar a los sistemas de producción (Steenwerth et al., 2014), y con base en este análisis poder definir prácticas y políticas (Abayineh y Belay, 2017) que favorezcan el cambio de la matriz de paisaje que permita incrementar la resiliencia socioecológica.

El conocimiento en áreas agropecuarias puede atacar problemas que se presentan dentro de una ventana corta de espacio y tiempo, pero detrás de este enfoque operan procesos complejos que no son percibidos y que para analizarlos y manejarlos se requiere de un enfoque espacial y temporal mucho más amplio (Viglizzo, 2008). Normalmente los eventos ecológicos que afectan los ambientes rurales tienen ventanas temporales amplias y dimensiones espaciales de gran escala, lo que comúnmente no se tiene en cuenta en el análisis de los cambios que requieren los sistemas de producción.

El objetivo de este trabajo fue analizar el comportamiento histórico de la precipitación y la temperatura en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca) y su posible impacto en sistemas de lechería especializada de pequeños productores.

## 4.2 Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en los municipios de Carmen de Carupa (N5° 19.956' W73° 51.574') y de Suesca (N 05°11.249' W073°45.438'), departamento de Cundinamarca. Se realizó un análisis sobre el cambio de uso del suelo, número de unidades de producción agropecuaria (UPA) y número de bovinos presentes en los municipios de Carmen de Carupa y Suesca (Cundinamarca) entre los años 1960 y 2014, se utilizó información consultada en el DANE (2020).

Se analizó la información histórica de la temperatura, humedad relativa y precipitación de 21 estaciones meteorológicas (tabla 4-1) de la red climatológica del Instituto de Estudios Ambientales, Meteorología e Hidrología (IDEAM, 2020), ubicadas en los municipios de Carmen de Carupa, Suesca y otros municipios aledaños (Cundinamarca) que corresponden a zonas ambientalmente estratégicas por la regulación hídrica y la provisión de agua a varias ciudades y poblados para diversas actividades.

Se recopilaron datos de la zona desde el año 1930 hasta el 2017, la información fue organizada y procesada por década para analizar posibles tendencias o cambios en las variables evaluadas. Con los datos registrados se determinó el índice temperatura humedad máximo (ITHmax) y índice temperatura humedad mínimo (ITHmin) para cada década y mensual histórico (1050 – 2010), para la zona de estudio (Hahn, 1999).

Se realizó ANOVA, tukey ( $\alpha$  0.05), desviación estándar y el coeficiente de variación para promedio de la precipitación anual por década (1030 -2010), promedio de la precipitación mensual histórica (1930 -2017), promedio temperatura máxima mensual histórica (1930 - 2017), promedio temperatura mínima mensual histórica (1930 - 2017), promedio índice temperatura humedad máximo anual por década (1950 – 2010), promedio índice temperatura humedad mínimo anual por década (1950 – 2010), promedio índice temperatura humedad máximo mensual histórico (1950 -2017) y promedio índice temperatura humedad mínimo anual por década (1950 – 2010), promedio índice temperatura humedad mínimo mensual histórico (1950 -2017). El análisis de los datos se realizó mediante el programa Infostat®.

**Tabla 4-1.** Estaciones climáticas (datos analizados) y ubicación geográfica.

<b>Código</b>	<b>Estación</b>	<b>Altitud (m.s.n.m)</b>	<b>Tipo de estación</b>	<b>Ubicación</b>
2401102	Agropecuaria Gja	3100	CO	(5.31666667, -73.81666667)
2120095	Barrancas	2720	CO	(5.16666667, -73.83333333)
2401511	Boyera	3000	AU	(5.30391667, -73.84866667)
2401061	Carmen de Carupa	2970	CO	(5.35127778, -73.90447222)
2401002	Carupa	2960	CO	(5.35, -73.9)
2401030	Hatillo el	2885	CO	(5.16666667, -73.8)
2401052	Hato 1	2985	CO	(5.28333333, -73.91666667)
2401053	Hato 2	2974	CO	(5.26666667, -73.91666667)
2401054	Hato 3	3398	CO	(5.25, -73.95)
2401055	Hato 4	3465	CO	(5.21666667, -73.95)
2401056	Hato 5	3360	CO	(5.21666667, -73.95)
2401035	Hato el	2900	CO	(5.28333333, -73.9)
2120167	Hoyo el arriba	2780	CO	(5.15, -73.81666667)
2120170	Llano el	2850	CO	(5.18333333, -73.83333333)
2120601	Loreto Kihda	2550	CO	(5.08902778, -73.80275)
2401115	Los Alizos	3167	CO	(5.32938889, -73.85005556)
2401519	Novilleros	2550	CO	(5.33333333, -73.78333333)
2120165	Santa Rosita	2750	CO	(5.11591667, -73.75738889)
2401037	Socota	3080	CO	(5.4, -73.91666667)
2120042	Suesca	2600	CO	(5.1, -73.78333333)
2401503	Uvate	2600	CO	(5.31666667, -73.81666667)

CO: convencional; AU: automática

### 4.3 Resultados y discusión

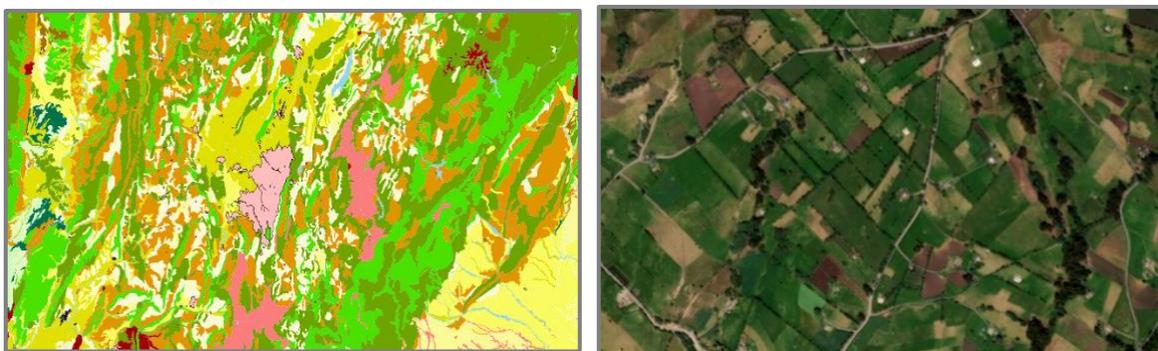
#### 4.3.1 Cambio de uso del suelo en Carmen de Carupa y Suesca (Cundinamarca)

Los ecosistemas de la región correspondían mayormente a bosque alto andino y vegetación de páramo, a través del tiempo diferentes dinámicas territoriales han causado el cambio de uso del suelo (DANE, 2020), a pesar que la vocación no sea para estas actividades, lo que ha generado conflictos sociales entre comunidades que se asentaron en la zona y las entidades ambientales territoriales.

Los ecosistemas de páramo y bosques alto andinos cumplen funciones ecológicas en la dinámica del agua, captura, conservación y liberación de agua a ecosistemas bajos, la destrucción de estos ecosistemas ha generado fuertes problemas de erosión, pérdida de servicios ecosistémicos, pérdida de biodiversidad (Rivera et al., 2013; Estupiñán et al, 2009)

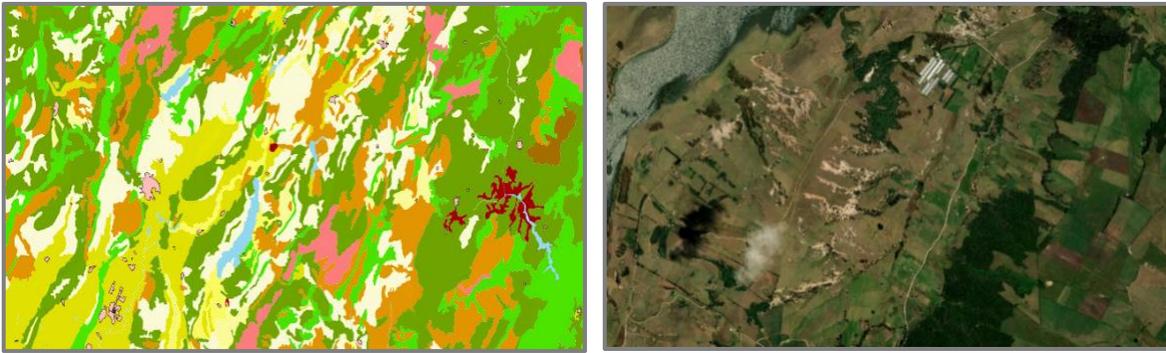
y problemas de calidad y abastecimiento de agua a ciudades y poblaciones ubicadas en la cuenca. Los sistemas de producción convencionales han causado el avance de la frontera agrícola (Chaves, 2011; Cubillos, 2011) y la contaminación del suelo y agua con agroquímicos, procesos de erosión que se agudizan por las precipitaciones y vientos, generando cárcavas y movimientos en masa (Estupiñán et al, 2009).

En la zona de Alisal se encuentran diferentes actividades o usos del suelo (figura 4-1) donde predominan los sistemas de producción agropecuaria, especialmente sistemas de producción de leche. La matriz del paisaje se encuentra fragmentada pero aún con algunos relictos de bosques y particularmente en esta vereda arreglos de sistemas silvopastoriles, principalmente de cercas vivas que ayudan a mantener cierto grado de conectividad que contribuye a mejorar la resiliencia de los sistemas ganaderos.



**Figura 4-1.** Diversidad de vocación de uso del suelo, cambio de uso y fragmentación de la matriz de paisaje en Carmen de Carupa (Cundinamarca). Fuente: IGAC y autor.

La zona de Suesca también sufrió una fuerte degradación de los ecosistemas naturales, el establecimiento de cultivos de trigo, cebada y avena, posteriormente de arveja y papa, todos manejados bajo modelos convencionales con altos insumos agroquímicos y una deforestación masiva de los bosques incrementó fuertemente la vulnerabilidad del suelo y las actividades que se desarrollan en él. Actualmente se observa una matriz de paisaje altamente fragmentada (figura 4-2), con algunos parches de bosque menores, predominando un paisaje agrícola simplificado y con fuertes procesos de erosión masiva, cárcavas y eventos de remoción en masa (figura 4-3), procesos que se iniciaron décadas atrás por el cambio de uso del suelo, el efecto de la época de lluvias y fuertes vientos que acompañan la región.



**Figura 4-2.** Diversidad de vocación de uso del suelo, cambio de uso y fragmentación de la matriz de paisaje en Suesca (Cundinamarca). Fuente: IGAG y autor.

Con las dinámicas territoriales presentes en las zonas de estudio las comunidades han abandonado en alto porcentaje la actividad agrícola, incluso el pancoger ha sido remplazado por actividades ganaderas, especialmente sistemas de producción de leche los cuales han heredado unos recursos naturales degradados, donde los agroecosistemas presentan alta vulnerabilidad a las condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático.



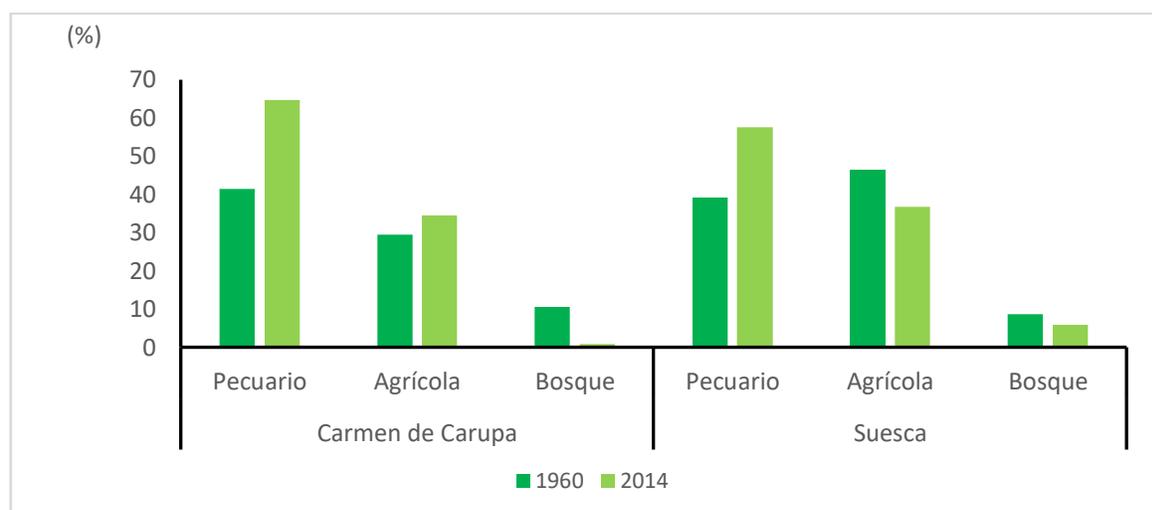
**Figura 4-3.** Perdida de ecosistemas estratégicos, degradación del suelo y fragmentación de la matriz de paisaje por uso de modelos productivos convencionales en Suesca (Cundinamarca). Fuente: autor.

Las condiciones climáticas presentes en la zona limitan la producción al afectar las relaciones que se presentan entre el suelo, los pastos y los animales, esto se ve reflejado en la eficiencia de los sistemas y en las dinámicas sociales y económicas que influyen en la toma de decisiones por parte de los productores afectando el nivel de resiliencia socioecológica de estos sistemas. La toma de decisiones de los pequeños productores para adoptar opciones de adaptación pasa por factores socioeconómicos, institucionales y ambientales, no solo son aspectos técnicos, en gran medida influye el acceso al crédito, capital humano y el nivel educativo, por lo que es necesario mejorar las políticas de crédito para aumentar las capacidades de adaptación (Abayineh y Belay, 2017), entendiendo que la resiliencia debe

enmarcarse en un contexto social y no limitarse exclusivamente a efectos biofísicos (Friend y Moench, 2013).

Los cambios en la matriz de paisaje no son recientes, décadas atrás con la apropiación del modelo convencional las áreas de bosque se redujeron notoriamente (Chaves, 2011), pero en la actualidad prácticamente han desaparecido en el municipio de Carmen de Carupa, lo que se refleja en el incremento de la actividad agrícola y pecuaria en la zona en la actualidad, aunque la actividad que ha crecido principalmente es la pecuaria (DANE, 2020) ya que los costos de producción agrícolas bajo el modelo convencional y la volatilidad de los precios en el mercado han desestimulado esta actividad.

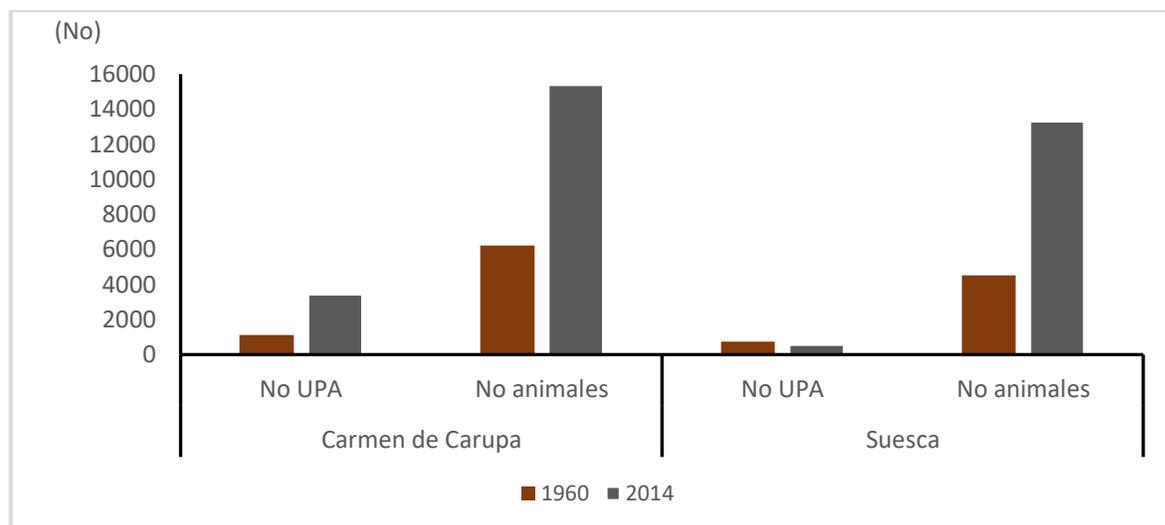
Suesca presenta la misma tendencia con relación a las áreas en bosque, pero a diferencia de Alisal, la actividad agrícola se ha reducido con relación a décadas anteriores y se presenta un incremento fuerte en los sistemas ganaderos, especialmente de lechería especializadas, producto del incremento de la frontera agrícola y de la reconversión de sistemas agrícolas a pecuarios (figura 4-4), en todos los casos y en ambas zonas predominando los sistemas convencionales (DANE, 2020).



**Figura 4-4.** Cambio de uso del suelo entre 1960 y 2014, en Carmen de Carupa y Suesca (Cundinamarca). Fuente: DANE, 2020.

Carmen de Carupa ha experimentado el crecimiento del número de unidades de producción, lo que se puede explicar posiblemente por la ampliación de la frontera agrícola, pero además por la reducción en el tamaño de los predios, caracterizando la zona por fincas con poca área donde las actividades agropecuarias son desarrolladas por pequeños productores. Las dinámicas de reconversión de sistemas agrícolas a pecuarios se ven reflejadas en el fuerte incremento del número de animales en la zona. Por el contrario, Suesca no ha presentado incremento en el número de unidades de producción agropecuaria, presentó una leve

reducción, pero también con un fuerte incremento en el número de animales destinados a la producción de leche (figura 4-5).



**Figura 4-5.** Cambio en el número de unidades de producción agropecuaria (UPA) y número de bovinos de leche entre 1960 y 2014, en Carmen de Carupa y Suesca (Cundinamarca). Fuente: DANE, 2020.

#### 4.3.2 Comportamiento histórico de la precipitación en la zona de estudio

Una realidad es que algunas condiciones, eventos o fenómenos climáticos están afectando negativamente a los sistemas de lechería especializada, lo que se atribuye a condiciones de cambio climático, incluso esa es la percepción de los pequeños productores de la región.

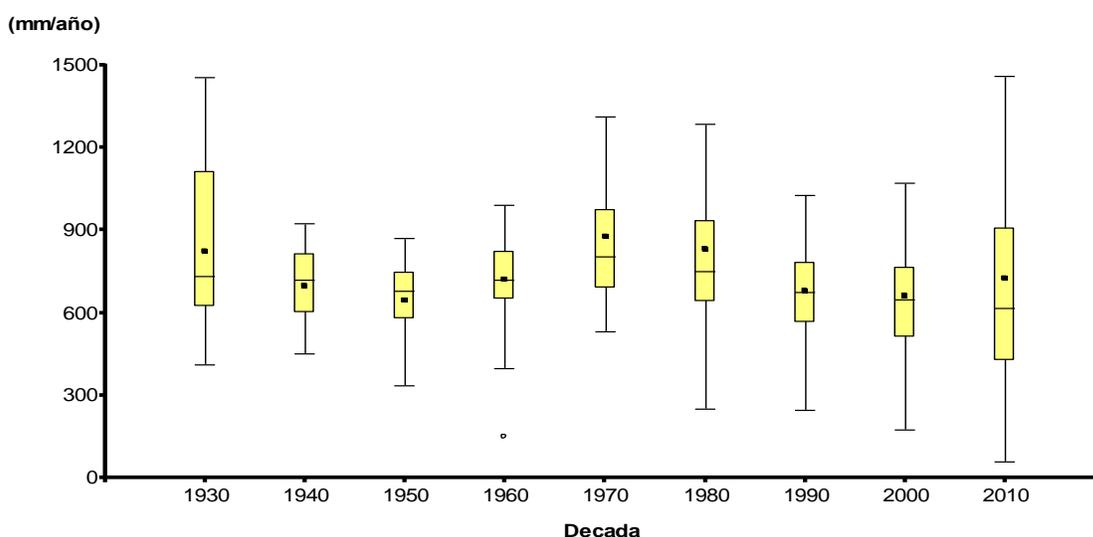
El clima se entiende como las condiciones meteorológicas medias durante un periodo prolongado, mientras que el cambio climático se entiende como los cambios en las características de las variables climáticas y fenómenos meteorológicos severos durante periodos de tiempo prolongados (IPCC, 2013), se habla de por los menos tres décadas, esto indica que posiblemente la situación climática actual no corresponda aún a efectos de cambio climático, sino a condiciones de variabilidad climática.

Comúnmente se puede confundir el clima con el tiempo atmosférico, el cual corresponde al comportamiento de un conjunto de fenómenos atmosféricos en un momento determinado, por ejemplo, los últimos ocho meses (IPCC, 2013).

El análisis histórico del clima en la zona permite entender cuáles variables climáticas y en qué momentos del día, mes o año pueden afectar o beneficiar las actividades agropecuarias y poder diseñar estrategias que permitan mitigar y adaptarse a esas condiciones que pueden

corresponder al tiempo, estacionalidad, variabilidad o cambio climático. Existen modelos climáticos que permiten extrapolar el comportamiento de algunas variables climáticas de una zona a otra, pero la precipitación tiene un comportamiento más local, de allí que el análisis demanda la mayor cantidad de datos lo que puede ser en parte una limitante a momento de concluir sobre zonas o regiones pequeñas donde no se dispone de datos en periodos prolongados que permitan verdaderamente poder establecer condiciones de cambio climático.

La región (Carmen de Carupa, Suesca y municipios aledaños) históricamente ha sido una región seca con un rango de precipitaciones entre 660 a 875 mm/año, condición que limita la producción primaria en algunos meses del año, en el caso de la producción de forrajes estos cultivos demandan alrededor de 850 mm anuales (Whiteman, 1980, citado por Correa et al., 2018). No se observó una tendencia en el comportamiento de las lluvias entre décadas, pero si una amplia variación dentro de las décadas ( $p = 0.0001$ ), lo que posiblemente se pueda explicar por fenómenos de Niño y Niña, además se encontró una tendencia de mayor variación en la precipitación dentro de las últimas décadas (1980 a 2010), lo que podría corresponder a condiciones de variabilidad climática en la cual se presentan eventos extremos (figura 4-6, tabla4-2).



**Figura 4-6.** Precipitación promedio anual por década (1930-2010) en la zona de estudio.

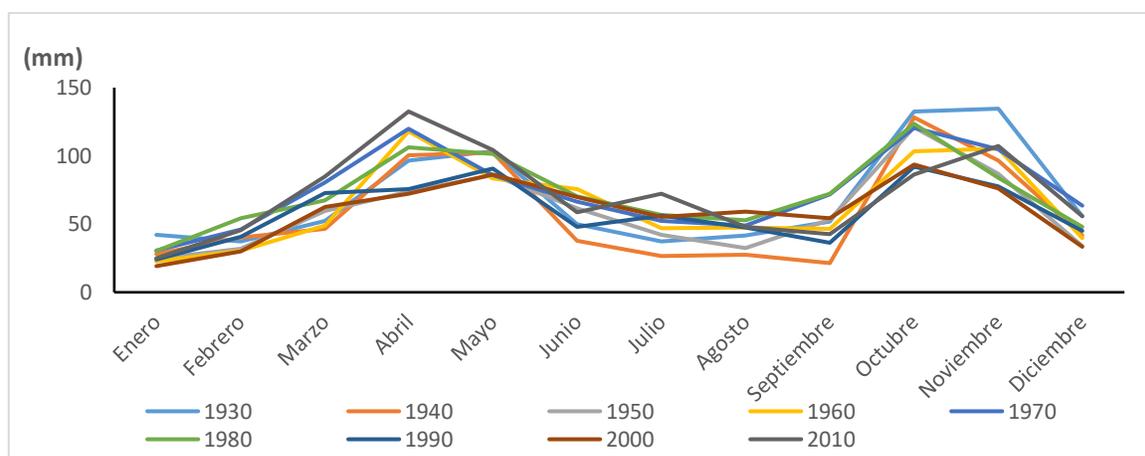
Este comportamiento nos indica la importancia de los servicios ecosistémicos que prestan el páramo y el bosque alto andino como captadores, reguladores y liberadores de agua, razón por la cual es necesario la conservación y restauración de estos ecosistemas (Estupiñán et al., 2009), además el diseño de sistemas sostenibles de producción que armonicen la producción y conservación reduciendo las tensiones sociales que se presentan en estos territorios hombre (Nahed et al., 2013).

**Tabla 4-2.** Promedio y estadísticos de variabilidad de la precipitación anual por década (1930-2010) en la zona de estudio

	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
Lluvias (mm)	823 <sup>ab</sup>	697 <sup>ab</sup>	641 <sup>a</sup>	721 <sup>ab</sup>	875 <sup>b</sup>	832 <sup>ab</sup>	679 <sup>a</sup>	660 <sup>a</sup>	725 <sup>ab</sup>
DE	309	150	239	190	295	404	319	288	377
CV	37.6	21.5	37.2	26.3	33.7	48.6	47.1	43.9	52.0

DE: desviación estándar; CV: coeficiente de variación. Medias con una letra común en la misma fila no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Se encontró una tendencia bimodal en la distribución de la precipitación en la región ( $p < 0.0001$ ), con diferencias entre décadas en cada mes, lo que refleja la variabilidad que se presenta en la cantidad de lluvia (figura 4-7). Este comportamiento permite establecer actividades agrícolas y pecuarias a pesar del tiempo atmosférico que se puede presentar en ciertos momentos y no generalizar que en la actualidad se presenta un comportamiento errático donde no se sabe cuándo va a llover, ya que los sistemas de lechería especializada en el trópico programan algunas de sus actividades con base en el comportamiento de las precipitaciones (siembras, renovación de praderas, conservación de forraje, etc) (Ulloa, 2011).



**Figura 4-7.** Precipitación promedio de cada mes por década (1930-2010) en la zona de estudio.

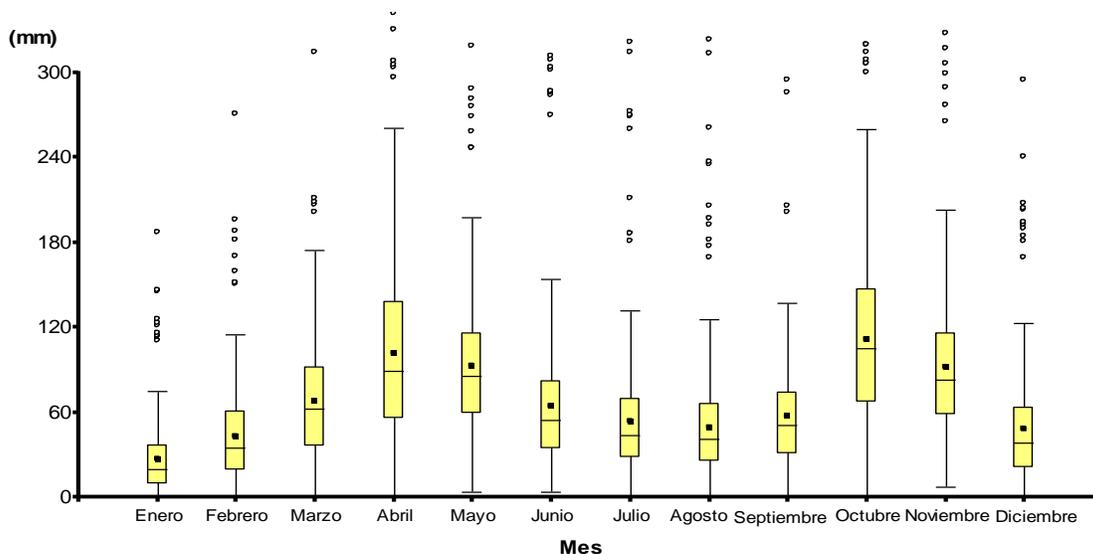
También se observó similar tendencia entre décadas en el número de días al mes en los cuales caen las precipitaciones (tabla 4-3), se encontró que el mayor número de días con estos eventos se presenta en los meses de mayor precipitación (en promedio 15 días del mes), esta distribución de las precipitaciones al mes favorece la producción de las pasturas y de los cultivos forrajeros que pueden ser conservados.

**Tabla 4-3.** Número de días con eventos de precipitación en cada mes por década (1930-2010) en la zona de estudio.

Mes	Década								
	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
Enero	5±3	4±2	3±2	7±5	7±6	6±4	6±4	5±4	6±6
Febrero	4±2	5±1	5±4	7±4	9±5	9±5	8±4	7±4	9±5
Marzo	7±3	6±4	9±4	10±5	14±4	10±5	12±5	11±6	13±6
Abril	10±5	11±4	11±4	17±5	16±4	14±5	14±4	14±7	16±5
Mayo	13±7	12±4	11±5	18±5	17±5	16±5	17±5	15±7	17±6
Junio	7±3	6±3	11±7	18±6	18±5	15±6	15±5	16±7	18±5
Julio	6±4	5±2	9±7	18±6	16±6	16±7	17±6	14±6	20±6
Agosto	7±4	6±3	8±7	16±6	16±5	13±6	15±5	15±6	17±6
Septiembre	7±5	5±2	8±6	13±5	15±4	12±5	10±4	12±6	12±4
Octubre	12±5	15±4	15±6	16±5	17±5	15±6	14±6	14±7	15±6
Noviembre	12±4	12±5	12±4	17±5	16±5	13±5	13±4	13±6	16±7
Diciembre	6±3	6±4	6±3	10±5	11±5	8±4	8±4	8±5	9±7

±: desviación estándar

El comportamiento histórico de la precipitación en la zona presenta distribución bimodal lo que permite determinar que la mayor producción de forraje disponible para los animales se da en el primer semestre los meses de abril y mayo, mientras que en el segundo se presenta entre octubre y noviembre (figura 4-8), este comportamiento permite argumentar la necesidad de realizar prácticas de manejo reproductivo en los animales para mejorar su eficiencia reproductiva pero a la vez poder producir la mayor cantidad de leche por hectárea al año, para esto se debe realizar la programación de partos estacionales de tal forma que las vacas paran cuando se presenta en los potreros la mayor cantidad y calidad de forraje, con ello reducir la necesidad de comprar alimento fuera del sistema (Servado et al., 2017). Dentro de las medidas que buscan incrementar la adaptación y resiliencia socioecológica de los sistemas se pueden considerar diferentes técnicas de captura y conservación de aguas lluvia (Nicholls y Altieri, 2019) como zanjas de infiltración, sistemas hidrológicos keyline, captura en techos, dada la baja precipitación que se presenta al mes aún en las épocas de lluvias (tabla 4-4).



**Figura 4-8.** Precipitación promedio de cada mes histórica (1930-2017) en la zona de estudio.

La distribución de la precipitación muestra dos periodos marcados de sequía de aproximadamente siete meses dentro de los cuáles, aunque en algunos se presenten precipitaciones, la cantidad de lluvia no permite el adecuado crecimiento de las pasturas (Whiteman, 1980, citado por Correa et al., 2018), esta condición climática reduce la producción de biomasa comestible (Salles et al., 2003; Velasco et al., 2005) y con ello la capacidad de carga de las fincas, lo que a su vez genera comúnmente sobrepastoreo, mayor compactación del suelo y degradación de la pradera. La conservación de forraje y la suplementación con residuos de cosecha tienen un papel importante para reducir los efectos de la estacionalidad de las lluvias, los productores deben llevar registros que les permita estimar las necesidades de forraje para estas épocas y tomar decisiones (producirlo o comprarlo), muchos productores que están asociados incrementan la resiliencia socioecológica al decidir producir entre todos los forrajes que necesitan para estas épocas. También este comportamiento permite ajustar otras prácticas dentro de los sistemas de producción de leche como los descartes de animales que cumplieron su ciclo productivo o presentan ineficiencia productiva o reproductiva con relación a sus congéneres.

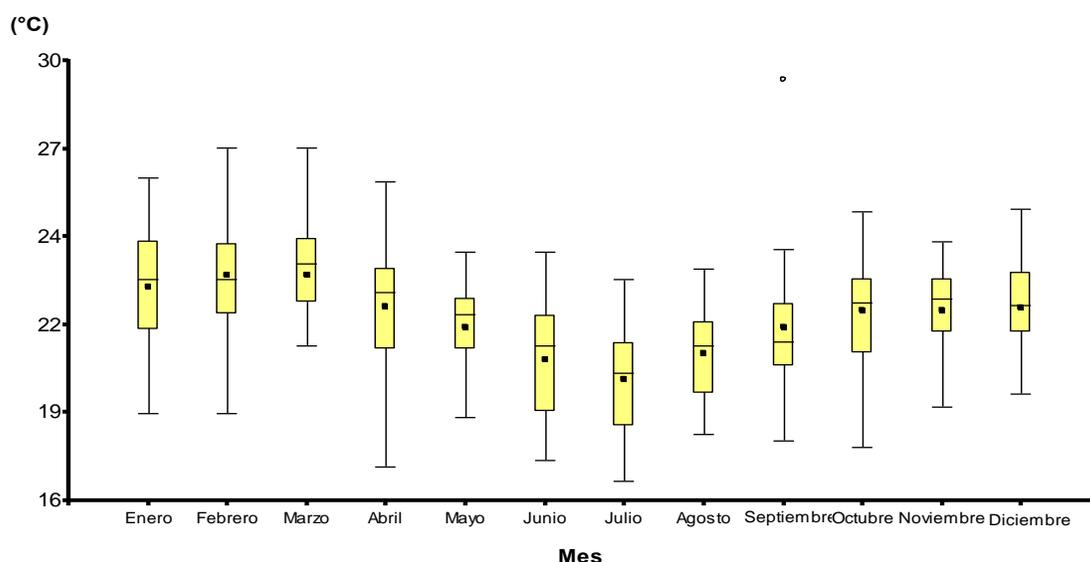
**Tabla 4-4.** Promedio y estadísticos de variabilidad de la precipitación mensual histórica (1930-2017) en la zona de estudio

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Lluvias (mm)	27 <sup>a</sup>	43 <sup>b</sup>	68 <sup>e</sup>	102 <sup>gh</sup>	93 <sup>fg</sup>	65 <sup>de</sup>	54 <sup>c</sup>	49 <sup>bc</sup>	57 <sup>cd</sup>	111 <sup>h</sup>	92 <sup>f</sup>	48 <sup>bc</sup>
DE	26.8	34.0	43.2	63.0	51	50.4	42	38.7	40.6	61.5	52	40.3
CV	99.5	79.0	63.4	62.0	54.9	78.2	78.1	78.8	70.7	55.4	56.7	88.3

DE: desviación estándar; CV: coeficiente de variación. Medias con una letra común en la misma fila no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

### 4.3.3 Comportamiento histórico de la temperatura en la zona de estudio

La temperatura es otra variable de importancia en los sistemas de lechería, junto con otras determina el crecimiento del forraje y el desempeño de los animales, además las necesidades de agua de bebida en los animales. La temperatura máxima histórica mensual en la zona mostró diferencias ( $p < 0.0001$ ) entre algunos meses hasta de  $3^{\circ}\text{C}$  (grafico 4-9, tabla 4-5), la mayor parte del año estuvo por encima del límite superior ( $20^{\circ}\text{C}$ ) de termoneutralidad óptimo para las razas que se utilizan en los sistemas especializados de leche (Cowan et al., 1993) establecidos en agroecosistemas de trópico alto. Se presenta variabilidad en cada mes.



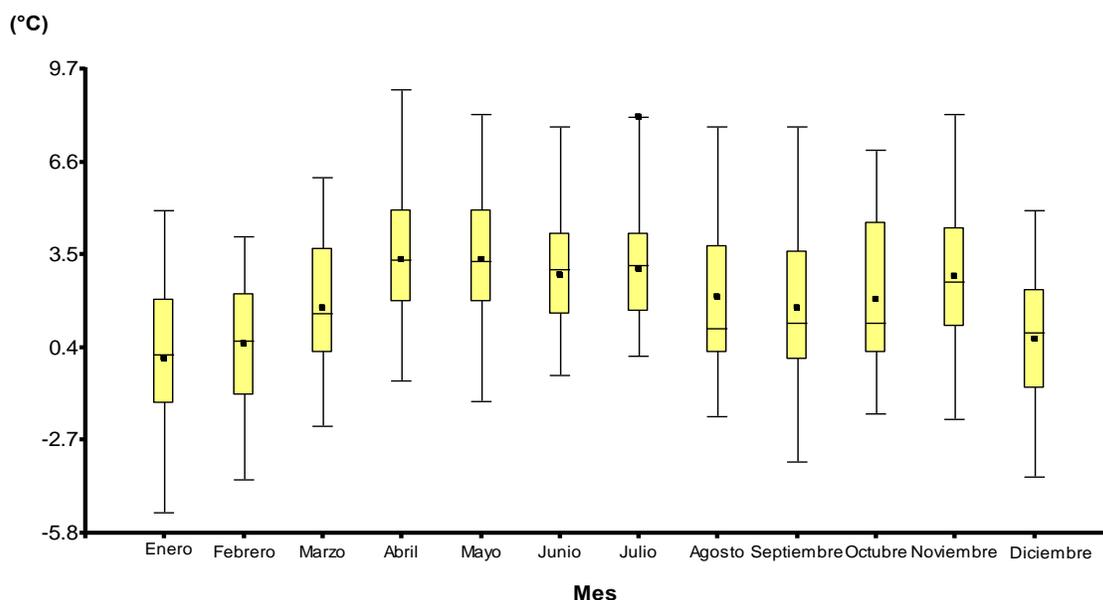
**Figura 4-9.** Temperatura máxima mensual histórica (1930-2017) en la zona de estudio.

La temperatura mínima histórica entre meses también presentó diferencias ( $p < 0.0001$ ), llegando incluso a ser de  $3,3^{\circ}\text{C}$  entre algunos meses (figura 4-10 y tabla 4-5). La temperatura mínima promedio en todos los meses estuvo por debajo del límite inferior ( $5^{\circ}\text{C}$ ) de termoneutralidad de las razas utilizadas en los sistemas de lechería especializada (Cowan et al., 1993), por lo que en algunos momentos los animales presentan estrés por frío. También se encontró mayor amplitud térmica (diferencia entre temperatura máxima y mínima) en los meses de diciembre, enero y febrero lo cual favorece la presentación de eventos extremos como las heladas que afectan drásticamente la producción de forraje incrementando el impacto de la época seca del primer semestre.

**Tabla 4-5.** Promedio y estadísticos de variabilidad de la temperatura máxima y temperatura mínima mensual histórica (1930-2017) en la zona de estudio.

Mes	Temperatura máxima			Temperatura mínima		
	(°C)	DE	CV	(°C)	DE	CV
Enero	22.8 <sup>bc</sup>	1.8	8.0	0.1 <sup>a</sup>	2.3	5783
Febrero	23.1 <sup>c</sup>	1.7	7.3	0.5 <sup>a</sup>	2.1	1160
Marzo	23.1 <sup>c</sup>	1.9	8.08	1.7 <sup>ab</sup>	2.3	156
Abril	22.2 <sup>bc</sup>	2.1	9.5	3.3 <sup>b</sup>	2.2	83
Mayo	21.6 <sup>ab</sup>	1.8	8.2	3.4 <sup>b</sup>	2.1	83
Junio	20.6 <sup>a</sup>	1.7	8.1	2.9 <sup>b</sup>	1.8	74
Julio	20.0 <sup>a</sup>	1.6	7.9	3.0 <sup>b</sup>	1.9	80
Agosto	20.8 <sup>a</sup>	1.3	6.4	2.1 <sup>ab</sup>	2.4	127
Septiembre	21.6 <sup>ab</sup>	1.8	8.2	1.7 <sup>ab</sup>	2.4	162
Octubre	22.1 <sup>bc</sup>	1.5	7.0	2.0 <sup>ab</sup>	2.4	145
Noviembre	22.1 <sup>bc</sup>	1.5	6.6	2.8 <sup>b</sup>	2.3	113
Diciembre	22.1 <sup>bc</sup>	1.5	6.8	0.7 <sup>a</sup>	2.3	1372
p valor	<0.0001			<0.0001		

DE: desviación estándar; CV: coeficiente de variación. Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

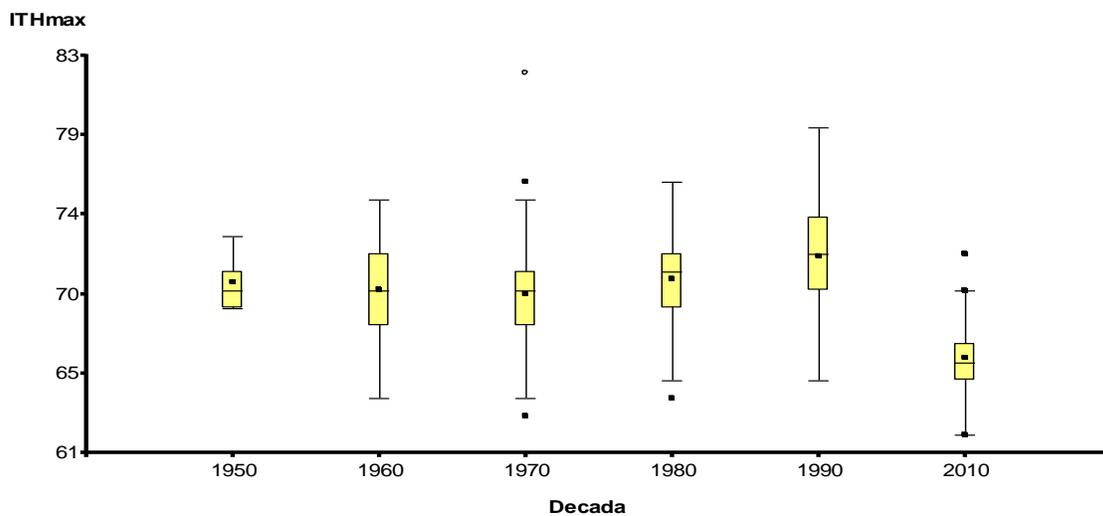


**Figura 4-10.** Temperatura mínima mensual histórica (1930-2017) en la zona de estudio.

#### 4.3.4 Comportamiento histórico del índice temperatura humedad (ITH) en la zona de estudio

El estrés calórico en los animales está determinado por el comportamiento de diferentes variables climáticas, la temperatura incrementa el estrés, pero la humedad relativa afecta los mecanismos de disipación de calor en el animal, igualmente los fuertes vientos en épocas de lluvia o presencia de bajas temperaturas incrementan el estrés por frío generando en el animal incremento en el gasto energético para termoregularse (Da Silva 2006; Hahn et al., 2003). El índice temperatura humedad (ITH) es una herramienta que permite determinar de mejor manera condiciones que pueden generar estrés calórico en los animales, se menciona que en condiciones tropicales el estrés por calor inicia cuando se presenta un ITH superior a 65, mientras que el estrés por frío a partir de 56, desde estos valores se inicia la disminución en la productividad de los animales (Morales y WingChing, 2020).

El índice temperatura humedad máximo (ITHmax) promedio por década presentó diferencias ( $p < 0.0001$ ), pero no un patrón que permita evidenciar un cambio climático, llama la atención el índice la década de 2010 el cual fue el más bajo, mostrando la variabilidad climática que se presenta en la zona (figura 4-11). En términos generales en la zona de estudio los animales en algunos momentos presentan estrés por calor (tabla 4-6) el cual puede ser alto si se considera la variabilidad que presenta este índice (Morales y WingChing, 2020).



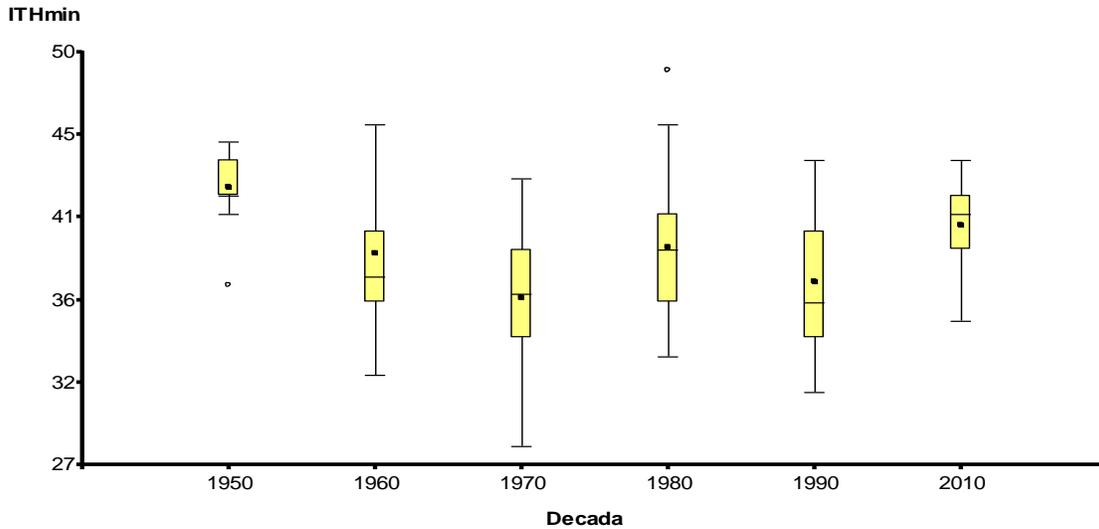
**Figura 4-11.** Índice temperatura humedad máximo (ITHmax) promedio anual por década (1950-2010) en la zona de estudio

**Tabla 4-6.** Promedio y estadísticos de variabilidad del índice temperatura humedad máximo (ITH máximo) e índice temperatura humedad mínimo (ITH mínimo) promedio anual por década (1950-2010) en la zona de estudio

Década	ITH máximo			ITH mínimo		
	ITH	DE	CV	ITH	DE	CV
1950	70 <sup>a</sup>	1.28	1.82	43 <sup>d</sup>	1.69	3.99
1960	70 <sup>b</sup>	2.62	3.74	39 <sup>bc</sup>	4.63	11.94
1970	70 <sup>b</sup>	2.83	4.05	36 <sup>a</sup>	3.45	9.5
1980	71 <sup>bc</sup>	2.13	3.01	39 <sup>bc</sup>	3.15	8.04
1990	72 <sup>c</sup>	3.14	4.37	37 <sup>ab</sup>	2.59	9.65
2010	66 <sup>a</sup>	2.1	3.17	40 <sup>c</sup>	2.37	5.88
p valor	<0.0001			<0.0001		

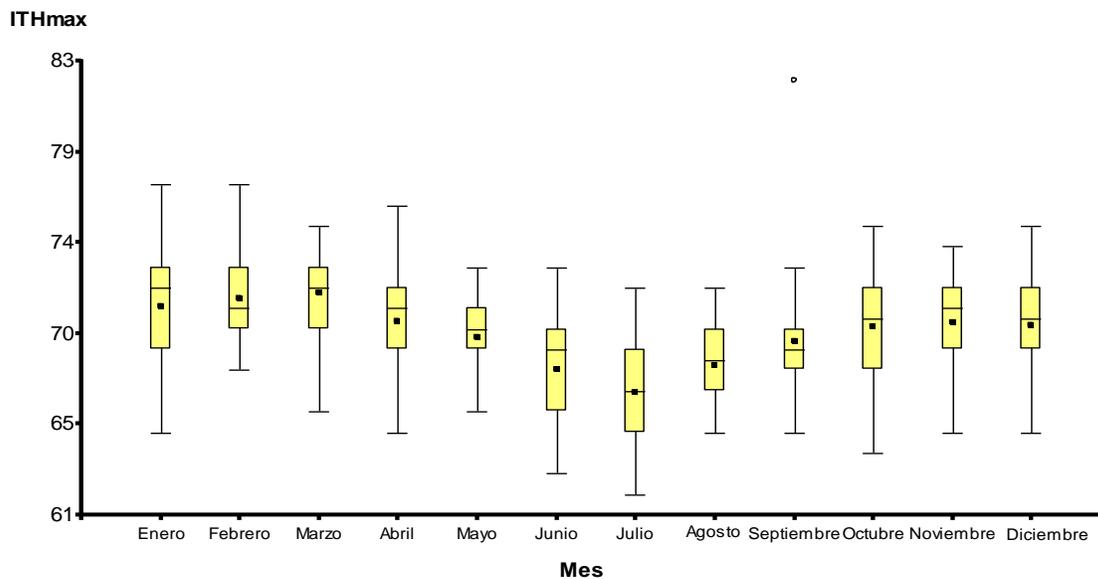
DE: desviación estándar; CV: coeficiente de variación. Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

El índice temperatura humedad mínimo (ITHmin) promedio por década, aunque presento diferencias ( $p < 0.0001$ ), tampoco presentó un patrón o tendencia, pero si mayor variabilidad en algunas décadas (figura 4-12). En términos generales en la zona de estudio los animales en algunos momentos presentan estrés por frío (tabla 4-6), al igual de lo que se encontró para el ITHmax la variabilidad que se presenta en este índice puede hacer que el estrés por frío sea alto en algunos momentos (González y Wing Ching, 2018). Estos resultados indican que históricamente los animales en sistemas especializados de leche han presentado condiciones que generan estrés por frío en unos momentos y estrés por calor en otros durante el mismo día, lo que se puede explicar por el amplio rango térmico que se presenta durante el día en los ecosistemas de trópico alto.



**Figura 4-12.** Índice temperatura humedad mínimo (ITHmin) promedio anual por década (1950-2010) en la zona de estudio.

El análisis del ITHmax mensual histórico mostró que hay diferencias ( $p < 0.0001$ ) entre meses, siendo de octubre a mayo los meses con mayores valores (figura 4-13), lo que se puede explicar por las altas temperaturas que se presentan en los meses secos y para el caso de los meses de lluvias el incremento en la humedad relativa que reduce la eficiencia de los mecanismos de pérdida de calor por parte de los animales (Da Silva 2006; Hahn et al., 2003; Renaudeau, 2005; Brown-Brandl et al., 2006). No se encontraron cambios en el comportamiento de este índice que se puedan atribuir a cambio climático (tabla 4-7).



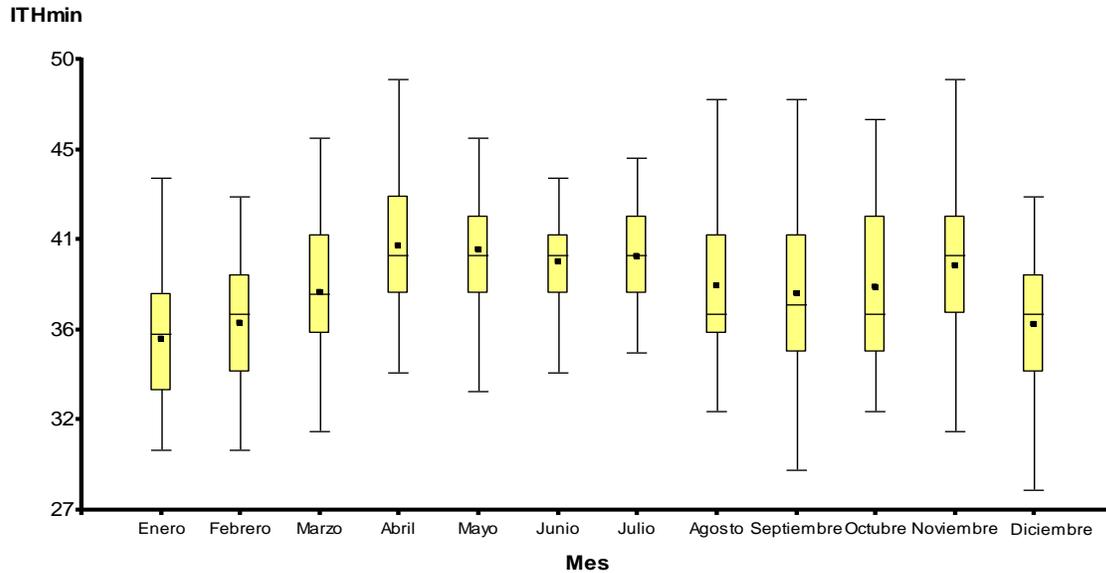
**Figura 4-13.** Índice temperatura humedad máximo (ITHmax) mensual histórico (1950-2017) en la zona de estudio.

**Tabla 4-7.** Promedio y estadísticos de variabilidad del índice temperatura humedad máximo (ITH máximo) e índice temperatura humedad mínimo (ITH mínimo) mensual histórico (1950-2017) en la zona de estudio.

Mes	ITH máximo			ITH mínimo		
	ITH	DE	CV	ITH	DE	CV
Enero	71 <sup>ef</sup>	2.95	4.15	36 <sup>a</sup>	3.4	9.52
Febrero	72 <sup>f</sup>	2.73	3.82	37 <sup>ab</sup>	3.14	8.61
Marzo	72 <sup>f</sup>	2.97	4.13	38 <sup>bc</sup>	3.7	9.7
Abril	70 <sup>cd</sup>	3.36	4.78	40 <sup>c</sup>	3.36	8.30
Mayo	70 <sup>cd</sup>	2.92	4.20	40 <sup>c</sup>	3.37	8.37
Junio	68 <sup>ab</sup>	2.63	3.86	40 <sup>c</sup>	2.89	7.29
Julio	67 <sup>a</sup>	2.51	3.76	40 <sup>c</sup>	3.03	7.59
Agosto	68 <sup>ab</sup>	2.01	2.94	38 <sup>bc</sup>	3.67	9.56
Septiembre	69 <sup>bc</sup>	2.93	4.22	38 <sup>bc</sup>	3.83	10.07
Octubre	70 <sup>cd</sup>	2.33	3.32	38 <sup>bc</sup>	3.81	9.93
Noviembre	70 <sup>cd</sup>	2.40	3.42	39 <sup>c</sup>	3.85	9.75
Diciembre	70 <sup>cd</sup>	2.42	3.4	36 <sup>a</sup>	3.64	9.97
p valor	<0.0001			<0.0001		

DE: desviación estándar; CV: coeficiente de variación. Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

El análisis del ITHmin mensual histórico también presentó diferencias ( $p < 0.0001$ ) entre meses, siendo diciembre, enero y febrero los meses con menores valores (figura 4-14), lo que se puede explicar por las bajas temperaturas que se presentan en estos meses. No se encontraron cambios en el comportamiento de este índice que se puedan atribuir a cambio climático (tabla 4-7).



**Figura 4-14.** Índice temperatura humedad mínimo (ITHmin) mensual histórico (1950-2017) en la zona de estudio.

El estrés calórico que se presenta en animales de sistemas especializados de leche en trópico alto limita la expresión de su potencial genético, afectando su desempeño productivo (Leyva et al., 2015; Morales y WingChing, 2020) y reproductivo (Montiel et al., 2019; Ruiz et al., 2019; Honig et al., 2016). El análisis histórico del clima en la zona de estudio muestra que los animales presentan estrés por frío en algunas horas del día y en otras estrés por calor durante todos los meses del año, aunque la magnitud o el grado de estrés es mayor en algunos. Esta situación se puede acentuar bajo condiciones de variabilidad extrema como la que se percibe actualmente y bajo futuras condiciones de cambio climático.

Los ecosistemas tropicales han evolucionado en muchos casos en compañía de los árboles, particularmente en esta zona el bosque alto andino, el árbol se convierte en una estrategia de adaptación y resiliencia en sistemas ganaderos al generar microclimas que modifican las condiciones térmicas dentro de las fincas en favor de la producción y la reproducción (Navas, 2010; Luedeling et al., 2014). Los sistemas silvopastoriles bajo condiciones de la zona reducen la temperatura bajo la copa de los árboles hasta en 2.6°C en las horas más calurosas del día, mientras que en las más frías se encuentra 0.5°C más bajo los árboles, este efecto microclimático es mayor al aumentar el porcentaje de cobertura arbórea a través de diferentes arreglos silvopastoriles (árboles dispersos, pasturas en callejones, sistemas multistrato en alta o media densidad), ya que además estos sistemas reducen el impacto del viento y de eventos extremos como precipitaciones torrenciales y heladas. El microclima generado por los sistemas silvopastoriles también beneficia procesos microbiológicos en el suelo y favorece la producción de forraje durante el año (Murgueitio et al., 2011; Navas y Montaña, 2019).

#### **4.4 Conclusiones**

La zona presenta un incremento de áreas destinadas a la ganadería de leche, lo que ha implicado la reducción de áreas de bosque y la conversión de sistemas agrícolas a ganaderos, estos últimos caracterizados por monocultivo de pasturas, incremento de animales y baja diversidad (deforestación).

El comportamiento histórico de la temperatura y la precipitación no evidenció condiciones de cambio climático, se puede asumir como variabilidad climática. La precipitación tiene una distribución bimodal lo que genera épocas secas que pueden reducir la producción de forraje, la disponibilidad de agua en las fincas y limitar la producción de leche.

Las condiciones climáticas generan momentos de estrés en los animales que se presentan durante todo el año, la magnitud puede variar entre meses, en algunos momentos del día los animales pueden presentar estrés térmico por frío y otros por calor, lo que puede reducir la expresión genética y su eficiencia.

El conocimiento del comportamiento del clima y su efecto en los sistemas de producción de leche por parte de productores, entidades gubernamentales y otros actores de la cadena láctea, puede ayudar a establecer acciones y políticas que promuevan estrategias de adaptación de los sistemas ganaderos a las condiciones actuales de estacionalidad y variabilidad climática.

El modelo de producción actual presenta alta vulnerabilidad a las condiciones climáticas de la zona, las prácticas agroecológicas (residuos de cosecha, conservación de forrajes, pastoreo rotacional, sistemas silvopastoriles, etc) pueden contribuir a incrementar la resiliencia de los sistemas ganaderos de lechería especializada de pequeños productores.

#### **4.5 Bibliografía**

Abayineh, A; Belay, S. 2017. Determinants of smallholder farmers' decision to adopt adaptation options to climate change and variability in the Muger Sub basin of the Upper Blue Nile basin of Ethiopia. *Agriculture & Food Security* 6:64.

Altieri, M; Nicholls, C. 2008. Los impactos del cambio climático sobre las comunidades Campesinas y de agricultores tradicionales y sus Respuestas adaptativas. *Agroecología* 3: 7-28.

Brown-Brandl, T; Nienaber, J; Eigenberg, R; Mader, T; Morrow, J; Dailey, J. 2006. Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livestock Science*. 105: 19-26.

Chaves, J. 2011. Análisis multicriterio de la sustentabilidad ambiental de los sistemas productivos agropecuarios presentes en la alta montaña del complejo páramo de guerrero. Tesis de Maestría Universidad Nacional de Colombia. 155 p.

Correa, H; Escalante, L; Jaimes, L. 2018. Efecto de la época del año y la altura remanente posterior al pastoreo sobre el crecimiento y calidad nutricional del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinum*) en el norte de Antioquia. *Livestock Research for Rural Development* 30(6).

Cowan, RT; Moss, RJ; Kerr, DV. 1993. Northern dairy feed base, summer feeding systems. *Tropical Grasslands* 27:150-161.

Cubillos, A. 2011. el proceso de transformación del páramo de guerrero por sistemas de ganadería bovina (1960-2010), con énfasis en políticas públicas. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia. 126 p.

Da Silva, R. 2006. Weather and climate and animal production. In: Update of the guide to agricultural meteorological practices. WMO-No.134 published in 1982.

Departamento Administrativo Nacional De Estadística -DANE. 2020. Censo nacional agropecuario 2014. En: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014>

Departamento Administrativo Nacional De Estadística -DANE. 2020. Directorio nacional de explotaciones agropecuarias (censo agropecuario) 1960. En: [http://biblioteca.dane.gov.co/media/libros/LD\\_6990\\_1960\\_V\\_8\\_EJ\\_4.PDF](http://biblioteca.dane.gov.co/media/libros/LD_6990_1960_V_8_EJ_4.PDF)

Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Estupiñán, L; Gómez, J; Barrantes, V; Limas, L. 2009. Efecto de actividades agropecuarias en las características del suelo en el páramo el granizo, (Cundinamarca - Colombia). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 12 (2): 79-89.

Friend, R; Moench, M. 2013. What is the purpose of urban climate resilience? Implications for addressing poverty and vulnerability. *Urban Climate* 6:98-113.

Giraldo, O. 2008. Seguridad alimentaria y producción pecuaria campesina: el caso de la localidad rural de sumapaz. *Revista Luna Azul*. 27: 49 – 59.

Hahn, G. (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science* 77(2):10-20. doi: 10.2527/1997.77suppl\_210x

Hahn, G; Mader, T; Eigenberg, R. 2003. Perspectives on development of thermal indices for animal studies and management. *Proc Symp Interactions between climate and animal production, EAAP, Technical series N° 7*, p 31-44.

Honig, H; Ofer, L; Kaim, M; Jacobi, S; Shinder, D; Gershon, E. 2016. The effect of cooling management on blood flow to the dominant follicle and estrous cycle length at heat stress. *Theriogenology*. 86 (2): 626-634.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM. 2020. En: <http://www.ideam.gov.co/>

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. 2013. Cambio climático 2013: Bases físicas, contribución del grupo de trabajo I al Quinto informe de evaluación del IPCC, Glosario, 22 p En: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI\\_AR5\\_glossary\\_ES.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf)

Leyva, J. C; Armenta, C; Zamorano, A; Thomas, M; Rincon, G; Medrano, J; Rivera, A; Reyna, G; Luna, N. 2015. Variables climáticas asociadas a la producción de leche en vacas Holstein criadas bajo condiciones de estrés por calor del Valle del Yaqui, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. 11 (1): 1-11.

Montiel, L; Estrada, E; Espinosa, M; Mellado, M; Hernández, J; Martínez, G; Vera, H. 2019. Factores de riesgo a nivel de establo asociados con el desempeño reproductivo en el sistema de producción de leche a pequeña escala en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 10 (3): 676-691.

Morales, C; WingChing, J. 2020. Condiciones climáticas y la producción láctea del ganado jersey en dos pisos altitudinales. *Agronomía Mesoamericana* 31(1):157-176.

Murgueitio, E; Calle, Z; Uribe, F; Calle, A; Solorio, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecol Manag* 261:1654-1663.

Nahed, J; Sanchez, B; Mena, Y; Ruiz, J; Aguilar, R; Castel, J; Ruiz, F; Orantes, M; Manzur, A; Cruz, J; Delgadillo, C. 2013. Feasibility of converting agrosilvopastoral systems of dairy

cattle to the organic production model in southeastern Mexico. *Journal of Cleaner Production*. 43: 136 -145.

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: 113:122.

Navas, A; Montaña, V. 2019. Comportamiento de *Tithonia diversifolia* bajo condiciones de bosque húmedo tropical. *Rev Inv Vet Perú* 2019; 30(2): 721-732.

Nicholls, C; Altieri, M. 2019. Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. *Cuadernos de Investigación* 11(1): 55-61.

Quiroga, M; Dantiago, H. 2019. Manejo del fuego como alternativa frente a los incendios forestales. El caso del Parque Entrenubes. *Ambiente y Desarrollo* 23(45):

Renaudeau, D. 2005. Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Caribbean (Creole) restrictively-fed growing pigs. *Anim Res*. 54:81-93.

Rivera, L; Armbrecht, I; Calle, Z. 2013. Silvopastoral systems and ant diversity conservation in a cattle-dominated landscape of the Colombian Andes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 181: 188– 194.

Ruiz, J; Vargas, L; Abarca, M; Hidalgo, H. 2019. Efecto del estrés calórico sobre la producción del ganado lechero en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 30 (3): 733-750.

Salles, W; Anchão, P; Corsi, M; Ocheuze, P; Mui, S. 2003. Disponibilidade hídrica relacionada ao conteúdo de nitrogênio e à produtividade da alfafa (*Medicago sativa* L.). *Revista Brasileira de Zootecnia* 32(6):1275-1286. doi:<https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000600001>

Servado, A; Guevara, R; Guevara, G; de Layola, C; Bertot, J; Senra, A; Curbelo, M. 2017. Reflexiones acerca de la adopción y extensión de un modelo de producción de leche estacional en Camaguey, Cuba. *Pastos y Forrajes* 40(1).

Steenwerth, K; Hodson, A; Bloom, A; Carter, M; Cattaneo, A; Chartres, C; Hatfield, J; Henry, K... otros. 2014. Climate-smart agriculture global research agenda: scientific basis for action. Steenwerth et al. *Agriculture & Food Security* 3:11.

Ulloa, A. 2011. Cosntrucciones culturales del clima. Perspectivas culturales del clima. Instituto latinoamericano para una sociedad y un derecho alternativo. Universidad Nacional de Colombia. p 17 – 29.

Velarde, L. 2012. Evaluación de la percepción y los factores determinantes en la implementación de medidas de adaptación al cambio y variabilidad climática por los productores de leche de la cuenca del río La Villa, Panamá. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 94 p.

Velasco, I; Ochoa, L; Gutiérrez, C. 2005. Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Región y sociedad* 17(34). <http://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v17n34/v17n34a2.pdf>

Viglizzo, E. 2008. Impacto ecológico-ambiental de los cambios en la relación ganadería-agricultura. *Revista Argentina de Producción Animal*. 28 (2): 169-172.

Yepes, A; Silveira, M. 2011. Respuestas de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global (revisión). *Colombia Forestal* 14(2):213-232.

## 5. Importancia de los sistemas silvopastoriles en fincas de pequeños productores de leche en zonas de trópico alto. Resiliencia y adaptación a condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático

### Resumen

Los sistemas ganaderos convencionales presentan alta vulnerabilidad frente a los nuevos escenarios climáticos, afectando principalmente a los pequeños productores, los sistemas silvopastoriles presentan características que permiten la adaptación y resiliencia a la variabilidad y cambio climático. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de los sistemas silvopastoriles en sistemas de lechería de pequeños productores y su aporte en la construcción de capacidades para la adaptación y resiliencia. El estudio se desarrolló en los municipios de Carmen de Carupa y Suesca (Cundinamarca), se seleccionaron 16 fincas de lechería especializada, se realizaron muestreos bajo la copa del árbol y fuera del árbol, se determinó las propiedades físico-químicos, microbiológicas, macrofauna, resistencia a la penetración, profundidad de raíces, producción de materia seca, calidad nutricional y composición botánica de la pradera, índice temperatura humedad por hora, índice temperatura humedad máximo y mínimo promedio, se utilizó un diseño completamente al azar, se realizó ANOVA y tukey ( $\alpha$  0.05) para las variables evaluadas, el análisis de los datos se realizó con el programa Infostat®. No se presentaron diferencias en las propiedades físico-químicas, microbiológicas, macrofauna, profundidad de raíces, compactación, producción y calidad de forraje bajo la copa del árbol y en áreas fuera del árbol, excepto en el calcio ( $p = 0.0273$ ), se presentó diferencias en la composición botánica ( $p = 0.0006$ ), menos leguminosas bajo la copa del árbol, se presentaron diferencias en las condiciones microclimáticas, bajo la copa del árbol en las horas más frías se presenta  $0.5^{\circ}\text{C}$  más y en las horas más calurosas se presenta hasta  $2.6^{\circ}\text{C}$  menos con relación a las áreas fuera del árbol, se presentaron condiciones de estrés calórico para los animales en áreas fuera del árbol durante 8 horas al día (ITH 73-76), en todos los meses del año, mientras que bajo la copa del árbol se presentó condiciones de estrés por 1 hora al día (ITH 71), durante dos meses. En este estudio no se observaron los beneficios de los árboles sobre las propiedades del suelo bajo la copa, pero si la producción de forraje bajo estas áreas, lo que permite el incremento de la cobertura arbórea con las especies evaluadas dentro de las áreas de pastoreo sin afectar la producción de forraje, las condiciones microclimáticas generadas por los árboles permiten reducir condiciones de estrés calórico para los animales las cuales pueden limitar su eficiencia.

**Palabras clave:** agroforestería, edafología, estrés calórico, forraje, ganadería, sostenibilidad

## **Abstract**

Conventional livestock systems present high vulnerability to new climate scenarios, affecting mainly small producers, silvopastoral systems present characteristics that allow adaptation and resilience to climate variability and change. The objective of this work was to determine the effect of silvopastoral systems in dairy systems of small producers and their contribution to building capacities for adaptation and resilience. The study was developed in the municipalities of Carmen de Carupa and Suesca (Cundinamarca), 16 specialized dairy farms were selected, samplings were carried out under the tree canopy and outside the tree, the physical-chemical, microbiological, macrofauna, resistance to penetration, root depth, dry matter production, nutritional quality and botanical composition of the grassland, hourly temperature humidity index, maximum and minimum average temperature humidity index, a completely random design was used, ANOVA and tukey were performed ( $\alpha$  0.05) for the variables evaluated, the data analysis was performed with the Infostat® program. There were no differences in the physical-chemical, microbiological, macrofauna, depth of roots, compaction, production and quality of forage under the tree canopy and in areas outside the tree, except in calcium ( $p = 0.0273$ ), it was presented differences in botanical composition ( $p = 0.0006$ ), less legumes under the tree canopy, there were differences in microclimatic conditions, under the tree canopy in the coldest hours there is  $0.5^{\circ}\text{C}$  more and in the hottest hours there are presents up to  $2.6^{\circ}\text{C}$  less in relation to the areas outside the tree, heat stress conditions were presented for the animals in areas outside the tree during 8 hours a day (ITH 73-76), in all months of the year, while under the tree canopy, stress conditions occurred for 1 hour a day (ITH 71), for two months. In this study, the benefits of the trees on the properties of the soil under the canopy were not observed, but if the forage production under these areas, which allows the increase of the tree cover with the species evaluated within the grazing areas without affect forage production, the microclimatic conditions generated by the trees allow reducing heat stress conditions for the animals, which can limit their efficiency.

**Keyword:** agroforestry, edaphology, heat stress, forage, livestock, sustainability

## **5.1 Introducción**

Las condiciones climáticas presentes en un agroecosistema favorecen o limitan el desempeño de los sistemas ganaderos, los ecosistemas tropicales presentan condiciones que favorecen la producción de leche y carne durante todo el año, a diferencia de países con estaciones donde en algunos periodos las condiciones climáticas limitan totalmente la producción de forrajes. Los sistemas ganaderos tropicales presentan baja eficiencia y alta vulnerabilidad porque los procesos productivos se basan en el modelo de revolución verde, el cual no tiene en cuenta las condiciones de los ecosistemas tropicales y no hacen uso de la biodiversidad en función de la producción y la conservación.

En la actualidad se presentan variaciones climáticas que no guardan relación con las variaciones cíclicas, esto es denominado como cambio climático (Semarnat, 2009), uno de los efectos asociados es el aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos como huracanes, inundaciones y sequías, situación que afectará los recursos hídricos y su disponibilidad (IPCC, 2007), lo que se convierte en un reto para el diseño de sistemas sostenibles de producción agropecuaria, en los cuales se debe reducir la vulnerabilidad e incrementar la resiliencia (Folke et al., 2010).

Los sistemas ganaderos convencionales presentan alta vulnerabilidad frente a los nuevos escenarios climáticos, especialmente las fincas de pequeños productores (Velarde, 2012). Las condiciones de restricción hídrica y altas temperaturas que se presentan durante las sequías afectan la producción y calidad del forraje (McDowell, 2008; Cuartas et al., 2014) y generan condiciones de estrés en los animales (Gaughan et al., 2009; Oyhantcabal et al., 2010) que limitan la productividad (Cuartas et al., 2014; Ruiz et al., 2019; González y Wing Ching, 2018; Montiel et al., 2019).

La resiliencia es la capacidad de un sistema de retener su estructura organizacional y su productividad después de una perturbación, (Altieri y Nicholls, 2013), los sistemas silvopastoriles se consideran una práctica agroecológica que permite mejorar la resiliencia de los sistemas ganaderos a las condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático. La utilización del componente leñoso presenta múltiples beneficios biofísicos, económicos, sociales y ambientales (Nahed et al., 2013; Mbow et al., 2014).

Los sistemas silvopastoriles a través de diferentes arreglos pueden reducir el impacto de variables climáticas como el viento, la temperatura y precipitaciones torrenciales, sobre los recursos de producción. Estos sistemas permiten recuperar áreas degradadas y conservar el suelo a través del ciclaje de nutrientes, la fijación de nitrógeno atmosférico (Vallejo, 2013), la conservación de la humedad y reducción de la evaporación (Renda, 2006; Rueda et al., 2011), el incremento de la actividad biológica y de materia orgánica (Sánchez, 2007; Escobar et al., 2020).

Los beneficios sobre el suelo se ven reflejados en el incremento de la producción y calidad de las pasturas (Alonso, 2011; Rivera et al., 2013; Rueda et al., 2011), disponibilidad de biomasa forrajera durante periodos más prolongados (Sáenz et al., 2007) al reducir los árboles la evapotranspiración y retener la humedad en el sistema (Rueda et al., 2011).

Los árboles mejoran el bienestar animal al generar microclimas a través de la sombra, que permite a los animales mantenerse dentro o cerca de su zona confort (Navas, 2010; Esquivel, 2007), incrementan el control biológico de parásitos y vectores de enfermedades (Giraldo et al., 2011; Sáenz et al., 2007), permiten incrementar el consumo voluntario de materia seca y

reducir el gasto energético para disipar el calor (Jarvis et al., 2010), lo que se refleja en el incremento de la producción de carne o leche (Cañas et al., 2003) sin necesidad de fertilizantes, concentrados, medicamentos y agroquímicos (Murgueitio et al., 2011).

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de los sistemas silvopastoriles en el suelo, la pastura y los animales, además su impacto potencial en la resiliencia y adaptación de sistemas de producción de leche de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

## 5.2 Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en seis fincas de la vereda Alisal (N5° 19.956' W73° 51.574', municipio de Carmen de Carupa y 10 fincas del municipio de Suesca (N 05°11.249' W073°45.438'), departamento de Cundinamarca (figura 2-1). Todas ubicadas entre los 2900 y 3100 m s. n. m., Carmen de Carupa presenta una precipitación promedio anual de 610 mm, temperatura media anual de 14 °C humedad relativa de 65 %, mientras que Suesca presenta una precipitación promedio anual de 734 mm, temperatura media anual de 14 °C humedad relativa de 72 % (CAR, 2006).

Las áreas de pastoreo en las fincas presentaron praderas conformadas por pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinum*), Rye grass (*Lolium spp.*) y en menor porcentaje Falsa poa (*Holcus lanatus*), Trébol blanco (*Trifolium repens*) y Trébol rojo (*Trifolium pratense*), mientras que aquellas con sistemas silvopastoriles predominaron árboles de Aliso (*Alnus acuminata*), Acacia japonesa (*Acacia melanoxylum*), Acacia negra (*Acacia decurrens*) y Tilo (*Sambucus nigra*), en arreglos de cerca viva y árboles dispersos. El manejo del pastoreo vario, algunas fincas presentaron pastoreo rotacional y otras alterno, con periodos de ocupación de 1 a 2 días y de recuperación entre 45 y 120 días dependiendo la época (precipitación) del año. El estudio tuvo una duración de 14 meses.

Se determinó la precipitación, temperatura ambiental y humedad relativa durante el tiempo de estudio, para lo cual en cada zona se seleccionó una finca en la cual se instaló un pluviómetro y se registró la precipitación diaria y el número de días con eventos al mes. Igualmente se instalaron dos dataloggers (OM-EL-USB-2-LCD), uno bajo la copa de un árbol (bajo árbol) y otro en un área abierta (fuera árbol), se registró la temperatura ambiente y humedad relativa cada hora. Con los datos registrados se determinó el índice temperatura humedad máximo (ITHmax) y índice temperatura humedad mínimo (ITHmin) por hora y para cada mes (Hahn, 1999).

Se realizaron análisis del suelo de las áreas de pastoreo, uno en época de sequía y otro en lluvias, bajo árbol y fuera árbol. En cada ocasión se tomó una muestra compuesta de suelo

en las áreas de pastoreo; se realizó un recorrido en zigzag para tomar submuestras (5) al azar con un barreno a una profundidad de 40 cm, luego se homogenizó el suelo y se tomó una muestra de 1000 g (IGAC, 2013), mientras que para las muestras bajo la copa de los árboles se seleccionaron cinco individuos al azar y se tomaron 4 puntos de medición referenciados con los puntos cardinales. Las muestras se llevaron al laboratorio (Corporación autónoma ambiental de Cundinamarca - CAR) para el análisis fisicoquímico, conductividad (conductimétrico - NTC 5596 Método B), pH (potenciométrico - NTC 5264), capacidad de intercambio catiónico (Extracción por acetato de amonio 1N – NTC 5268), densidad aparente (ATSM committee D18.2000. D2937-00 Standard test method for density of soil in place by the drive cylinder method), de potasio (Extracción por acetato de amonio 1N – NTC 5349, espectroscopía óptica/plasma acopiado inductivamente –ICAP, 3125 B), calcio (Extracción por acetato de amonio 1N – NTC 5349, Espectroscopía óptica/plasma acopiado inductivamente –ICAP, 3125 B), magnesio (Extracción por acetato de amonio 1N – NTC 5349, Espectroscopía óptica/plasma acopiado inductivamente –ICAP, 3125 B), fósforo (Extracción por acetato de amonio 1N – NTC 5349, Espectroscopía óptica/plasma acopiado inductivamente –ICAP, 3125 B), carbono orgánico total (NTC 5403, 2013-07-17 Método B; oxidación húmeda) materia orgánica (cálculo a partir de carbono orgánico).

La resistencia a la penetración y profundidad de resistencia se determinó en cada finca, se realizaron muestreos en ambas épocas (sequía y lluvias), utilizando un penetrómetro penetroViewer 6.08. Para las mediciones se utilizó la misma metodología descrita para la toma de muestras de suelo (bajo árbol y fuera árbol).

Igualmente, bajo árbol y fuera árbol se realizaron muestreos de macrofauna (en cada época), siguiendo la metodología sugerida por Tropical Soil Biology and Fertility – TSBF (Anderson y Ingram 1993), fuera árbol mediante un transecto donde los puntos de muestreos fueron seleccionados al azar y con una distancia de veinte metros entre puntos, se realizaron tres cajuelas de 25 x 25 x 30 cm. El material contenido en cada punto se dispuso en estratos de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm sobre una bandeja para aislar y realizar conteo. Luego se determinó familia y número de individuos en 1 m<sup>2</sup>, identificando la presencia de lombrices (Annelida: Haplotaxida: *Lumbricidae*) y escarabajos (Insecta: Coleoptera: *Scarabaeidae*). En cada cajuela se determinó la profundidad de raíces. Bajo árbol se seleccionaron cinco individuos al azar y se tomaron cuatro puntos de medición referenciados con los puntos cardinales

Las propiedades microbiológicas se determinaron en 10 fincas, se realizó un solo muestreo siguiendo la metodología descrita para las propiedades físico-químicas (bajo árbol y fuera árbol). Las muestras se dispusieron en una cava con gel refrigerante a 4°C y fueron enviadas al laboratorio para determinar la presencia de bacterias mesófilas aerobias (NTC 4519:2009), bacterias fijadoras de nitrógeno (Agar Ashby/recuento por profundidad), microorganismos

solubilizadores de fosfatos (recuento por profundidad), hongos (Agar PDA/recuento en profundidad) y actinomycetes (Agar avena/recuento en profundidad).

La producción de forraje verde (FV) se determinó en todas las fincas mediante el método de corte, en el cual se realizaron aforos destructivos previos al inicio del pastoreo durante cada época evaluada (dos por época), los muestreos de todas las fincas se realizaron durante tres días en cada ocasión, fuera árbol se realizaron recorridos en zigzag en los cuales se lanzó un marco (0,5 x 0,5 cm) y se cortó el forraje dentro del marco a 10 cm del suelo, luego se pesó para determinar la biomasa comestible, posteriormente se realizó la separación de gramíneas, leguminosas y arvenses, se pesaron por separado para determinar la composición botánica, se tomaron cinco muestras en cada muestreo, mientras que bajo árbol se seleccionaron cinco individuos al azar y se tomaron cuatro puntos de medición referenciados con los puntos cardinales.

Durante el estudio se realizaron tres muestreos en todas las fincas (sequía y lluvias), bajo árbol y fuera árbol se tomaron muestras de 500 g de FV para determinar la calidad nutricional de la pastura, las cuales fueron llevadas al laboratorio (AGROSAVIA) donde las muestras se secaron en horno a 65 °C durante 48 h hasta un peso constante, y luego se molieron a través de una criba de 1 mm. Se realizaron análisis de espectroscopía NIR, se determinó porcentaje de materia seca (%MS), proteína cruda (PC%), proteína soluble (%PC), proteína B (%PC), proteína C (%PC), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), digestibilidad, carbohidratos no estructurales, carbohidratos solubles, energía neta de lactancia, cenizas, calcio, fósforo, magnesio y potasio (Ariza, *et al.*, 2018), se utilizó un espectrómetro VIS / NIR de barrido (Foss NIRSystems modelo 6500; [www.foss.com](http://www.foss.com)). Los espectros se grabaron con WinISI 4.7.0 ([www.foss.com](http://www.foss.com)).

Se determinó el porcentaje de transmisión de radiación fotosintéticamente activa - RAFA<sub>t</sub>(%) en épocas de sequía y de lluvias, se midió la RAFA con un ceptómetro Apogee Quantum Flux Meter bajo árbol en los cuatro puntos cardinales, tomando diez mediciones en cada punto, fuera árbol se tomó diez mediciones, los muestreos se realizaron a medio día (11:00 y 13:00). La transmisión de RAFA se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$RAFA_{t(\%)} = \frac{RAFA_t}{RAFA_i} \times 100$$

Donde,

RAFA<sub>t</sub>(%) : RAFA transmitida (%)

RAFA<sub>t</sub>: RAFA transmitida (bajo copa, μmoles m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

RAFA<sub>i</sub>: RAFA incidente (fuera de la copa, μmoles m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

Se utilizó un diseño completamente al azar, se aplicó prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el conjunto de datos de las diferentes variables. Las variables físico-químicas del suelo, profundidad de raíces, macrofauna y microbiología se realizó ANOVA y tukey ( $\alpha$  0.05) entre bajo árbol y fuera de árbol. Se realizó ANOVA y tukey ( $\alpha$  0.05) para la producción de MS disponible (t/ha), la composición botánica y la calidad de forraje entre bajo árbol y fuera árbol. Además, se realizó ANOVA y tukey ( $\alpha$  0.05) para ITH por hora entre bajo árbol y fuera árbol. El análisis de los datos se realizó mediante el programa Infostat®.

### 5.3 Resultados y discusión

La agroecología tiene varias prácticas que contribuyen a reducir la vulnerabilidad y a incrementar la resiliencia de los sistemas ganaderos a condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático, una de ellas son los sistemas agroforestales los cuales incorporan el componente leñoso perenne (árboles, arbustos o palmas) a los sistemas de producción animal. Estos sistemas se clasifican dependiendo de los componentes presentes en el sistema (cultivo, árbol, animal), se denominan sistemas agrosilvícolas cuando el árbol interactúa con cultivos, sistemas silvopastoriles cuando el árbol interactúa con el componente animal (figura 5-1) y agrosilvopastoriles cuando en el sistema se presentan relaciones entre el componente leñoso perenne, los cultivos y los animales, los dos últimos también llamados sistemas agroforestales pecuarios.



**Figura 5-1.** Sistemas silvopastoriles presentes en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal y Suesca (Cundinamarca). Fuente: autor

El diseño de los sistemas agroforestales pecuarios demanda entender relaciones de facilitación e interferencia que se presentan entre los componentes, por lo que no se pueden generalizar algunos resultados de investigación o el conocimiento local sobre los efectos que tiene los árboles en los sistemas de producción. La magnitud de las interacciones depende de múltiples factores como las especies, la densidad de siembra, el tipo o arreglo silvopastoril, el manejo, etc.

### 5.3.1 Efecto del componente arbóreo sobre el suelo

En la evaluación realizada no se presentaron diferencias en las propiedades físico-químicas bajo la copa del árbol y en áreas fuera del árbol (tabla 5-1).

**Tabla 5-1.** Características físico-químicas en suelos bajo y fuera de la copa de los árboles en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

Item	Bajo árbol	Fuera árbol	p valor =
pH	5.6±0.54	5.5±0.53	0.5866
MO (g/100g)	3.2±2.3	4.15±3.2	0.4446
CIC (cmol/kg)	19.3±5.12	23.1±9.15	0.2964
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.4±0.19	1.4±0.29	0.4467
P (mg/kg)	21.1±12.24	17.7±13.66	0.6327
Na (cmol/kg)	0.2±0.18	0.2±0.12	0.6066
Mg (cmol/kg)	1.8±1.05	1.7±0.85	0.8117
K (cmol/kg)	1.0±0.44	0.8±0.64	0.3806
Ca (cmol/kg)	4.4±1.04	3.6±1.56	0.2094

La incorporación de árboles en los sistemas ganaderos tiene múltiples funciones, entre ellas contribuyen a recuperar y conservar suelos. Los árboles incrementan el ciclaje de nutrientes a través de su sistema radicular el cual explora mayor profundidad en el suelo en busca de nutrientes y agua (Nahed et al., 2013), estos recursos son incorporados a su estructura y liberados al suelo mediante la hojarasca, incrementando los contenidos de materia orgánica y carbono orgánico (Navas y Montaña, 2019), la descomposición de residuos foliares y radicales que hacen los microorganismos liberan los nutrientes que pueden ser aprovechados por las pasturas (Vallejo, 2013; Sánchez, 2007; Escobar et al., 2020). Los sistemas silvopastoriles también contribuyen a controlar los efectos negativos de algunas variables climáticas que causan erosión del suelo como fuertes vientos y precipitaciones torrenciales.

Los resultados encontrados en este estudio muestran la importancia de esta práctica agroecológica asociada a un adecuado sistema de pastoreo, como alternativa para eliminar la fertilización química sintética en sistemas de lechería especializada y con ello los impactos ambientales producidos por los esquemas de fertilización en modelos de agricultura convencional. Diversos estudios muestran como los árboles mejoran las propiedades físico-químicas del suelo bajo la copa con relación a las áreas abiertas (Escobar et al., 2020), además incrementan los contenidos de nutrientes como fósforo y potasio disponible (Rodríguez, 2011; Navas y Montaña, 2019; Escobar et al., 2020), incrementan en el pH, materia orgánica, minerales y capacidad de intercambio catiónico (Navas et al., 2020). Una cantidad importante

de la hojarasca de los árboles el viento la lleva a áreas abiertas mejorándolas, de allí la importancia de incrementar la cobertura arbórea en las áreas de pastoreo.

La profundidad de raíces de las gramíneas, la compactación y la profundidad a la cual se determinó la compactación del suelo no presentó diferencias bajo el árbol y fuera del árbol, a pesar que se observó menor presión en el suelo bajo la copa de los árboles, al igual que mayor profundidad en la cual las raíces del pasto pueden crecer sin limitaciones de compactación. Tampoco se presentaron diferencias en la macrofauna en el suelo de las dos áreas (tabla 5-2).

**Tabla 5-2.** Profundidad de raíces, macrofauna y resistencia a la penetración en suelos bajo y fuera de la copa de los árboles en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

Lugar	Profundidad de raíces (cm)	Lombrices (m <sup>2</sup> )	Escarabajos (m <sup>2</sup> )	Presión (Mpa)	Profundidad resistencia (cm)
Bajo árbol	27±10	57±14	24±7	2.9±1.0	34.4±25.1
Fuera de árbol	28±8	65±14	32±6	3.3±1.2	25.8±21.1
p valor	0.4154	0.7327	0.4263	0.2175	0.1177

Los árboles en los sistemas ganaderos generan microclimas a través de la sombra que son aprovechados por los animales durante algunas horas del día, esto puede incrementar la compactación por el pisoteo en los primeros centímetros del suelo bajo la copa de los árboles (Escobar et al., 2020), en este estudio se encontró menor presión bajo los árboles que fuera de los árboles, lo que se puede explicar posiblemente por el porcentaje de cobertura arbórea presente en los sistemas silvopastoriles evaluados.

La macrofauna edáfica ofrece servicios ecosistémicos en los sistemas ganaderos, cumple importantes funciones ecológicas como la bioturbación del suelo, relocalización de excretas y la descompactación del suelo (González et al 2015; Medina, 2019), ciclaje de nutrientes (Vallejo et al., 2012), reducción de gases efecto invernadero al airear las bostas y destrucción del ambiente que favorece a las bacterias metanogénicas, control biológico de moscas y parásitos gastrointestinales de los animales (Ocampo y Andresen, 2018).

En contraste con este estudio donde no se presentaron diferencias en la macrofauna edáfica, otros estudios han reportado que los sistemas silvopastoriles presentan mayor riqueza y diversidad de estos organismos que además potencian la actividad microbiológica favoreciendo la estabilidad del sistema (Sánchez, 2007; Escobar et al., 2020). Especies como la lombriz de tierra es considerada un indicador de la salud del suelo en parte porque ayuda a descompactarlo mejorando propiedades físico-químicas (Rousseau et al., 2013).

Igualmente, otros estudios han encontrado diferencias en coleópteros coprófagos donde los sistemas silvopastoriles presentan mayores poblaciones, mejorando el ciclaje de nutrientes y el control biológico sin necesidad de agroquímicos (Guevara et al, 2013; Escobar et al., 2020).

No se presentaron diferencias en la actividad microbiana de actinomicetos, bacterias fijadoras de nitrógeno, bacterias mesófilas y hongos bajo la copa de los árboles que en las áreas fuera de los árboles (tabla 5-3).

**Tabla 5-3.** Poblaciones microbiológicas en suelos bajo y fuera de la copa de los árboles de sistemas de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

Lugar	Actinomicetos (UFC/g)	Bacterias fijadoras N (UFC/g)	Bacterias mesófilas (UFC/g)	Hongos (UFC/g)
Bajo árbol	25.2 x 10 <sup>5</sup>	19.8 x 10 <sup>5</sup>	39.2 x 10 <sup>5</sup>	8.4 x 10 <sup>5</sup>
Fuera de árbol	16.9 x 10 <sup>5</sup>	16 x 10 <sup>5</sup>	30.1 x 10 <sup>5</sup>	7.8 x 10 <sup>5</sup>
p valor	0.4335	0.3599	0.4286	0.7594

La microbiología del suelo participa en procesos como la humificación, mineralización, liberación, fijación y recuperación de nutrientes para que sean aprovechados por las pasturas. Algunos microorganismos hacen simbiosis con leguminosas herbáceas o arbóreas para fijar nitrógeno atmosférico (rhizobium), otros están en vida libre y cumplen la misma función (Maldonado y Ramírez, 1997), algunas bacterias son solubilizadoras de fósforo, varias especies de hongos cumplen funciones como la liberación de fósforo en suelos ácidos, recuperación de agua y nutrientes, producción de hormonas de crecimiento para la plantas, control de patógenos o producción de sustancias que permiten la agregación de las partículas del suelo mejorando la estructura (Molina et al, 2005).

Los sistemas convencionales afectan las propiedades microbiológicas del suelo, se ha encontrado una rápida respuesta, restauración y resiliencia de la comunidad microbiana en sistemas silvopastoriles después de procesos de reconversión de los modelos convencionales (Vallejo, 2013), esto puede explicar los resultados encontrados donde no se presentaron diferencias en las poblaciones microbiales entre el suelo bajo y fuera de los árboles, algunas muestras analizadas de áreas fuera del árbol correspondieron a sistemas convencionales en transición los cuales han eliminado varias prácticas degradativas como el uso de agroquímicos, esto concuerda con lo encontrado por Escobar et al (2020) quienes evaluaron un sistema especializado de leche con arreglos silvopastoriles y donde hace 12 años no se aplicaban agroquímicos y se habían eliminado otras prácticas degradativas, los autores

reportan que no se presentaron diferencias en las poblaciones microbiales en el suelo bajo y fuera de los árboles.

### 5.3.2 Efecto sobre la producción y calidad de forraje en sistemas de producción lechera de trópico alto

No se presentaron diferencias ( $p = 0.3828$ ) en la producción de biomasa comestible bajo la copa de los árboles y las áreas fuera de los árboles, a pesar de presentarse un porcentaje de radiación fotosintéticamente activa transmitida de 46%. Se presentaron diferencias en la composición botánica ( $p = 0.0006$ ), la producción de leguminosas fue menor bajo la copa de los árboles lo que se puede explicar por la menor radiación que llegó a estas áreas, las leguminosas toleran menor sombreado que las especies gramíneas, tampoco se presentaron diferencias en la cantidad de arvenses que fue baja en ambos tratamientos (Tabla 5-4).

**Tabla 5-4.** Producción de materia seca – MS, composición botánica (t/ha) y transmisión de radiación fotosintéticamente activa (%), bajo y fuera de la copa de los árboles en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

Lugar	Producción total	RAFA <sub>t</sub> (%)	Gramíneas	Leguminosas	Arvenses
	(t MS/ha)	(%)	(t MS/ha)		
Bajo árbol	3.7±0.27	46%	3.66±0.27	0.02±0.01	0.05±0.03
Fuera de árbol	4.1±0.26		3.63±0.24	0.38±0.08	0.08±0.08
p valor	0.3828		0.9228	0.0006	0.4786

Los sistemas silvopastoriles favorecen la producción de forraje gracias al efecto que tienen sobre las propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo, además los árboles retienen humedad en la época de lluvias y la mantienen en el suelo durante más tiempo en la época seca (Murgueitio et al., 2011; Pérez, 2011; Navas y Montaña, 2019).

Algunos niveles de sombreado pueden estimular el crecimiento de las pasturas que tienen tolerancia a estas condiciones, lo que demanda conocer cuales especies arbóreas y cuales pasturas se pueden asociar, de lo contrario si las interacciones por sombra son negativas se reducirá drásticamente la producción de forraje (Ainsworth et al., 2012), algunos productores tienen la creencia que bajo los árboles no se produce pasto, lo que limita el establecimiento de sistemas silvopastoriles especialmente en fincas de pequeños productores.

Otros estudios (Navas et al., 2020; Obispo et al., 2008; Romero et al., 2020; Paciullo et al., 2011) concuerdan con los resultados encontrados en esta investigación donde no se presentó diferencia en la producción de forraje bajo y fuera los árboles, por el contrario Gómez et al (2016) y Oliva et al (2018), encontraron mayor producción de forraje bajo la copa de los árboles que en áreas a plena exposición solar, esto se puede explicar posiblemente por la estructura de la copa de las especies arbóreas utilizadas o aporte de nutrientes al suelo por parte de las especies arbóreas (leguminosas). Ciertos niveles de sombra pueden incrementar la producción de forraje al estimular el crecimiento de las gramíneas (Esquivel, 2007).

Igualmente, los resultados encontrados en la composición botánica concuerdan con lo reportado por Navas et al (2020), quienes encontraron mayor porcentaje de gramíneas bajo la copa de los árboles que en áreas abiertas, mientras que Barragán et al (2019) encontraron leguminosas y otras especies herbáceas de hoja ancha bajo la copa de los árboles, lo cual se puede explicar posiblemente por la menor densidad de la copa de las especies arbóreas evaluadas que permitió que llegara al estrato herbáceo mayor RAFA, de allí la importancia de evaluar las interacciones que se presentan entre los componentes. Estas investigaciones muestran la importancia de los sistemas con árboles en la producción de forraje, práctica que permite la adaptación de los sistemas ganaderos a condiciones climáticas extremas.

No se presentaron diferencias en la calidad nutricional de los pastos que crecen bajo la copa de los árboles y las áreas fuera de los árboles, los contenidos de proteína cruda y sus fracciones son aceptables para las especies de gramíneas que predominan y el manejo (sin fertilización química), la digestibilidad es aceptable al igual que la fibras y la energía, el forraje presenta buenos contenidos de minerales de los cuales el calcio presentó diferencias entre tratamientos, siendo mayor en las áreas fuera de los árboles (tabla 5-5).

Las vacas productoras de leche tienen altos requerimientos nutricionales, para expresar su potencial genético necesitan dietas con altos contenidos de nutrientes, razón por la cual los pastos deben tener la mejor calidad nutricional al ser base de la alimentación en los sistemas tropicales. La calidad de los pastos depende de múltiples factores como la calidad del suelo, la época del año, el manejo de la fertilización, el periodo de recuperación o descanso y la presión de pastoreo.

Los árboles dentro de las áreas de pastoreo pueden mejorar la calidad de las pasturas por el de ciclaje de nutrientes y la fijación de nitrógeno que hacen algunas especies (Vallejo et al., 2012; Sánchez, 2007; Escobar et al., 2020; (Nahed et al., 2013), esto se refleja en el incremento del porcentaje de proteína cruda, se ha reportado en algunos casos la reducción de los carbohidratos estructurales en el forraje que crece bajo la copa de los árboles lo que favorece el consumo voluntario de los animales.

**Tabla 5-5.** Calidad nutricional de pasturas bajo y fuera de la copa de los árboles, en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

Item	Bajo árbol	Fuera árbol	p valor
Proteína cruda – PC (%)	14.5±3.6	14.8±4.2	0.7687
Proteína Soluble (% PC)	37.9±3.4	39.2±3.7	0.1761
Proteína B (% PC)	54.8±2.9	53.7±3.4	0.2001
Proteína C (% PC)	7.8±1.6	7.5±1.2	0.3521
Digestibilidad (%)	61.0±3.5	61.5±4.2	0.6888
Fibra en detergente neutro (%)	56.4±4.2	56.0±5.8	0.7783
Fibra en detergente ácido (%)	31.8±3.1	31.3±3.4	0.5292
Carbohidratos no estructurales (%)	10.2±2.1	9.9±1.7	0.6419
Carbohidratos solubles (%)	3.8±1.1	3.8±0.9	0.9336
Energía metabolizable (Mcal/Kg)	2.0±0.14	2.0±0.17	0.6772
Energía neta de lactancia (Mcal/Kg)	1.3±0.08	1.3±0.09	0.6652
Calcio (%)	0.4±0.06	0.5±0.11	0.0273
Fósforo (%)	0.3±0.07	0.3±0.07	0.8082
Magnesio (%)	0.3±0.03	0.3±0.04	0.8008
Potasio (%)	2.6±0.60	2.8±0.59	0.2144
Azufre (%)	0.3±0.04	0.3±0.05	0.2750

A diferencia de este trabajo otros estudios encontraron bajo la copa de los árboles mayor el porcentaje de proteína cruda (Navas et al., 2020; Obispo et al., 2008; Barragán et al., 2019; Oliva et al., 2018; Romero et al., 2020; Paciullo et al., 2011) lo que se atribuye a la fijación de nitrógeno atmosférico que hacen los microorganismos asociados a especies principalmente leguminosas (Nahed et al., 2013). En este estudio algunas de las especies arbóreas evaluadas no fueron leguminosas, razón por la cual posiblemente no se presentó el incremento en la proteína cruda del forraje.

Otros estudios tampoco encontraron diferencias en la digestibilidad (Obispo et al., 2008; Barragan et al., 2019), fibra en detergente neutro (Obispo et al., 2008; Barragán et al., 2019; Romero et al., 2020) y fibra en detergente ácido (Barragán et al., 2019) entre el forraje que se produce bajo la copa de los árboles y en áreas fuera de los árboles, por el contrario, Romero et al (2020) reportan mayor digestibilidad en el forraje a plena exposición solar.

Los sistemas silvopastoriles ayudan a mejorar la calidad nutricional de las pasturas, lo que puede reducir la necesidad de suplementos según el nivel de producción de las vacas, es importante seleccionar especies que favorezcan el ciclaje de nutrientes y la fijación de

nitrógeno por ejemplo el *A. acuminata*, de igual manera establecer arreglos que permitan alto porcentaje de cobertura arbórea en los potreros.

### **5.3.3 Reducción del estrés calórico en animales y su efecto en la producción de leche**

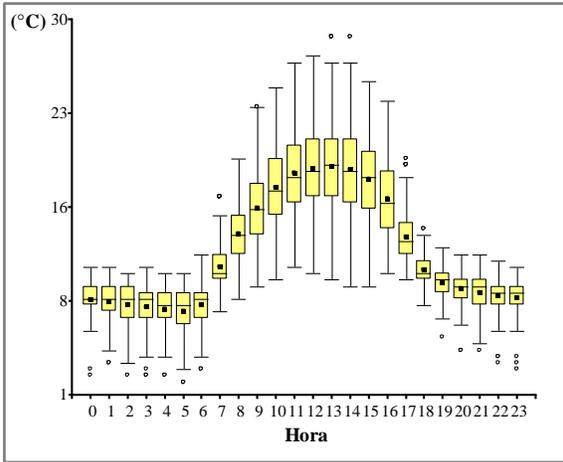
Los ecosistemas tropicales se caracterizan por mantener la temperatura mínima y máxima durante el día relativamente con pocas variaciones durante el año, con relación a países donde se presentan estaciones. Se entiende que en los ecosistemas tropicales las primeras y últimas horas del día presentan las menores temperaturas, mientras que hacia el mediodía y la tarde se presentan las máximas.

Comúnmente se considera que el estrés calórico en bovinos se presenta por altas temperaturas, se ha determinado que las bajas temperaturas también generan estrés, aunque los signos y la respuesta por parte del animal pueden cambiar. Los animales homeotermos tienen rangos de temperatura que determinan la zona confort o de termoneutralidad, dentro de la cual pueden vivir y expresar su potencial genético, cuando las condiciones ambientales están por fuera de este rango los animales entran en estrés y se afecta negativamente su desempeño productivo y reproductivo (Leyva et al., 2015; Morales y WingChing, 2020).

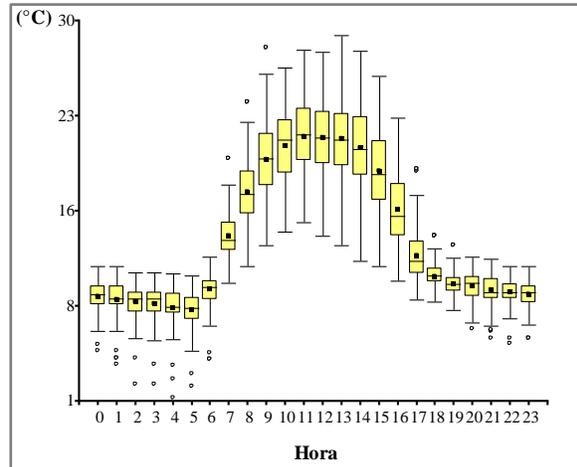
Los sistemas silvopastoriles generan microclimas que favorecen diversos procesos en los sistemas ganaderos, tienen impactos positivos sobre las relaciones microbiológicas en el suelo y la dinámica de ciclaje y liberación de nutrientes, sobre la producción de forraje especialmente en épocas secas al mejorar el balance hídrico en el sistema (Renda, 2006) y sobre el bienestar animal al generar condiciones ambientales que le permiten estar dentro o cerca de la zona de termoneutralidad (Navas, 2010).

El microclima generado por los sistemas silvopastoriles permite mantener o incrementar el consumo voluntario de materia seca, reducir las necesidades de agua de bebida (Sousa et al., 2010), mantener o incrementar la producción de leche o carne y mejorar el desempeño reproductivo de los animales (Souza, 2003), aspecto importante en la evaluación de la eficiencia productiva de uso del suelo por unidad de área.

En la zona de Suesca se observó como es normal, cambios en la temperatura durante las diferentes horas del día, presentándose bajas temperaturas de las 18 horas hasta las 06 horas, luego la temperatura se incrementa durante el día. Se observó que las temperaturas bajo la copa de los árboles son menores durante el día con relación a las áreas fuera de los árboles, mientras que en las horas donde las temperaturas son más bajas, las temperaturas bajo la copa de los árboles son mayores (figura 5-1).



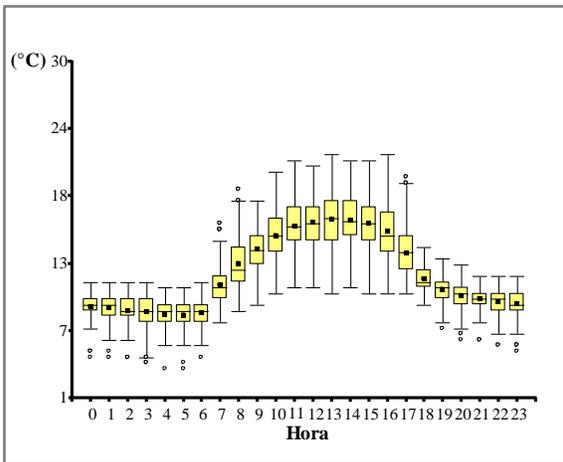
Suesca bajo árbol



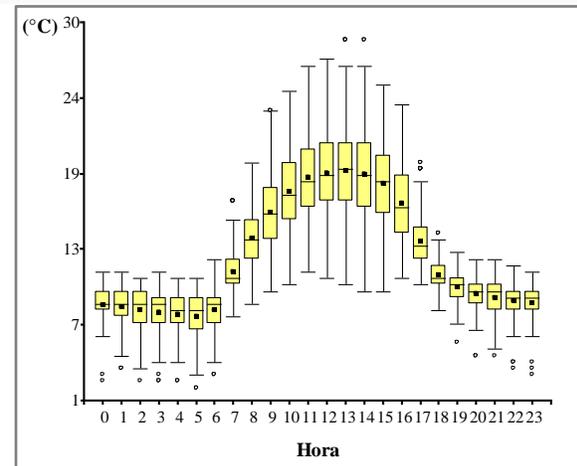
Suesca fuera árbol

**Figura 5-2.** Temperatura ambiente bajo y fuera de la copa de árboles en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en Suesca (Cundinamarca).

En la zona de Alisal se presenta el mismo comportamiento, pero se observa una reducción mayor en la temperatura bajo los árboles en las horas de mayor temperatura del día, con relación a la zona de Suesca (figura 5-2).



Alisal bajo árbol



Alisal fuera árbol

**Figura 5-3.** Temperatura ambiente bajo y fuera de la copa de árboles en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).

La tabla 5-6 presenta la temperatura ambiente cada hora del día en áreas fuera de los árboles y la diferencia de temperatura bajo la copa de los árboles para las dos zonas de estudio. Se encontró que desde las 17 horas hasta las 06 horas bajo la copa de los árboles la temperatura

es en promedio 0.5 °C mayor, mientras que desde las 07 horas hasta las 16 horas la temperatura es menor, siendo mayor este efecto cuando se presentan las temperaturas más elevadas del día, este comportamiento microclimático se encontró en las dos zonas del estudio.

**Tabla 5-6.** Temperatura ambiente cada hora y diferencia de temperatura (°C) bajo la copa de los árboles en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal y Suesca (Cundinamarca).

Hora	Alisal		Suesca	
	Temperatura ambiente (°C)	Diferencia bajo la copa de los árboles (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Diferencia bajo la copa de los árboles (°C)
0	8.4	0.5	9.0	0.5
1	8.2	0.5	8.7	0.5
2	8.0	0.5	8.6	0.5
3	7.9	0.5	8.4	0.5
4	7.7	0.5	8.1	0.5
5	7.6	0.5	8.0	0.6
6	8.0	0.3	9.5	0.4
7	11.0	-0.4	13.6	-0.4
8	13.6	-1.0	16.9	-1.1
9	15.6	-1.8	19.4	-1.9
10	17.2	-2.3	20.5	-2.4
11	18.4	-2.6	21.2	-2.7
12	18.7	-2.6	21.0	-2.6
13	18.8	-2.4	21.0	-2.5
14	18.6	-2.3	20.3	-2.4
15	17.8	-1.8	18.5	-1.7
16	16.3	-1.0	15.6	-1.1
17	13.3	0.2	12.1	0.2
18	10.8	0.5	10.5	0.5
19	9.8	0.5	9.9	0.6
20	9.3	0.5	9.8	0.4
21	9.0	0.5	9.4	0.5
22	8.7	0.5	9.3	0.5
23	8.6	0.5	9.1	0.5



Mayor de temperatura

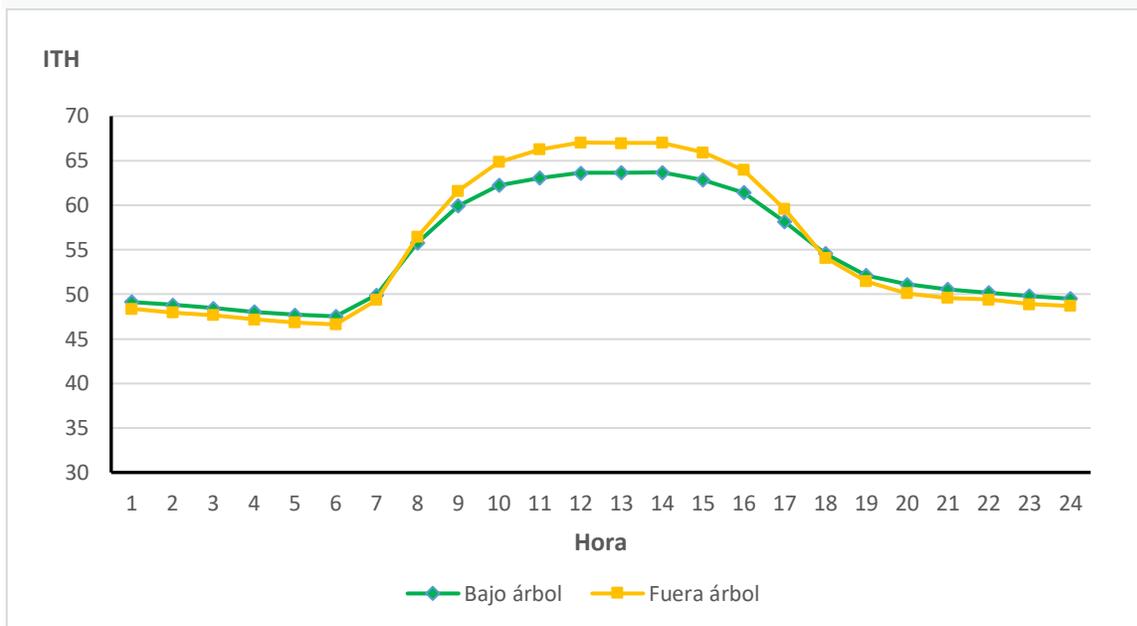


Menor de temperatura

El estrés calórico en los animales no solo se produce por la temperatura, otras variables como la humedad relativa (Da Silva 2006; Hahn et al., 2003) afectan los mecanismos de termorregulación del animal (Renaudeau, 2005), una herramienta que permite identificar condiciones de estrés calórico es el índice temperatura humedad (ITH), comúnmente se determina un promedio diario o mensual, pero las condiciones meteorológicas cambian drásticamente durante el día en los ecosistemas tropicales.

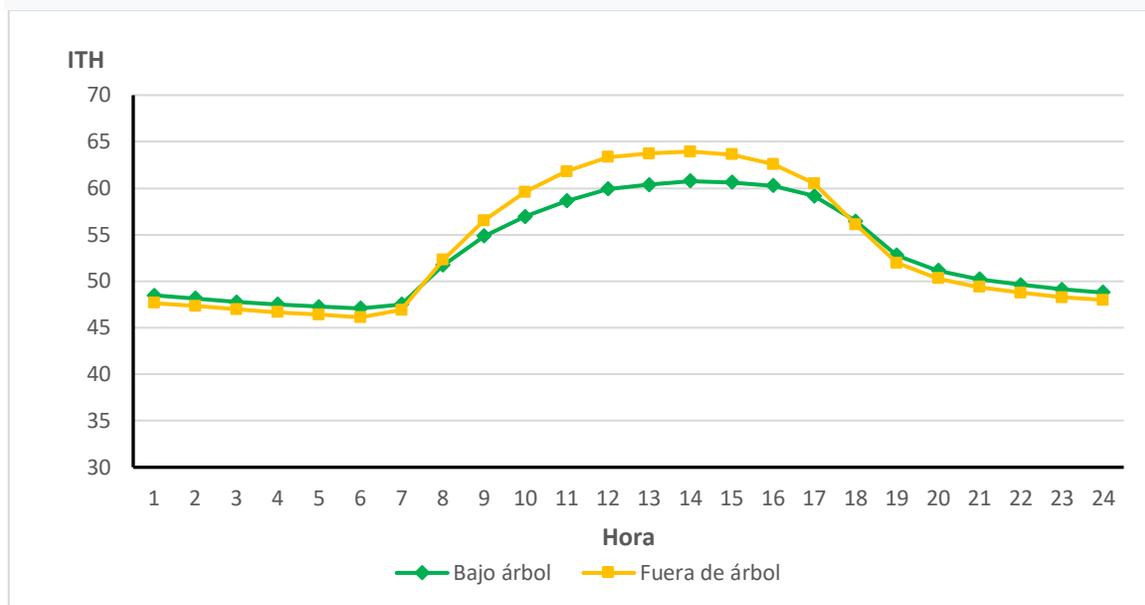
Se reportan diferentes escalas para analizar el ITH, se considera normal (menor a 70), alerta (71 – 78), peligro (79-83) y emergencia (83 o más) (Johnson, 1994; Zimbelman y Collier, 2011: citado en Roger; Toffoli et al., 2016), mientras que para condiciones tropicales se ha realizado un ajuste del ITH, donde a partir de 65 se considera que los animales están en estrés por calor y valores inferiores a 56 en estrés por frío, ya que a partir de estos valores se inicia la reducción de la productividad de los animales (Morales y WingChing, 2020).

Se encontró en la zona de Suesca que durante las horas más frías del día el ITH es mayor bajo la copa de los árboles, mientras que en las horas más calurosas del día el ITH bajo los árboles es menor (figura 5-3).



**Figura 5-4.** Índice temperatura humedad (ITH) cada hora bajo y fuera de la copa de árboles en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en Suesca (Cundinamarca).

Este mismo comportamiento se observó en la zona de Alisal (figura 5-4).



**Figura 5-5.** Índice temperatura humedad (ITH) cada hora bajo y fuera de la copa de árboles en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).

Se presentaron diferencias en el índice temperatura humedad (ITH) de cada hora del día entre bajo la copa de los árboles y fuera de los árboles (tabla 5-7), igualmente se presenta las horas del día donde los animales pueden estar en estrés calórico en ambos ambientes. Se encontró según los datos de ITH, que en promedio los animales en condiciones climáticas de trópico alto pueden estar 8 horas al día en estrés calórico en áreas fuera de la copa de los árboles, mientras que bajo la copa de los árboles podrían estar una hora en estrés leve.

Durante el día las condiciones climáticas varían, incluso entre zonas de una misma región, por condiciones locales que pueden modificar el clima. Los árboles en todos los agroecosistemas generan microclimas que reducen el estrés calórico acercando a los animales a su rango de termoneutralidad o zona confort. Se encontraron diferencias en el índice temperatura humedad medio (ITHmd), máximo (ITHmax) y mínimo (ITHmin), bajo la copa de los árboles y fuera de los árboles en las dos zonas de estudio (tabla 5-8).

**Tabla 5-7.** Comportamiento del índice temperatura humedad (ITH) durante el día bajo y fuera de la copa de árboles, indicador de estrés térmico en animales, en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

Hora	Fuera árbol (ITH)	Bajo árbol (ITH)	p valor	
0	38	40	< 0.0001	
1	38	40	< 0.0001	
2	37	39	< 0.0001	
3	36	38	< 0.0001	
4	34	36	< 0.0001	
5	34	36	< 0.0001	
6	35	37	0.0003	
7	64	63	0.0015	Emergencia (ITH= 83 o más)
8	68	66	< 0.0001	
9	73	69	< 0.0001	Peligro (ITH= 79-83)
10	73	69	< 0.0001	
11	75	70	< 0.0001	Alerta (ITH= 71-78)
12	74	71	< 0.0001	
13	76	70	< 0.0001	Normal (ITH= 70)
14	75	69	< 0.0001	
15	73	69	< 0.0001	
16	69	67	< 0.0001	
17	49	50	0.0153	
18	47	48	< 0.0001	
19	44	45	< 0.0001	
20	42	44	< 0.0001	
21	41	43	< 0.0001	
22	40	42	< 0.0001	
23	39	41	< 0.0001	

**Tabla 5-8.** Índice temperatura humedad (ITH) promedio, mínimo y máximo, bajo y fuera de la copa de árboles, variabilidad térmica en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal y Suesca (Cundinamarca).

	Alisal			Suesca		
	Bajo árbol	Fuera árbol	p valor	Bajo árbol	Fuera árbol	p valor
ITHmd	53	54	<0.0001	54	55	0.0001
ITHmax	67	72	<0.0001	69	73	<0.0001
ITHmin	43	40	<0.0001	42	40	0.0001
DE	5.7	7.5		6.9	8.4	
CV	10.8	13.9		12.6	15.1	

Se encontró bajo condiciones de trópico alto que en las áreas fuera de los árboles los animales están en estrés por calor todos los meses del año, mientras que bajo la copa de los árboles están dos meses (tabla 5-9).

Los resultados muestran las condiciones climáticas presentes en las zonas de estudio y las condiciones microclimáticas bajo la copa de los árboles que favorecen la reducción del estrés climático (por frío y calor) de los animales en la zona, en las horas más frías los sistemas silvopastoriles generan un ambiente 0.5°C mayor que las áreas abiertas, mientras que en las horas más calurosas bajo la copa de los árboles se encuentran temperaturas de hasta 2.6°C menos, lo que permitiría a los animales estar dentro o cerca de su zona de termoneutralidad, los sistemas silvopastoriles permiten la adaptación de los animales a la variabilidad térmica que se presenta durante el día. Las condiciones climáticas varían entre los meses del año, se encontró como a pesar de esta variabilidad, los sistemas con árboles permiten la reducción del estrés en los animales, lo que favorece la producción y calidad de leche durante todo el año y reduce el impacto del estrés calórico sobre la eficiencia reproductiva de los animales.

Los sistemas de lechería especializada presentan alta vulnerabilidad a las condiciones climáticas, su genética se basa en razas europeas de animales especializados que tienen rangos de termoneutralidad que van de 0°C a 20°C (Cowan et al., 1993), con el incremento de la variabilidad climática y los nuevos escenarios climáticos los modelos convencionales pueden ver reducido fuertemente el potencial productivo de sus animales, la reducción de la producción de leche se presenta por condiciones extremas por frío o calor (Arias et al., 2008; Ruiz et al., 2019; González y Wing Ching, 2018).

**Tabla 5-9.** Índice temperatura humedad (ITH) mínimo y máximo mensual, bajo y fuera de la copa de árboles, variabilidad térmica en sistemas de lechería especializada de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

Mes	Fuera árbol		Bajo árbol	
	ITHmin	ITHmax	ITHmin	ITHmax
Enero	36	74	39	67
Febrero	37	74	41	67
Marzo	34	75	32	73
Abril	39	74	35	70
Mayo	42	73	42	72
Junio	41	73	39	69
Julio	41	73	42	68
Agosto	39	72	37	69
Septiembre	40	73	35	70
Octubre	40	73	39	69
Noviembre	40	78	41	70
Diciembre	40	72	44	66

 Emergencia (ITH= 83 o más)

 Peligro (ITH= 79-83)

 Alerta (ITH= 71-78)

 Normal (ITH= 70 o menos)

El estrés calórico afecta la producción y calidad composicional de la leche (Leyva et al., 2015; Morales y WingChing, 2020), por ejemplo, se ha encontrado reducción de la producción de leche de 570 ml/animal/día cuando presentó un ITH por debajo 56 (Morales y WingChing, 2020). Igualmente, reduce la ganancia de peso de los animales de reemplazo (Arias et al., 2008), generando incremento en los costos de producción y reduciendo los ingresos al disminuir la cantidad de leche vendida, aun en las épocas de producción de forraje, ya que animales bajo estrés reducen el consumo de materia seca. Se estima que las pérdidas asociadas al estrés calórico sobre la producción de leche son cuantiosas (Ruiz et al., 2019).

Igualmente se ha determinado que el estrés calórico ocasiona la reducción en la eficiencia reproductiva (Montiel et al., 2019; Ruiz et al., 2019; González y Wing Ching, 2018; Vélez y Uribe, 2010; Castaño et al., 2014; Honig et al., 2016), existen varios procesos que afectan la producción o concentración de hormonas de la reproducción, la hipertermia generada en el estrés por calor lleva a la reducción del consumo de materia seca y prolonga el período de balance energético negativo que presentan las vacas de primera fase de lactancia (Rensis y Scaramuzzi, 2003). Igualmente, el estrés por frío lleva a que los animales tengan mayor gasto

energético para termorregularse, incrementando la movilización grasa y reduciendo la condición corporal, lo que igualmente prolonga el balance energético negativo posparto (Córdova et al., 2009).

## **5.4 Conclusiones**

En este estudio no se observaron los beneficios de los árboles sobre la propiedades físico-químicas, microbiológicas y la macrofauna bajo el suelo de la copa, posiblemente por las especies evaluadas o la corta edad que tuvo la mayoría de los árboles del estudio.

La producción del forraje bajo la copa de los árboles de las especies evaluadas fue similar al de las áreas abiertas, lo que permite incrementar la cobertura arbórea en las áreas de pastoreo sin reducir la producción de forraje disponible para los animales. El incremento de la cobertura arbórea en las áreas de pastoreo con una distribución homogénea contribuye a mejor estructura agroecológica de las fincas a partir de la biodiversidad estructural y funcional, lo que aporta a incrementar la adaptación y resiliencia de los sistemas a eventos climáticos extremos.

El microclima generado bajo los árboles reduce las condiciones de estrés término que se presentan en la zona para los animales, estas condiciones se dan en algunos momentos del día y durante todo el año, aunque la magnitud varía en algunos meses o épocas. Los árboles permiten la adaptación de los animales a estas condiciones al mantenerlos dentro o cerca de su zona de termoneutralidad, lo que permite mejorar la eficiencia productiva y reproductiva.

## **5.5 Bibliografía**

Ainsworth, J; Moe, S; Skarpe, C. 2012. Pasture shade and farm management effects on cow productivity in the tropics. *Agric. Ecosyst. Environ.* 155: 105 – 110.

Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45, (2):107.

Altieri, M; Nicholls, C. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología y cambio climático metodologías para evaluar la resiliencia socio-ecológica en comunidades rurales. REDAGRES – CYTED.* Lima, Perú. 7- 20 p.

Anderson, J; Ingram, J. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods.* CAB international Volumen 1 en: <http://www.jstor.org/stable/2261129?origin=crossref>

Arias, R; Mader, T; Escobar, P. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivo de Medicina Veterinaria*. 40 (1): 7-22.

Barragán, W; Cajas, Y. 2019. Cambios bromatológicos y estructurales en *Megathyrus maximus* bajo cuatro arreglos silvopastoriles. *Rev Cienc Tecnol Agropecuaria* 20(2):231-244.

Cañas, R; Quiroz, R; Leon-Velarde, C; Posadas, A; Osorio, J. 2003. Quantifying energy dissipation by grazing animals in harsh environments. *J TheorBiol* 225:351-359.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. 2006. Diagnóstico prospectiva y formulación de la Cuenca hidrográfica de los ríos Ubate y Suárez. Bogotá, 308 p.

Castaño, F; Rugeles, C; Betancur, C; Ramírez, C. 2014. Impacto del estrés calórico sobre la actividad reproductiva en bovinos y consideraciones para mitigar sus efectos sobre la reproducción. *Revista Biosalud*. 13 (2): 84-94.

Córdova, A; Murillo, A; Castillo, H. 2009. Efecto de factores climáticos sobre la conducta reproductiva bovina en los trópicos. *Revista electrónica de Veterinaria* 11(1):1-12.

Cowan, RT; Moss, RJ; Kerr, DV. 1993. Northern dairy feed base, summer feeding systems. *Tropical Grasslands* 27:150-161.

Cuartas, C; Naranjo, J; Tarazona, A; Murgueitio, E; Chará, J; Vera, J; Solorio, F; Flores, M; Sánchez, B; Barahona, R. 2014. Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Rev Colomb Cienc Pecu* 27:76-94.

Da Silva, R. 2006. Weather and climate and animal production. In: Update of the guide to agricultural meteorological practices. WMO-No.134 published in 1982.

Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Escobar, M; Navas, A; Medina, C; Corrales, J; Tenjo, A; Borrás, L. 2020. Efecto de prácticas agroecológicas sobre características del suelo en un sistema de lechería especializada del trópico alto colombiano. *Livestock Research for Rural Development*. 32(4).

Esquivel, H. 2007. Tree resources in traditional silvopastoral systems and their impact on productivity and nutritive value of pastures in the dry tropics of Costa Rica. Tesis de PhD. CATIE, Costa Rica. 161 p.

Folke, C; Carpenter, S; Walker, B; Scheffer, M; Chapin, T; Rockstrom, J. 2010. Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology And Society*. 15:9.

Gaughan, J; Lacetera, S; Valtorta, H; Khalifa, L; Hahn, L; Mader, T. 2009. Response of Domestic Animals to Climate Challenges. In: Ebi L, Burton I, McGregor GR, editors. *Biometeorology for adaptation to climate variability and change*. New Zeland: Springer p.131-170.

Giraldo, C; Escobar, F; Chará, J; Calle, Z. 2011. The adoption of silvopastoral systems promotes the recovery of ecological processes regulated by dung beetles in the Colombian Andes. *Insect Conserv Divers* 4:115-122.

Gómez, M; Navarro, M; Pérez, C. 2016. Evaluación de la frecuencia de corte del pasto guinea mombaza (*Megathyrus maximus*, Jacq), en condiciones de sol y sombra natural en el municipio de Sampués, Sucre-Colombia. *Rev Colombiana Cienc Anim* 8(Supl):283-292

González, J; Wing Ching, R. 2018. Producción y reproducción de vacas Holstein, Jersey y sus cruces en cinco localidades de Costa Rica. *UNED Research Journal*. 10 (2): 422-427.

González, M; Carrillo, R; Pinochet, D. 2015. Escarabajos estercoleros nativos en Chile: una revisión con énfasis en su ecología. *Agrosur* 43:9-20.

Guevara, L; Polania, Y; Pardo, J; Piñeros, R. 2013. Preferencia trófica de coleópteros coprófagos en dos usos del suelo en zonas de bosque seco tropical. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 26: suplemento.

Hahn, G. (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science* 77(2):10-20. doi: 10.2527/1997.77suppl\_210x

Hahn, G; Mader, T; Eigenberg, R. 2003. Perspectives on development of thermal indices for animal studies and management. *Proc Symp Interactions between climate and animal production, EAAP, Technical series N° 7*, p 31-44.

Honig, H; Ofer, L; Kaim, M; Jacobi, S; Shinder, D; Gershon, E. 2016. The effect of cooling management on blood flow to the dominant follicle and estrous cycle length at heat stress. *Theriogenology*. 86 (2): 626-634.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. 2013. Guía de muestreo. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 8p. <https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/guiademuestreo.pdf>

IPCC. 2007. Climate change: impacts, adaptation and vulnerability –summary for policymakers Contribución del Grupo de Trabajo II al Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. Cuarta Evaluación. Ginebra.

Jarvis, A; Touval, J; Castro, M; Sotomayor, L; Graham, G. 2010. Assessment of threats to ecosystems in South America. *J Nat Conservat* 18:180-188.

Johnson, H.D. 1994. Animal physiology. In *Handbook of Agricultural Meteorology*. Ed. John Griffiths, New York.

Leyva, J. C; Armenta, C; Zamorano, A; Thomas, M; Rincon, G; Medrano, J; Rivera, A; Reyna, G; Luna, N. 2015. Variables climáticas asociadas a la producción de leche en vacas Holstein criadas bajo condiciones de estrés por calor del Valle del Yaqui, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. 11 (1): 1-11.

Maldonado, J; Ramírez, G. 1997. Efecto de la inoculación con hongos micorrizógenos en almácigos de café (*coffea arábica*) Variedad Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Tesis, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín. p. 3 – 83.

Mbow, C; Van Noordwijk, M; Luedeling, E; Neufeldt, H; Minang, P; Kowero, G. 2014. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 6:61–67.

McDowell, RW. *Environmental impacts of pasture-based farming*. London (UK): CAB International; 2008.

Medina, C. 2019. Escarabajos coprófagos, dinámica del suelo y cambio climático; Buena triada hacia la sostenibilidad del paisaje ganadero. En *Primer Seminario Nacional de Conservación de Suelo y Agua en Sistemas Agropecuarios*. CAR. Bogotá.

Molina, M; Mahecha, L; Medina, M. 2005. Importancia del manejo de hongos micorrizógenos en el establecimiento de árboles en sistemas silvopastoriles. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 18 (2): 162 – 175.

Montiel, L; Estrada, E; Espinosa, M; Mellado, M; Hernández, J; Martínez, G; Vera, H. 2019. Factores de riesgo a nivel de establo asociados con el desempeño reproductivo en el sistema

de producción de leche a pequeña escala en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 10 (3): 676-691.

Morales, C; WingChing, J. 2020. Condiciones climáticas y la producción láctea del ganado jersey en dos pisos altitudinales. *Agronomía Mesoamericana* 31(1):157-176.

Murgueitio, E; Calle, Z; Uribe, F; Calle, A; Solorio, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecol Manag* 261:1654-1663.

Nahed, J; Sanchez, B; Mena, Y; Ruiz, J; Aguilar, R; Castel, J; Ruiz, F; Orantes, M; Manzur, A; Cruz, J; Delgadillo, C. 2013. Feasibility of converting agrosilvopastoral systems of dairy cattle to the organic production model in southeastern Mexico. *Journal of Cleaner Production*. 43: 136 -145.

Navas, A. 2019. Bancos forrajeros de *Moringa oleifera*, en condiciones de bosque húmedo tropical. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 20(2):207-218.

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: 113:122.

Navas, A; Aragón, F; Triana, J. 2020. Efecto del componente arbóreo sobre la dinámica de crecimiento y calidad nutricional de una pradera mixta en trópico alto. *Revista de medicina veterinaria* 41 (1).

Navas, A; Montaña, V. 2019. Comportamiento de *Tithonia diversifolia* bajo condiciones de bosque húmedo tropical. *Rev Inv Vet Perú* 2019; 30(2): 721-732. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i2.15066>

Obispo, N; Espinoza, Y; Gil, J; Ovalles, F; Rodríguez, M. 2008. Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximum*) en un sistema silvopastoril. *Zootecnia tropical* 26(3):285-288.

Ocampo, J; Andresen, E. 2018. Interacciones entre semillas y escarabajos del estiércol (scarabaeinae) en un bosque tropical seco. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 21:24-33.

Oliva, M; Valqui, L; Meléndez, J. 2018. Influencia de especies arbóreas nativas en sistemas silvopastoriles sobre el rendimiento y valor nutricional de *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens*. *Scientia Agropecuaria* 9(4):579-583.

Oyhantçabal, W; Vitale, E; Lagarmilla, P. 2010. El cambio climático y su relación con las enfermedades animales y la producción animal. En: Compendio de los temas técnicos presentados ante la Asamblea mundial de los delegados o a las Comisiones regionales de la OIE-2009, Paris: Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) 169-177 p.

Paciullo, D; de Castro, C; Gomide, C; Maurício, R; Pires, M; Müller, M; Xavier, D. 2011. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livestock Sci.* 141: 166 – 172.

Pérez, N. 2011. Rasgos funcionales nutricionales de especies leñosas en sistemas silvopastoriles y su contribución a la sostenibilidad de la ganadería bovina en la época seca en el departamento de Rivas. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 123 p.

Renaudeau, D. 2005. Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Caribbean (Creole) restrictively-fed growing pigs. *Anim Res.* 54:81-93.

Renda, A. (2006). Papel de los sistemas agroforestales en el escenario agrario de las cuencas hidrográficas de Cuba. *Pastos y Forrajes.* 29:351.

Rensis, F; Scaramuzzi, R. 2003. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow. *Theriogenology* 60(6):1139-1151.

Rivera, L; Armbrecht, I; Calle, Z. 2013. Silvopastoral systems and ant diversity conservation in a cattle-dominated landscape of the Colombian Andes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 181: 188– 194.

Rodríguez, F. 2011. Efecto de los árboles aislados sobre características del suelo en sistemas silvopastoriles en Rivas, Nicaragua. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 77 p.

Roger, M. C. (2017). El estrés calórico afecta el comportamiento reproductivo y el desarrollo embrionario temprano en bovinos. *Nutrición Animal Tropical*, 11(1), 1-15. <http://dx.doi.org/10.15517/nat.v11i1.28280>

Romero, D; Echevarría, R; Trillo, Z; Hidalgo, L; Aguirre, T; Robles, R; Núñez, D. 2020. Efecto del faique (*Acacia macracantha*) sobre el valor nutricional del pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.) en un sistema silvopastoril. *Rev Inv Vet Perú* 31(1):1-9.

Rousseau, L; Fonteb, S; Téllez, O; Van der, R; Lavelle, P. 2013. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecological Indicators* 27: 71–82.

Rueda, O; Cuartas, C; Naranjo, J; Córdoba, C; Murgueitio, E; Anzola H. 2011. Comportamiento de variables climáticas durante estaciones secas y de lluvia, bajo influencia del ENSO 2009-2010 (El Niño) y 2010-2011 (La Niña) dentro y fuera de sistemas silvopastoriles intensivos en el Caribe seco de Colombia. *Rev Colomb Cienc Pecu* 24:512.

Ruiz, J; Vargas, L; Abarca, M; Hidalgo, H. 2019. Efecto del estrés calórico sobre la producción del ganado lechero en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 30 (3): 733-750.

Sáenz, J; Villatoro, F; Ibrahim, M; Fajardo, D; Pérez, M. 2007. Relación entre las comunidades de aves y la vegetación en agropaisajes dominados por la ganadería en Costa Rica, Nicaragua y Colombia. *Agroforestería en las Américas* 45:37-48

Sánchez, S. 2007. Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* Jacq. y en un sistema silvopastoril de *P. maximum* y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Tesis PhD. Instituto de Ciencia Animal. Cuba. 124 p.

Sánchez, S; Hernández, M. 2011. Comportamiento de comunidades de lombrices de tierra en dos sistemas ganaderos. *Pastos y Forrajes*. 34 (3): 359-366.

Sanchez, J; Mena, Y; Ruiz, J; Aguilar, R; Castel, J; Ruiz, F, Orantes, M..... 2013. Feasibility of converting agrosilvopastoral systems of dairy cattle to the organic production model in southeastern Mexico. *Journal of Cleaner Production* 43:136-145.

Semarnat. 2009. Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. Ciudad de México: Serie ¿Y el medio ambiente? En: [https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio\\_climatico\\_09-web.pdf](https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio_climatico_09-web.pdf)

Sousa, L; Maurício, R; Moreira, G; Gonc, L; Borges, I; Pereira, L. 2010. Nutritional evaluation of *Braquiarão* grass in association with *Aroeira* trees in a silvopastoral system. *Agrofor. Syst.* 79: 179 – 189.

Souza, M. 2003. Contribution of tree to the control of heat stress in dairy cows and the financial viability of livestock farms in humid tropics. Tesis de PhD. CATIE, Costa Rica. 47 p.

Toffoli, G; Leva, P; Ghiano, E; Fernandez, G; Sosa, J; García, M; Taverna, M; Walter, E. 2016. Mitigación del estrés calórico durante el parto en vacas lecheras. *Fave. Sección Ciencias Agrarias*, 15(2):83-98.

Vallejo, V; Roldán, F; Arbeli, Z; Terán, W; Lorenz, N; Dick, R. 2012. Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and

enzymatic activities in silvopastoral systems of Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 150:139-148.

Vallejo, V. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*. 16 (1): 83 – 99.

Velarde, L. 2012. Evaluación de la percepción y los factores determinantes en la implementación de medidas de adaptación al cambio y variabilidad climática por los productores de leche de la cuenca del río La Villa, Panamá. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 94 p.

Vélez, M; Uribe, L. 2010. ¿Cómo afecta el estrés por calor la reproducción? *Biosalud*. 9 (2): 83-95.

## **6. Resiliencia socioecológica a la sequía de sistemas de lechería especializada en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto. Caso Alisal y Suesca (Cundinamarca – Colombia).**

### **Resumen**

La resiliencia socioecológica a la sequía está determinada por múltiples factores biológicos, sociales, económicos, políticos y ambientales. El objetivo de este trabajo fue determinar la resiliencia socioecológica de diferentes tipos de sistemas de lechería especializada de pequeños productores, en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto. El estudio se desarrolló en los municipios de Carmen de Carupa y Suesca (Cundinamarca), se seleccionaron 16 fincas de producción de leche con diferentes sistemas de producción, convencional pequeña escala, convencional en transformación, orgánico y agroecológico, se evaluaron participativamente con productores indicadores para determinar la sensibilidad de los recursos naturales a sequía, igualmente indicadores agroecológicos para determinar la capacidad de resiliencia y se determinó el índice general de resiliencia a la sequía para los tipos de sistemas, se realizó análisis de conglomerados mediante el programa Infostat®. La resiliencia socioecológica a la sequía varió entre tipos de sistemas, presentó mayor resiliencia el agroecológico (1.25: está cerca de evidenciar capacidades de resiliencia), luego algunos convencionales en transición y orgánico (0.94 – 1.09: están avanzando hacia un estado de resiliencia), seguido por otros sistemas convencionales en transición y orgánicos (0.75-0.84: están avanzando hacia un estado de resiliencia), luego con menor resiliencia sistemas convencionales pequeña escala (0.62-0.65: están iniciando la transformación hacia capacidades de resiliencia) y finalmente un sistema convencional pequeña escala (0.49: está en el umbral de resiliencia a sequias). La reconversión de sistemas convencionales de producción de leche hacia sistemas ganaderos agroecológicos incrementa la resiliencia socioecológica a la sequía, en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca).

**Palabras clave:** agroecología, cambio climático, ganadería, sistemas de producción

### **Abstract**

Socio-ecological resilience to drought is determined by multiple biological, social, economic, political and environmental factors. The objective of this research was to determine the socio-ecological resilience of different types of specialized dairy systems of small producers, in strategic environmental zones of the high tropics. The study was developed in the municipalities of Carmen de Carupa and Suesca (Cundinamarca), 16 milk production farms

were selected with different production systems, conventional small scale, conventional in transformation, organic and agroecological, indicators were evaluated participatory (producers) to determine the sensitivity of natural resources to drought, also agroecological indicators to determine the resilience capacity and the general index of resilience to drought was determined for the types of systems, a cluster analysis was carried out using the Infostat® program. Socio-ecological resilience to drought varied between types of systems, the agroecological one presented greater resilience (1.25: it is close to showing resilience capacities), then some conventional in transition and organic (0.94 - 1.09: they are advancing towards a state of resilience), followed by other conventional systems in transition and organic (0.75-0.84: they are advancing towards a state of resilience), then with less resilience, small-scale conventional systems (0.62-0.65: they are initiating the transformation towards resilience capacities) and finally a conventional system small-scale (0.49: it is on the threshold of drought resilience). The reconversion of conventional milk production systems towards agroecological livestock systems increases socio-ecological resilience to drought, in environmentally strategic areas of the high tropics (Cundinamarca).

**Keyword:** agroecology, climate change, livestock, production systems

## 6.1 Introducción

En la actualidad se presentan cambios en las condiciones climáticas en diversos agroecosistemas, se registra un incremento en la frecuencia de fenómenos meteorológicos como huracanes, sequías o lluvias torrenciales que causan inundaciones, incluso se hace mención de como las condiciones climáticas naturales como la estacionalidad de las lluvias o la sequía en los ecosistemas tropicales cada vez son más drásticas, afectando la disponibilidad de agua para las diversas actividades del hombre. Se espera que esta condición climática empeore, afectando la seguridad (FAO, 2008) y soberanía de las naciones, igualmente las predicciones climáticas mencionan que los efectos llegaran a todos los agricultores, pero los pequeños productores y campesinos serán los más afectados (Altieri y Nicholls, 2008; Lorente, 2010).

Se han descrito cómo diferentes actividades que realiza el hombre han incrementado el proceso de calentamiento global a partir del aumento de emisiones de gases con efecto invernadero y con ello el cambio climático. En gran medida los modelos tecnológicos utilizados en la agricultura hacen aportes importantes de estos gases, además de generar otros problemas ambientales como la contaminación de las fuentes hídricas y del suelo con agroquímicos (Solomon et al., 2007), la degradación de ecosistemas estratégicos (Bohórquez et al., 2011) y la pérdida acelerada del potencial productivo del suelo, favorecida por procesos de deforestación y quemas que simplifican los agroecosistemas llevando a la pérdida de la biodiversidad y de servicios ecosistémicos (Hall et al, 2011; Sanfiorenzo, 2008).

Es común que se culpe a la actividad ganadera de la degradación de los ecosistemas, otros problemas ambientales y del cambio climático, pero quizá la ganadería es uno de los últimos eslabones de la cadena de una serie de eventos motivados, impulsados y financiados por un modelo de desarrollo económico promovido globalmente que busca la concentración de la riqueza en algunas industrias consideradas como la base de la propuesta tecnológica de hacer agricultura, los agroquímicos y en general el modelo de revolución verde. Esta forma de hacer agricultura no beneficia económicamente a los agricultores, ya que los costos de los insumos y en general de producción son altos, los productores tienen alta vulnerabilidad no solo a las condiciones climáticas, también a la volatilidad de los mercados que afecta negativamente el costo de los insumos.

El cambio de uso del suelo de los ecosistemas de páramo inicialmente se hizo a diversos cultivos como el trigo y la cebada, los cuáles por situaciones políticas, económicas y otras dinámicas territoriales que afectaron su rentabilidad fueron reconvertidos a cultivos de papa, arveja, hortalizas, entre otros (DANE, 2020), todos desarrollados principalmente por el modelo de agricultura convencional, en su mayoría todos presentaron los mismos problemas económicos, sumado a los cambios en la condición climática donde cada vez el recurso hídrico es más limitante. En la actualidad se ha presentado un cambio de uso del suelo a sistemas de producción de lechería especializada, también basado en las prácticas convencionales, lo que refleja un cambio cultural en los productores y la pérdida de conocimientos y saberes ancestrales, fomentado históricamente por las políticas públicas a través de las instituciones de asistencia técnica y desarrollo, generando cambios culturales en el territorio (Chaves, 2011; Cubillos, 2011).

Comúnmente los sistemas de producción ganadera presentan manejo extensivo, en muchos casos por limitaciones económicas (últimos eslabones de la cadena) y en otras por aspectos culturales en la forma de desarrollar esta actividad. Actualmente los sistemas de lechería especializada presentan alta vulnerabilidad a las condiciones de variabilidad y cambio climático, no solo por el modelo tecnológico, también por las dinámicas sociales, económicas y políticas, las cuales deben ser consideradas al momento de establecer acciones que permitan incrementar la adaptación y la resiliencia de los sistemas ganaderos.

La agroecología entendida como ciencia, técnica y movimiento social, incrementa la resiliencia socioecológica de los agroecosistemas, ya que actúa sobre múltiples aspectos biológicos, sociales, políticos y ambientales. Permite el diseño de sistemas sostenibles con características de adaptación y mitigación del cambio climático (Murgueitio et al., 2011; Altieri et al., 2015), a partir de la generación de tecnologías locales basadas en el intercambio de saberes ancestrales, locales y científicos.

Este enfoque demanda nuevas aproximaciones para determinar la vulnerabilidad y resiliencia que presentan los sistemas de producción ante eventos climáticos en el territorio (Steinfeld et al., 2009; Jarvis et al., 2010), ya que las dinámicas que se presentan en diferentes dimensiones (social, económica, política, etc), influyen directa o indirectamente en el grado de resiliencia socioecológica.

Vázquez et al., (2019), propone una aproximación sistémica, holística e integral a partir de identificar la vulnerabilidad de los ecosistemas frente a eventos climáticos o meteorológicos y la capacidad de resiliencia del mismo ante estos impactos. El grado de resiliencia se define mediante el índice general de resiliencia (IGR), el cual se construye a partir de la sensibilidad de los recursos naturales (SRN) que determina la vulnerabilidad del agroecosistema y la capacidad de resiliencia (CR) que determina la respuesta, adaptación o resistencia al evento.

El objetivo de este trabajo fue determinar la resiliencia socioecológica de sistemas de lechería especializada de pequeños productores, ubicados en Alisal y Suesca (Cundinamarca).

## **6.2 Materiales y métodos**

El estudio se desarrolló en los municipios de Carmen de Carupa (vereda Alisal) (N5° 19.956' W73° 51.574') y Suesca (N 05°11.249' W073°45.438'), departamento de Cundinamarca. Se seleccionaron 16 fincas de producción de leche de pequeños productores, todas ubicadas entre los 2900 y 3100 m s. n. m., zona considerada como estratégica ambientalmente por las relaciones hídricas que se presentan y por la pérdida histórica de suelo debida a la degradación de los ecosistemas naturales a partir del cambio de uso del suelo a diferentes actividades agropecuarias en zonas de moderadas pendientes.

Carmen de Carupa presenta una precipitación promedio anual de 610 mm, temperatura media anual de 14 °C humedad relativa de 65 %, mientras que Suesca registra una precipitación promedio anual de 734 mm, temperatura media anual de 14 °C y humedad relativa de 72 % (CAR, 2006).

Los animales evaluados en los sistemas productivos fueron de raza Holstein, algunos cruces con Jersey y normando. Las fincas realizaron doble ordeño sin apoyo de la cría, algunas en potrero y otras en establo, igualmente algunas de forma manual y otras mecánico. En Alisal la leche es recogida y almacenada en tanque de frío (asociación), mientras que en Suesca es recogida (caliente) en finca después de cada ordeño. Todas las fincas pueden ser categorizadas como sistemas de lechería especializada, el objetivo productivo es la producción y venta de leche, las crías machos son vendidas después del nacimiento y solo se levantan las hembras como remplacements, la mayoría de los productores están afiliados a asociaciones de

comercialización de leche de la zona, igualmente en las fincas se lleva a cabo protocolos de rutina de ordeño, aunque existen falencias en algunos sistemas.

En cada zona se identificaron sistemas de producción de leche de pequeños productores que realizaran diferentes prácticas dentro de su proceso productivo, la identificación se realizó con ayuda de las asociaciones de ganaderos, visita y entrevista con los productores, y con funcionarios de la Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR) quienes adelantan trabajos con los productores desde hace varios años. Los predios seleccionados cumplieron con criterios preestablecidos según prácticas (agroecológicas y convencionales) identificadas en la zona de estudio (tabla 6-1), interés de los productores por participar (intercambio de saberes), tomar y compartir información.

**Tabla 6-1.** Prácticas agroecológicas y convencionales utilizadas en agroecosistemas de producción de leche, en el trópico alto.

<b>Prácticas agroecológicas en sistemas ganaderos</b>	<b>Prácticas convencionales</b>
Zanjas de infiltración	Aplicación de plaguicidas químicos
Descompactación del suelo con cincel	Uso de herbicidas
Pastoreo rotacional	Aplicación de fertilizantes químicos
Uso de albendazoles o levamisoles	Pastoreo continuo o alterno
Praderas polifíticas (gramíneas - leguminosas)	Utilización de implementos que invierten el prisma del suelo
Incorporación de abonos orgánicos;	Aplicación de ivermectinas
Incorporación de abonos verdes	Pastura en monocultivo (monofíticas)
Especies forrajeras tolerantes a eventos climáticos	Alta suplementación con balanceados comerciales
Conservación de forrajes	
Suplementación con residuos de cosecha	
Sistemas silvopastoriles	

Se definieron cuatro categorías que abarcan sistemas convencionales, en transición y agroecológicos, la asignación de las fincas seleccionadas se realizó dependiendo del tipo de prácticas convencionales y el número de prácticas agroecológicas que el sistema utilizará (tabla 6-2), de tal manera que los sistemas convencionales pequeña escala (CPE) presentaron prácticas convencionales y hasta cinco tipos de prácticas agroecológicas, los sistemas convencionales en transición (CET) algunas prácticas convencionales y de cinco a siete prácticas agroecológicas, los sistemas orgánicos (O) no utilizaron agroquímicos, presentaron siete o más prácticas agroecológicas y tuvieron un enfoque más de sustitución de productos agroquímicos, mientras que el sistema agroecológico (A) no utilizó prácticas convencionales, presentó alta diversidad funcional y estructural y mínimo ocho prácticas agroecológicas .

El estudio tuvo una duración de 20 meses, seis de conocimiento de la zona, interacción con diferentes actores del territorio y selección de fincas, posteriormente 14 meses de evaluación de los sistemas en los cuales se establecieron relaciones y lasos de confianza con los productores que permitieron realizar un proceso de investigación participativa e intercambio de saberes, se realizaron varias visitas a los predios en las cuales se diligenció una encuesta semi-estructurada que permitió entender las dinámicas y procesos internos de cada finca, además de evaluar diferentes variables que sustentaron y argumentaron la calificación otorgada a un pool de indicadores (anexos 6.6.1, 6.6.2, 6.6.3 y 6.6.4) utilizados en la evaluación de la resiliencia socioecológica de cada uno de los predios (Vázquez et al., 2019).

**Tabla 6-2.** Clasificación de sistemas de producción de leche de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Alisal y Suesca, Cundinamarca)

<b>Tipo de sistema</b>			
<b>Convencional pequeña escala (CPE)</b>	<b>Convencional en transformación (CET)</b>	<b>Orgánico (O)</b>	<b>Agroecológico (A)</b>
Pino-CPE	Bosque-CET	Apocentos-O	Estancia-A
Pinos-CPE	Triunfo-CET	Esperanza-O	
Quinta-CPE	Leticia-CET	San José-O	
Golondrina-CPE	Triangulo-CET		
Don Camilo-CPE	Delicias-CET		
Rosal-CPE	Satiavan-CET		

Para entender cuáles son los fenómenos climáticos que afectan los sistemas de producción de leche se analizó la información histórica de la temperatura, humedad relativa y precipitación de 21 estaciones meteorológicas (tabla 4-1) de la red climatológica del Instituto de Estudios Ambientales, Meteorología e Hidrología (IDEAM, 2020), ubicadas en los municipios de Carmen de Carupa, Suesca y otros municipios aledaños (Cundinamarca). Se recopilaron datos de la zona desde el año 1930 hasta el 2017, la información fue organizada y procesada por década para analizar posibles tendencias o cambios en las variables evaluadas. Con los datos registrados se determinó el índice temperatura humedad máximo (ITHmax) y índice temperatura humedad mínimo (ITHmin) para cada década y mensual histórico (1050 – 2010), para la zona de estudio (Hahn, 1999). También se determinó la precipitación, temperatura ambiental y humedad relativa durante el tiempo de estudio, para lo cual en cada zona se seleccionó una finca en la cual se instaló un pluviómetro y se registró la precipitación diaria y el número de días con eventos al mes. Igualmente se instalaron dos dataloggers (OM-EL-USB-2-LCD), uno bajo la copa de un árbol y otro en un área abierta, se registró la temperatura ambiente y humedad relativa cada hora. Con los datos registrados se determinó el índice temperatura humedad máximo (ITHmax) y índice temperatura

humedad mínimo (ITHmin) por hora y para cada mes (Hahn, 1999). También se realizó un intercambio de saberes con productores (40 productores) de la zona para conocer la percepción del clima, cuales eventos meteorológicos y como afectan la producción de leche, como ha cambiado el clima con relación a décadas anteriores y cuales prácticas consideran pueden contribuir a la adaptación de los sistemas ganaderos a los nuevos escenarios climáticos y tiempos atmosféricos, se realizaron vistas a los predios y encuesta semiestructurada. Los análisis de estos datos permitieron determinar que la producción de leche en la zona está afectada por un complejo climático y no por un solo tipo de evento, aunque el de mayor impacto se presenta en las épocas secas.

En cada finca se realizaron análisis del suelo de las áreas de pastoreo, uno en época de sequía y otro en lluvias, en las fincas con sistemas silvopastoriles también se realizó análisis bajo la copa de los árboles en ambas épocas. En cada ocasión se tomó una muestra compuesta de suelo en las áreas de pastoreo; se realizó un recorrido en zigzag para tomar submuestras (5) al azar con un barreno a una profundidad de 40 cm, luego se homogenizó el suelo y se tomó una muestra de 1000 g (IGAC, 2013), mientras que para las muestras bajo la copa de los árboles se seleccionaron cinco individuos al azar y se tomaron 4 puntos de medición referenciados con los puntos cardinales. Las muestras se llevaron al laboratorio (Corporación autónoma ambiental de Cundinamarca - CAR) para el análisis fisicoquímico, conductividad (conductimétrico - NTC 5596 Método B), pH (potenciométrico - NTC 5264), capacidad de intercambio catiónico (Extracción por acetato de amonio 1N – NTC 5268), densidad aparente (ATSM committee D18.2000. D2937-00 Standard test method for density of soil in place by the drive cylinder method), de potasio (Extracción por acetato de amonio 1N – NTC 5349, espectroscopía óptica/plasma acopiado inductivamente –ICAP, 3125 B), calcio (Extracción por acetato de amonio 1N – NTC 5349, Espectroscopía óptica/plasma acopiado inductivamente –ICAP, 3125 B), magnesio (Extracción por acetato de amonio 1N – NTC 5349, Espectroscopía óptica/plasma acopiado inductivamente –ICAP, 3125 B), fósforo (Extracción por acetato de amonio 1N – NTC 5349, Espectroscopía óptica/plasma acopiado inductivamente –ICAP, 3125 B), carbono orgánico total (NTC 5403, 2013-07-17 Método B; oxidación húmeda) materia orgánica (cálculo a partir de carbono orgánico).

La resistencia a la penetración y profundidad se determinó en cada finca, se realizaron muestreos en ambas épocas (sequía y lluvias), utilizando un penetrómetro penetroViewer 6.08. Para las mediciones se utilizó la misma metodología descrita para la toma de muestras de suelo (áreas abiertas y bajo árboles).

Igualmente, en cada finca y en cada época se realizaron muestreos de macrofauna, siguiendo la metodología sugerida por Tropical Soil Biology and Fertility – TSBF (Anderson y Ingram 1993), mediante un transecto donde los puntos de muestreos fueron seleccionados al azar y con una distancia de veinte metros entre puntos, se realizaron tres cajuelas de 25 x 25 x 30 cm. El material contenido en cada punto se dispuso en estratos de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-

30 cm sobre una bandeja para aislar y realizar conteo. Luego se determinó familia y número de individuos en 1 m<sup>2</sup>, identificando la presencia de lombrices (Annelida: Haplotaxida: *Lumbricidae*) y escarabajos (Insecta: Coleoptera: *Scarabaeidae*). En cada cajuela se determinó la profundidad de raíces.

Las propiedades microbiológicas se determinaron en 10 fincas dentro de las cuales estuvieron todas las categorías, se realizó un solo muestreo siguiendo la metodología descrita para las propiedades físico-químicas (áreas abiertas y bajo árboles). Las muestras se dispusieron en una cava con gel refrigerante a 4°C y fueron enviadas al laboratorio para determinar la presencia de bacterias mesófilas aerobias (NTC 4519:2009), bacterias fijadoras de nitrógeno (Agar Ashby/recuento por profundidad), microorganismos solubilizadores de fosfatos (recuento por profundidad), hongos (Agar PDA/recuento en profundidad) y actinomicetes (Agar avena/recuento en profundidad).

La producción de forraje verde (FV) se determinó en todas las fincas mediante el método de corte, en el cual se realizaron aforos destructivos previos al inicio del pastoreo durante cada época evaluada (dos por época), los muestreos de todas las fincas se realizaron durante tres días en cada ocasión, se realizaron recorridos en zigzag en los cuales se lanzó un marco (0,5 x 0,5 cm) y se cortó el forraje dentro del marco a 10 cm del suelo, luego se pesó para determinar la biomasa comestible, posteriormente se realizó la separación de gramíneas, leguminosas y arvenses, se pesaron por separado para determinar la composición botánica, se tomaron cinco muestras en cada muestreo, mientras que bajo la copa de los árboles se seleccionaron cinco individuos al azar y se tomaron cuatro puntos de medición referenciados con los puntos cardinales.

Durante el estudio se realizaron tres muestreos en todas las fincas (sequía y lluvias), se tomaron muestras de 500 g de FV para determinar la calidad nutricional de la pastura, las cuales fueron llevadas al laboratorio (AGROSAVIA) donde las muestras se secaron en horno a 65 °C durante 48 h hasta un peso constante, y luego se molieron a través de una criba de 1 mm. Se realizaron análisis de espectroscopía NIR, se determinó porcentaje de materia seca (%MS), proteína cruda (PC%), proteína soluble (%PC), proteína B (%PC), proteína C (%PC), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), digestibilidad, carbohidratos no estructurales, carbohidratos solubles, energía neta de lactancia, cenizas, calcio, fósforo, magnesio y potasio (Ariza, *et al.*, 2018), se utilizó un espectrómetro VIS / NIR de barrido (Foss NIRSystems modelo 6500; [www.foss.com](http://www.foss.com)). Los espectros se grabaron con WinISI 4.7.0 ([www.foss.com](http://www.foss.com)).

En todas las fincas y durante todo el estudio se midió la producción total de leche diaria en cada ordeño. Se tomaron muestras de leche del ordeño de la tarde y directamente de la cantina en frascos de 70 ml con bronopol y acidez de sodio, las muestras se dispusieron en una cava con gel refrigerante a 4°C y fueron enviadas al laboratorio (Consejo Nacional Lácteo), en el

cual se determinó la calidad composicional: grasa, proteína, sólidos totales, lactosa y nitrógeno en leche (NUL), se utilizó el equipo lactoscan MCCCWS. Se realizaron dos muestreos en cada época (sequía y lluvias).

Con base en la información recopilada se utilizó la metodología (modificada) propuesta por Vázquez et al., (2019), en la cual la resiliencia socioecológica se determina a partir de la construcción de índice general de resiliencia a la sequía (IGRs), este índice está conformado por la sensibilidad de los recursos naturales a la sequía (SRNs) y la capacidad de resiliencia (CRs) según la fórmula:

$$\text{IGRs} = \text{CRs}/\text{SRNs}$$

Índice de IGRs por encima de 0,50 significa que el sistema de producción está iniciando la transformación hacia capacidades de resiliencia; índice alrededor 1,0 que está avanzando hacia un estado de resiliencia e índice por encima de 1,5 está evidenciando capacidades de resiliencia. Sistemas de producción con índice de IGRs por debajo de 0,5 se considera como umbral de resiliencia a sequias.

La sensibilidad de los recursos naturales a la sequía (SRNs) permite entender la vulnerabilidad de los sistemas de producción y se determinó con los productores mediante la identificación de los recursos que están más expuestos por el evento climático, se construyeron y ajustaron escalas cuantitativas con criterios extremos de sensibilidad según la percepción de los productores (las escalas, criterios y formula para determinarla se encuentra en el anexo 6.6.1), la calificación de los criterios tuvo en cuenta los resultados de las evaluaciones realizadas conjuntamente durante el tiempo que duró la investigación. La sensibilidad de los recursos naturales se consideró muy alta cuando el valor obtenido estuvo por encima de 0,8; alta para valores entre 0,6- 0,8; media con valores entre 0,4-0,59; baja en valores entre 0,2-0,39 y muy baja por debajo de 0,2.

La capacidad de resiliencia (CRs) se determinó a partir de tres componentes: capacidad de resistencia-absorción (RAs), capacidad de recuperación (RCs) y capacidad de transformación (TRs), mediante la siguiente formula:

$$\text{CRs} = \Sigma [(\text{RAs}) + (\text{RCs}) + (\text{TRs})]/3$$

Para los tres componentes (RAs, RCs y TRs) se establecieron indicadores agroecológicos que contribuyen con funciones de resiliencia a condiciones de sequía, estos se determinaron con variables que caracterizaron el diseño y manejo agroecológico teniendo en cuenta múltiples dimensiones (biológica, social, económica, política, ambiental, etc). Cada indicador tuvo una escala de evaluación (1 a 4) y ponderaciones en las formulas, las cuales expresan de menor a mayor la contribución a los principios de la agroecología. La

calificación de los indicadores tuvo en cuenta los resultados de las evaluaciones realizadas conjuntamente durante el tiempo que duró la investigación.

Los indicadores, variables, escalas y fórmulas que permiten determinar la capacidad de resistencia-absorción (RAs) a sequías en sistemas ganaderos se presentan en el anexo 6.6.2, los de capacidad de recuperación (RCs) en el anexo 6.6.3 y los de capacidad de transformación (TRs) en el anexo 6.6.4.

Se realizó análisis de conglomerados con indicadores agroecológicos de resistencia-absorción, recuperación, transformación, capacidad de resiliencia, sensibilidad de los recursos naturales e índice general de resiliencia a sequía para ver relaciones entre sistemas de producción. El análisis de los datos se realizó mediante el programa Infostat®.

### **6.3 Resultados y discusión**

La región de los municipios de Carmen de Carupa, Suesca y municipios cercanos presentan una distribución de lluvias bimodal, caracterizada por bajas precipitaciones. Las épocas de sequía son drásticas y en algunos meses confluyen con fuertes vientos, heladas, bajas temperaturas en horas de la madrugada y altas temperaturas durante el día. Este comportamiento climático tiene fuertes impactos sobre los sistemas de producción de leche, afectando la producción y rentabilidad de las fincas.

Las épocas de sequías se pueden considerar como el resultado de la combinación de factores meteorológicos, humanos y físicos, la causa inicial es la escasez de precipitaciones (sequía meteorológica), que lleva a una insuficiencia de recursos hídricos (sequía hidrológica) necesarios suplir las necesidades de los sistemas de agropecuarios (sequía agrícola) y que limita la producción (González 2002, citado por Vázquez et al., 2019).

#### **6.3.1 Sensibilidad de los recursos naturales a sequía (SRNs), en agroecosistemas ganaderos de zonas ambientalmente estratégicos en Alisal y Suesca (Cundinamarca)**

La sensibilidad de los recursos naturales a la sequía permite evaluar la vulnerabilidad de las fincas, este análisis es multifactorial debe ser integral y contempla la exposición al evento, estado del capital físico, enfoque tecnológico y sensibilidad de recursos naturales (Vázquez et al., 2019).

La deforestación de los bosques y la degradación de los páramos generada por el cambio de uso del suelo a sistemas de producción agropecuaria ha llevado a la pérdida de servicios ecosistémicos en la región, además, las prácticas convencionales realizadas en las fincas han reducido la cobertura del suelo dejándolo expuesto a las condiciones climáticas que han

generado fuertes procesos de erosión hídrica y eólica que se evidencian en la formación generalizada de cárcavas en algunas zonas. Los sistemas de producción ganadera con áreas de pastoreo en zonas de moderada o fuerte pendiente y con sistemas de pastoreo continuo también han contribuido a la pérdida de suelos con efectos negativos sobre la fertilidad del suelo y el estado de la cuenca, ya que durante la época de lluvias la pérdida de suelos se incrementa colmatando los cuerpos de agua y reduciendo la capacidad de almacenamiento de ríos, lagos, lagunas y embalses de la región.

La zona de estudio presenta una matriz de paisaje altamente fragmentada, donde se encuentran diferentes tipos de sistemas de producción de leche con prácticas agroecológicas y/o convencionales que influyen sobre la adaptación y resiliencia a las condiciones climáticas (figura 6-1).



**Figura 6-1.** Agroecosistemas ganaderos con diferente nivel de vulnerabilidad a estacionalidad, variabilidad y cambio climático en Alisal y Suesca (Cundinamarca). Fuente: autor.

La sensibilidad de los recursos naturales a la sequía en la zona de Alisal presentó diferencias entre tipo de sistemas (tabla 6-3), fue alta en los sistemas convencionales de pequeña escala lo que los hace más vulnerables a la sequía, mientras que los sistemas convencionales en transición presentaron una sensibilidad media.

**Tabla 6-3.** Sensibilidad de los recursos naturales a sequía (SRNs) en sistemas de producción de leche de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de Alisal (Cundinamarca).

Finca	Sensibilidad de los elementos				Sensibilidad de las fincas
	Cultivos forrajeros	Animales	Superficie del suelo	Abasto de agua	
Bosque-CET	0.75	0.5	0.25	0.5	<b>0.50</b>
Pinos-CPE	0.75	1	0.5	0.5	<b>0.69</b>
Quinta-CPE	0.75	0.75	0.75	0.5	<b>0.69</b>
Triangulo-CET	0.75	0.75	0.25	0.5	<b>0.56</b>
Leticia-CET	0.75	0.75	0.5	0.25	<b>0.56</b>
Triunfo-CET	0.75	0.75	0.25	0.5	<b>0.56</b>

CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala. Mayor a 0,8: muy alta; 0,6- 0,8: alta; 0,4-0,59: media; 0,2-0,39: baja; menor a 0,2: muy baja

Por el contrario, en la zona de Suesca los sistemas convencionales de pequeña escala y los sistemas convencionales en transición presentaron una sensibilidad alta, mientras que el sistema agroecológico y uno de los orgánicos (Apocentos-O) presentaron sensibilidad media (tabla 6-4).

La diferencia entre tipos de sistema radica en las prácticas utilizadas, los sistemas convencionales de pequeña escala tienen prácticas convencionales y algunas agroecológicas, mientras que los sistemas convencionales en transición han eliminado el primer tipo de prácticas o reducido el uso de agroquímicos, los sistemas orgánicos y el agroecológico presentan el mayor número de prácticas agroecológicas las cuales permiten reducir la vulnerabilidad.

Los sistemas convencionales en transición, orgánico y agroecológico que presentaron sensibilidad media tienen en común la utilización de sistemas silvopastoriles, los cuales reducen los efectos negativos de las variables climáticas. Igualmente se presentaron diferencias entre los sistemas convencionales en transición en las dos zonas de estudio, en Alisal presentaron sensibilidad medio y en Suesca sensibilidad alta, esto se puede explicar por la matriz de paisaje la cual en la zona de Alisal es compleja, con un alto componente arbóreo en los predios principalmente cercas vivas, mientras que en la zona de Suesca la fragmentación es mayor y la matriz simplificada con pocos relictos de bosque.

**Tabla 6-4.** Sensibilidad de los recursos naturales a sequía (SRNs) en sistemas de producción de leche de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de Suesca (Cundinamarca).

Finca	Sensibilidad de los elementos				Sensibilidad de las fincas
	Cultivos forrajeros	Animales	Superficie del suelo	Abasto de agua	
Delicias-CET	0.75	0.75	0.75	0.25	<b>0.63</b>
Apocentos-O	0.75	0.75	0.25	0.25	<b>0.50</b>
Golondrina-CPE	0.75	0.75	0.75	0.5	<b>0.69</b>
Esperanza-O	0.75	0.75	0.75	0.5	<b>0.69</b>
Satiavan-CET	0.75	0.75	0.75	0.5	<b>0.69</b>
Don Camilo-CPE	1	0.75	0.75	0.5	<b>0.75</b>
San José-O	0.75	0.75	0.75	0.5	<b>0.69</b>
Estancia-A	0.75	0.75	0.25	0.25	<b>0.50</b>
Rosal-CPE	0.75	0.75	0.75	0.5	<b>0.69</b>
Pino-CPE	0.75	0.75	0.75	0.5	<b>0.69</b>

CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico. Mayor a 0,8: muy alta; 0,6- 0,8: alta; 0,4-0,59: media; 0,2-0,39: baja; menor a 0,2: muy baja.

La temperatura ambiental, humedad relativa, viento y radiación solar, influyen en la eficiencia de los sistemas ganaderos (Arias et al., 2008), ya que afectan negativamente los recursos naturales de producción, estas condiciones se tornan más graves según la ubicación geográfica donde localizan los sistemas de producción cambiando su vulnerabilidad (Lorente, 2010).

La agricultura convencional causa degradación del suelo, escasez de agua y pérdida de la biodiversidad, situación que incrementa la vulnerabilidad de los sistemas de producción (Vázquez et al., 2019), mientras que las prácticas agroecológicas utilizadas por muchos agricultores como el uso de variedades tolerantes a la sequía, cosecha de agua, policultivos, agroforestería, entre otras, permiten reducirla (Altieri y Nicholls, 2008).

Uno de los efectos asociados al cambio climático es el aumento en la frecuencia de eventos extremos como sequías, situación que afectará los recursos hídricos y su disponibilidad para la población y los sistemas de producción (IPCC, 2007), el aumento de las temperaturas en las zonas áridas o semiáridas influye en la producción de forraje e incrementa los requerimientos de agua por parte de los animales (Oyhantcabal et al., 2010).

El pastoreo continuo asociado a monocultivos incrementa la compactación del suelo afectando el movimiento interno del agua (Medina, 2016) y la producción de forrajes

(Jiménez et al., 2012; Villazón et al., 2018), la cual se agudiza en los periodos críticos en los cuales también se reduce la calidad nutricional (Primavesi et al., 2004).

Las altas temperaturas generan estrés calórico en los animales (Da Silva 2006; Keren y Olson 2006), por consiguiente, los animales reducen el consumo voluntario de alimento (Gaughan et al., 2009; Leyva et al., 2015), que conlleva a un menor desempeño productivo y reproductivo (Montiel et al., 2019; Ruiz et al., 2019; González y Wing Ching, 2018). El viento durante la época de lluvias o bajas temperaturas incrementa la pérdida de calor (Mader et al, 2006; Keren y Olson, 2006) aumentando el gasto energético en los animales para termoregularse y reduciendo la disponibilidad de nutrientes para los procesos productivos.

### **6.3.2 Capacidad de resiliencia (CRs) en agroecosistemas ganaderos de zonas ambientalmente estratégicas en Alisal y Suesca (Cundinamarca)**

La capacidad de resiliencia de un sistema de producción está determinada por tres elementos, la capacidad de resistencia-absorción, la capacidad de recuperación y la capacidad de transformación.

En la zona de Alisal se presentaron diferencias en la capacidad de resiliencia a la sequía entre tipos de sistemas (tabla 6-5), la mayor capacidad la presentaron los sistemas convencionales en transición Triangulo-CET, Leticia-CET y Triunfo-CET (0.53), seguido de Bosque-CET (0.49) y la menor la presentaron los sistemas convencionales en pequeña escala Pinos-CPE (0.44) y Quinta-CPE (0.43).

Similar comportamiento se presentó en la zona de Suesca (tabla 6-6), donde la mayor capacidad de resiliencia se presentó en el sistema agroecológico Estancia-A (0.55), orgánicos San José-O (0.52) y Apocentos-O (0.50), convencionales en transición y orgánicos Satiavan-CET (0.49), Esperanza-O (0.48), Delicias-CET (0.48) y la menor capacidad de resiliencia la presentaron los sistemas convencionales en pequeña escala Rosal-CPE (0.43), Golondrina-CPE (0.42), Pino-CPE (0.40) y Don Camilo-CPE (0.37).

### **6.3.3 Capacidad resistencia – absorción (RAs) en agroecosistemas ganaderos de zonas ambientalmente estratégicas en Alisal y Suesca (Cundinamarca)**

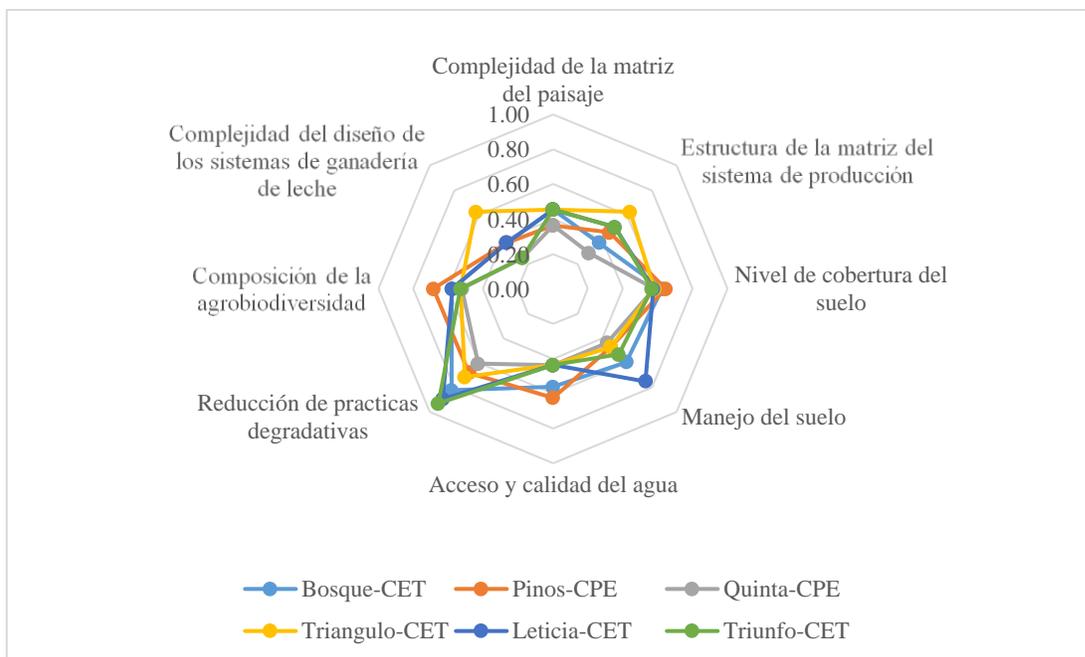
Según Vázquez et al., (2019) la capacidad de resistencia –absorción es la propiedad de un sistema de resistir y soportar los efectos físicos y prolongados de la sequía, determinada por la tolerancia o adaptación de las especies productivas, buenas prácticas de producción, estado de conservación de los recursos naturales, diseños y manejos que se realizan en las áreas de pastoreo y en el sistema de producción (figura 6-2).



**Figura 6-2.** Componentes que determinan la capacidad de resistencia-absorción a condiciones de sequía en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal y Suesca (Cundinamarca). Fuente: autor.

En términos generales todos los tipos de sistemas de producción de leche evaluados en Alisal presentaron un matriz de paisaje similar, se observaron diferencias en la estructura de la matriz del sistema productivo siendo más compleja en los sistemas convencionales en transición, el nivel de cobertura del suelo fue similar entre tipos de sistemas (predomina las praderas polifíticas), los sistemas convencionales en transición hacen mejor manejo del suelo y algunos son más eficientes con el recurso hídrico, se observó una reducción en las prácticas que degradan el suelo, siendo mayor en los sistemas convencionales en transición (no se utiliza ivermectinas, pastoreo continuo, ni implementos que inviertan el prisma del suelo), la mayoría presentó baja complejidad de diseños en las fincas, excepto un sistema convencional en transición (Triangulo-CET) (figura 6-3).

La capacidad de resistencia-absorción fue ligeramente mayor en los sistemas convencionales en transición (tabla 6-4), lo que se puede atribuir principalmente a la reducción de prácticas degradativas del suelo, el manejo del suelo y la estructura de la matriz del sistema de producción.

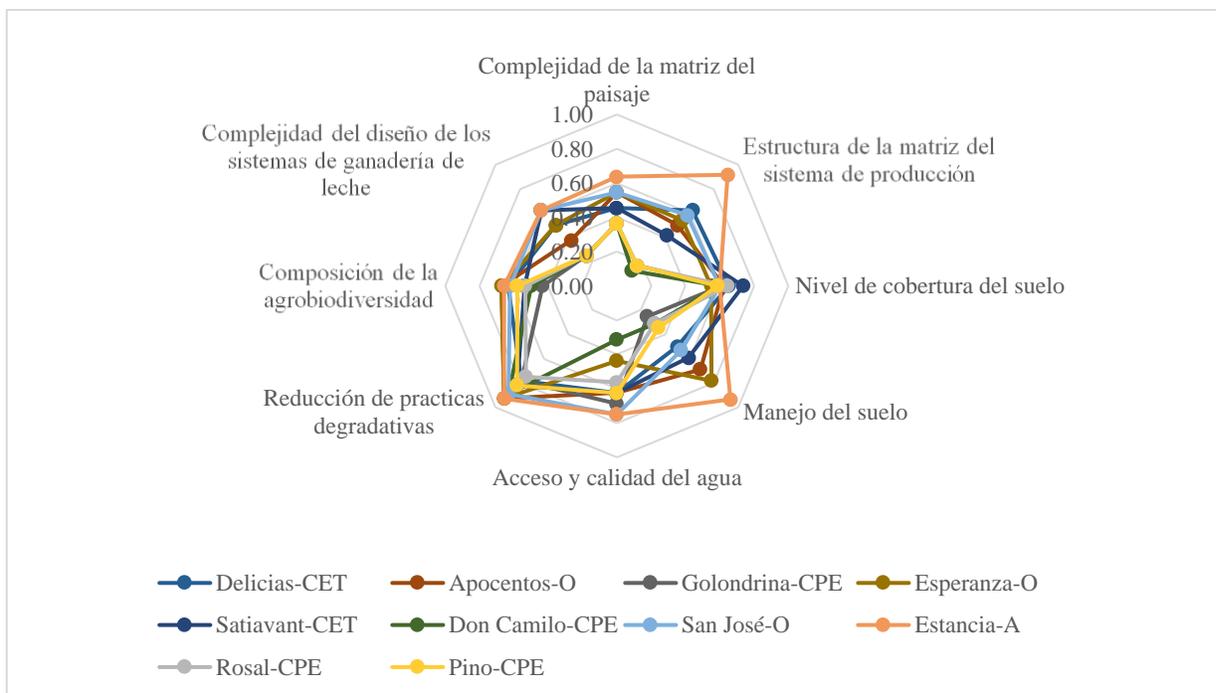


CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala

**Figura 6-3.** Capacidad de resistencia – absorción a sequías en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).

En la zona de Suesca se destacó el sistema agroecológico, ya que presentó la mayor calificación en casi todos los indicadores, especialmente en manejo del suelo, complejidad de la matriz del paisaje, estructura de la matriz del sistema productivo y en reducción de prácticas degradativas. En la mayoría de los tipos de sistema se observó baja complejidad de la matriz del paisaje al igual que la complejidad del diseño de los sistemas de ganadería de leche (figura 6-5).

La mayor capacidad de resistencia-absorción la presentó el sistema agroecológico, seguido de los sistemas orgánicos y convencionales en transición, mientras que los sistemas convencionales en pequeña escala presentaron la menor capacidad, especialmente Don Camilo-CPE (tabla 6-5).



CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico

**Figura 6-4.** Capacidad de resistencia – absorción a sequías en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Suesca (Cundinamarca).

La capacidad de resistencia-absorción de los sistemas convencional en pequeña escala en las dos zonas fue similar, mientras que se evidenció una ligera mayor capacidad en los sistemas convencional en transición en la zona de Suesca (tabla 6-5), esto se puede explicar posiblemente por las condiciones de mayor vulnerabilidad que hace que los productores tomen acciones e incorporen prácticas que permitan adaptarse a esta condición.

El nivel de resiliencia que puede alcanzar un sistema de producción no solo depende de las acciones, practicas o cambios en su modelo productivo, en gran medida depende de la matriz de paisaje donde está inserto, en la cual se presentan múltiples relaciones y dinámicas que pueden favorecer el incremento de la resiliencia, entre más compleja la matriz mayores beneficios para los sistemas. La presencia de ecosistemas conservados como bosques o páramo generan servicios ecosistémicos que favorecen a los agroecosistemas, de allí la importancia de mejorar la conectividad entre estos (Chará et al, 2011). La estructura interna del sistema de producción puede favorecer esta conectividad (Tilman et al., 2006; Oesterheld, 2008; Altieri y Koohafkan, 2008; Holt-Gimenez, 2002) mediante el uso de sistemas silvopastoriles en diferentes arreglos (Harvey et al., 2008; Navas, 2010; Mastrangelo y Gavin, 2012; Navas, 2017).

La cobertura del suelo es importante ya que favorece la conservación de suelo, en sistemas ganaderos normalmente predominan plantas forrajeras herbáceas, que bajo un manejo adecuado favorecen la retención de humedad (Renda, 2006) y la reducción de la velocidad del agua evitando erosión y pérdidas de nutrientes por escorrentía. Un manejo adecuado del suelo busca incrementar los contenidos de materia orgánica que favorece la retención de humedad, mejora las propiedades físico-químicas y microbiológicas, aporta nutrientes a las pasturas y favorece el ciclaje de nutrientes (Gliessman, 1998; Altieri y Nicholls, 2008; Altieri, 2013).

Existen prácticas como las zanjales de infiltración y la descompactación con cincel que mejoran las condiciones de humedad y aireación del suelo, los abonos orgánicos, abonos verdes (Medina, 2016), pastoreo rotacional y sistemas silvopastoriles (Vallejo, 2013; Esquivel, 2007; Sánchez, 2007; Navas, 2010; Escobar et al., 2020) que aportan materia orgánica y nutrientes, la siembra de praderas polifíticas donde las leguminosas contribuyen con la fijación de nitrógeno atmosférico (Garzón, 2011) y el uso de productos desparasitantes para los animales los cuales no afectan la macrofauna del suelo favoreciendo el control biológico y el ciclaje de nutrientes (Alonso et al., 2011; Giraldo et al., 2011; Guevara et al., 2013).

La reducción o eliminación de prácticas degradativas también favorecen la resiliencia al conservar los suelos, existe evidencia que la utilización de agroquímicos (Solomon et al., 2007), pastoreo continuo, monocultivo de gramíneas, prácticas de labranza inapropiadas y uso de ivermectinas afectan las propiedades físico-químicas y microbiológicas de suelo, reduciendo su potencial productivo, estas prácticas son realizadas comúnmente en sistemas convencionales.

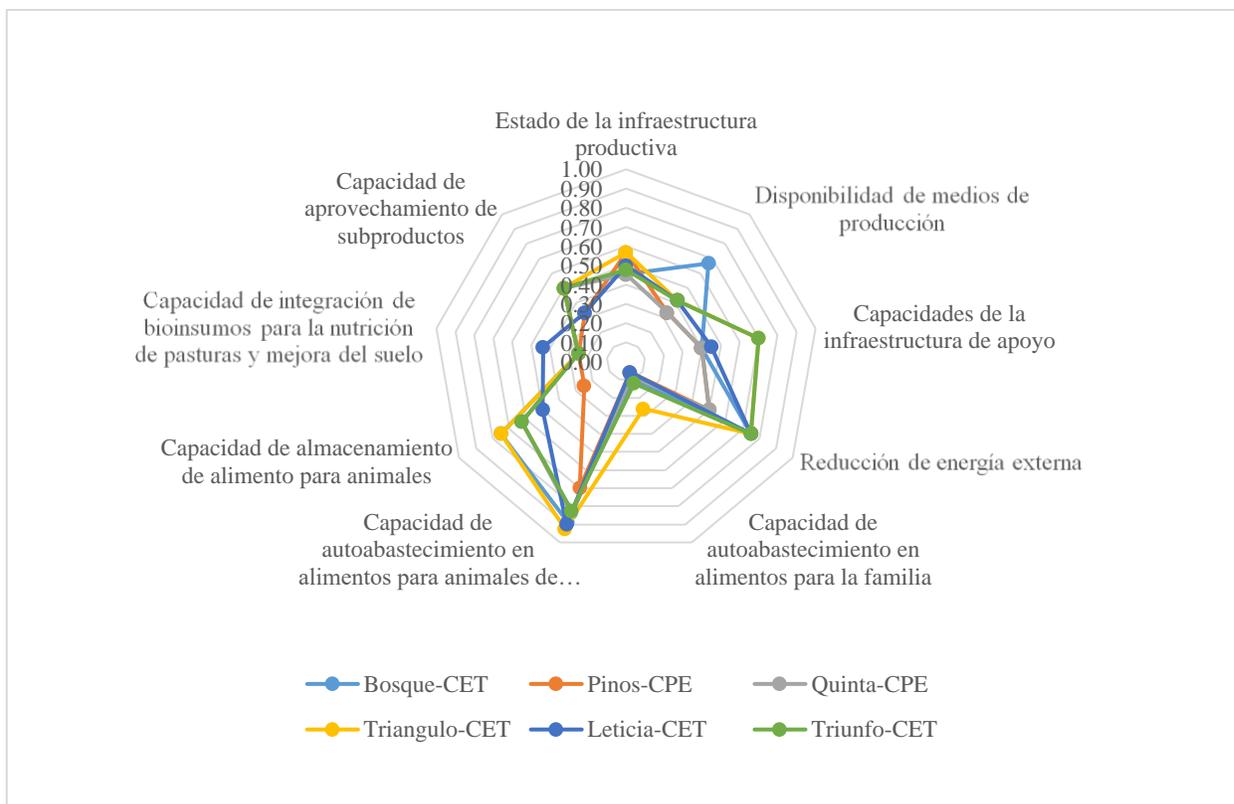
#### **6.3.4 Capacidad de recuperación (RCs) en agroecosistemas ganaderos de zonas ambientalmente estratégicas en Alisal y Suesca (Cundinamarca)**

Es la capacidad que presenta un sistema de sobreponerse a un evento o fenómeno y depende directamente del estado de los medios de vida o dotación de capitales (natural, físico, humano, social y financiero) (Vázquez et al., 2019). Los tipos sistemas de producción evaluados en las dos zonas de estudio, presentaron diferencias en algunos medios de vida o capitales (figura 6-5).



**Figura 6-5.** Estrategias que favorecen la capacidad de recuperación a sequías en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal y Suesca (Cundinamarca). Fuente autor.

En la zona de Alisal los sistemas convencionales en transición presentaron similar capacidad de recuperación, excepto Leticia-CET que presentó menor capacidad junto a los sistemas convencionales en pequeña escala (tabla 6-4). Todos los sistemas presentaron baja capacidad de autoabastecimiento en alimentos para la familia ya que se dedican exclusivamente a la producción de leche (algunos tienen huertas que no abastecen un porcentaje importante de las necesidades de la familia), se observó baja la capacidad de integración de bioinsumos para la nutrición de las pasturas y mejora del suelo y capacidad de aprovechamiento de subproductos, los sistemas convencionales en transición presentaron mayor capacidad de autoabastecimiento de alimentos para animales en producción y capacidad de almacenamiento de alimento para animales y reducción de energía externa que los sistemas convencionales de pequeña escala (figura 6-6).

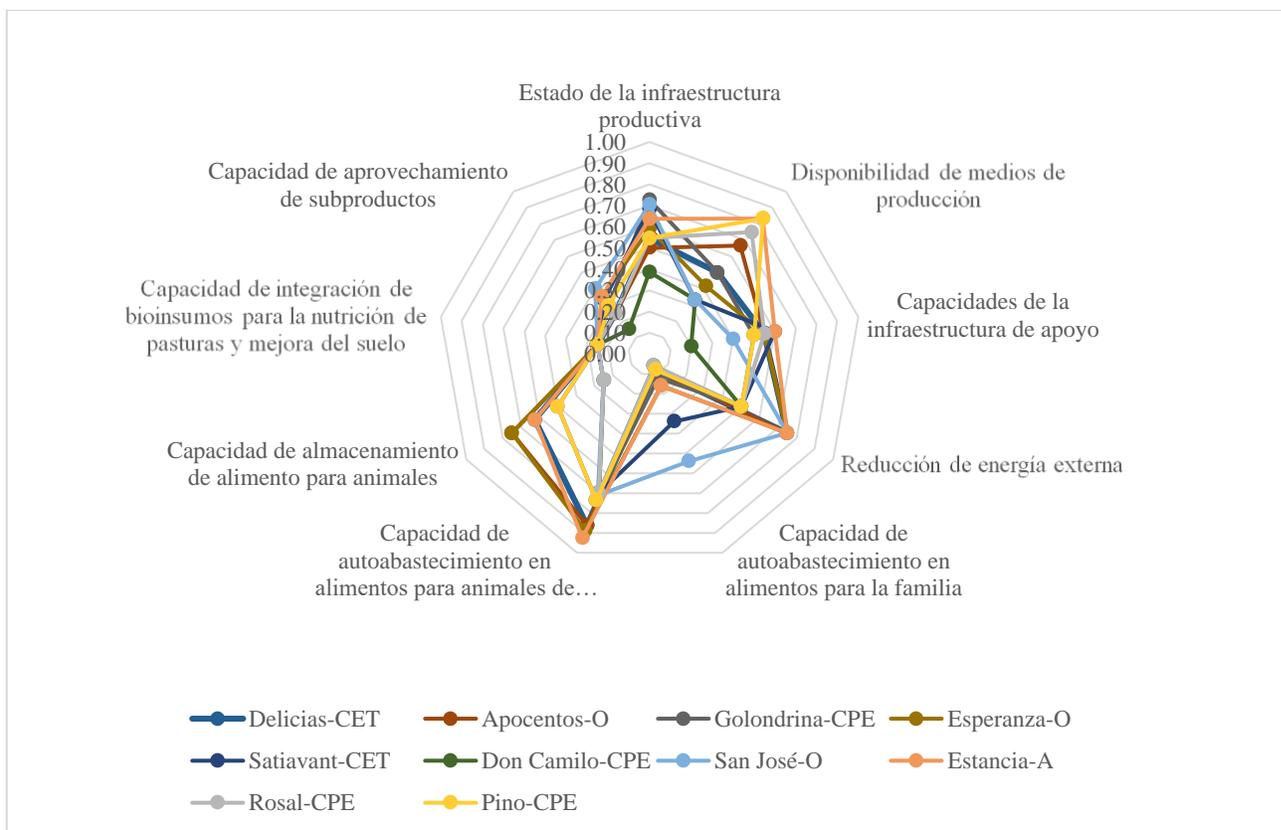


CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala

**Figura 6-6.** Capacidad de recuperación a sequías en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).

La mayor capacidad de recuperación de los sistemas de Suesca la presentaron el sistema agroecológico y dos orgánicos (Apocentos-O y Esperanza-O), no se observaron diferencias entre los demás sistemas, excepto un sistema convencional de pequeña escala (Don Camilo-CPE) que presentó la menor capacidad (tabla 6-5).

La mayor capacidad de recuperación de los sistemas estuvo en la capacidad de autoabastecimiento en alimentos para animales en producción y la capacidad de almacenamiento de alimento para animales, siendo mayor en el sistema agroecológico y orgánico, seguido de los sistemas convencionales en transición. El sistema agroecológico y los orgánicos presentaron la mayor reducción de energía externa. Se observó que la mayoría de los sistemas presentaron baja capacidad de autoabastecimiento en alimentos para la familia excepto en un sistema orgánico (San José-O) y un convencional en transición (Satiavan-CET) y todos presentaron baja capacidad de integración de bioinsumos para la nutrición de las pasturas y mejora del suelo, al igual que la capacidad de aprovechamiento de subproductos (figura 6-7).



CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico

**Figura 6-7.** Capacidad de recuperación a sequías en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Suesca (Cundinamarca).

La eficiencia del sistema de producción y el manejo que se realiza de los recursos ante un evento meteorológico está relacionado con los medios o instalaciones con las cuales cuenta el sistema de producción, el sistema de cerca eléctrica permite establecer un pastoreo adecuado que ayuda a mejorar las condiciones edáficas al generar altas cargas de materia orgánica por parte de los animales, además de mejorar la producción y administración del forraje al evitar sobrepastoreo y suministrar el pasto cuando tiene la mejor calidad nutricional (tiempo de recuperación) según las condiciones climáticas, lo que se complementa con el sistema de distribución de agua en las áreas de pastoreo o acueducto ganadero.

La leche es un alimento de alto valor nutricional que debe ser producido bajo normas higiénicas reguladas por las autoridades sanitarias, de tal manera que se produzca un alimento inocuo, esto demanda de infraestructura como establos o equipos (ordeño, tanque frío) que permitan la extracción y conservación (calidad higiénica y nutricional). La calidad de la leche puede tener una bonificación económica por parte de la empresa compradora, además de

mejorar la estabilidad en el mercado, con la posibilidad de acceder a nuevos mercados que buscan alimentos producidos bajo sistemas naturales (Nahed et al., 2013; Broom y Ning 2012).

Las condiciones naturales climáticas en los ecosistemas tropicales causan estacionalidad de la producción (épocas de sequía y lluvias), la cual en la actualidad es más marcada por eventos de variabilidad climática (Oyhantcabal et al., 2010), esta realidad demanda de la conservación de forrajes o de otros recursos alimenticios locales y de infraestructura para almacenarlos y poder suministrarlos en las épocas críticas.

Muchos residuos de sistemas agropecuarios se convierten en contaminantes del suelo o de fuentes hídricas, incluso en emisores de gases efecto invernadero al ser quemados. Las prácticas agroecológicas (bocashi, compostaje, biofertilizantes, etc) permiten reciclar estos residuos y reducir las pérdidas energéticas en los sistemas integrando la producción animal y la agrícola (Altieri et., al 2015), además de utilizar la biodiversidad de los ecosistemas en función de los agroecosistemas, la captura, multiplicación y activación de microorganismos eficientes locales puede contribuir a mejorar las relaciones suelo-planta–animal y los procesos productivos.

### **6.3.5 Capacidad de transformación (TRs) en agroecosistemas ganaderos de zonas ambientalmente estratégicas en Alisal y Suesca (Cundinamarca)**

Se puede entender como el cambio permanente que hace el sistema de producción para lograr capacidades de resiliencia, es un proceso comparable o similar a la transición agroecológica y está muy influenciado por las políticas públicas y la percepción de adaptabilidad que haya adquirido la sociedad (Vázquez et al., 2019). Los procesos de intercambio de saberes agroecológicos entre productores (campesino a campesino) y la asistencia técnica pertinente con enfoque agroecológico contribuye a incrementar la resiliencia (figura 6-8).



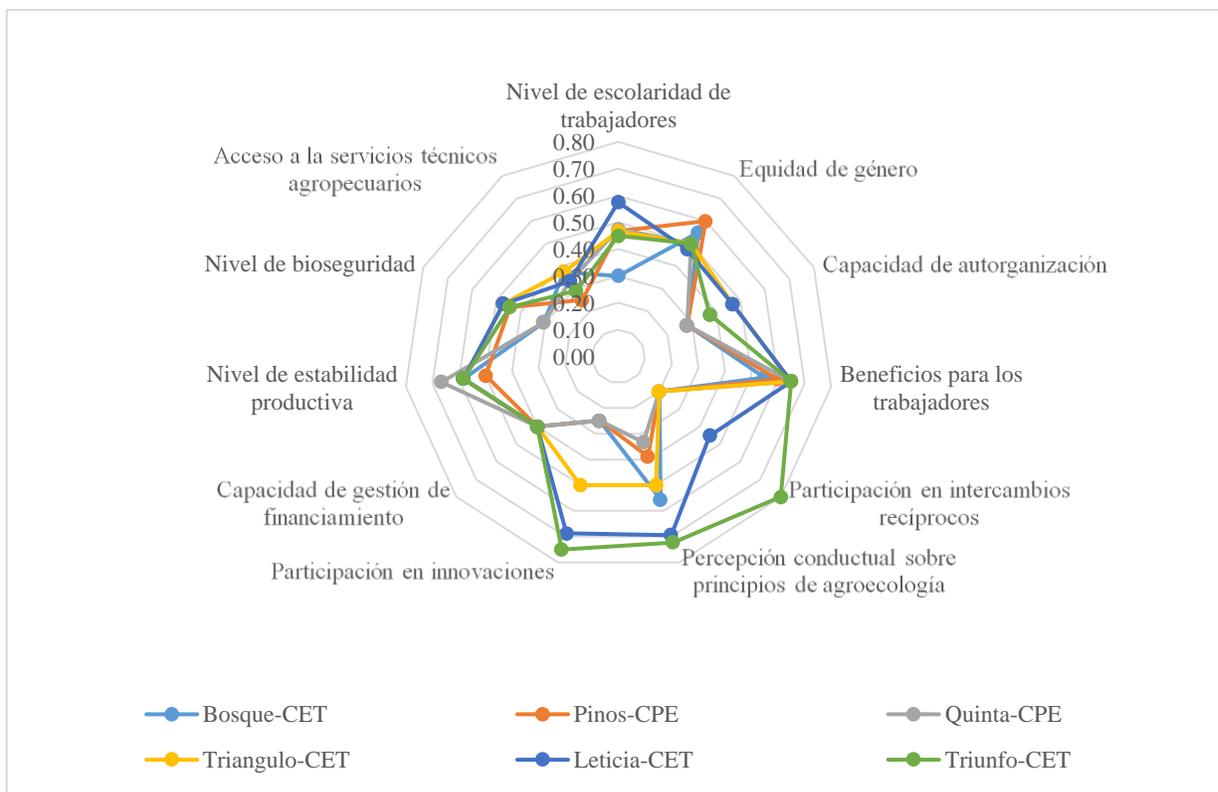
**Figura 6-8.** Conocimiento agroecológico, participación de la familia y asistencia técnica pertinente, elementos importantes en la capacidad de transformación para la resiliencia a

sequías en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal (Cundinamarca). Fuente: autor.

La capacidad de transformación varió entre sistemas de producción en la zona de Alisal, fue mayor en los sistemas convencionales en transformación, excepto en Bosque-CET (posiblemente por la composición y edad avanzada de los miembros de la familia) que presentó menor capacidad al igual que los sistemas convencionales en pequeña escala (tabla 6-4).

Todos los sistemas presentaron similar nivel de estabilidad productiva (todos están asociados), equidad de género y beneficios para los trabajadores (producción familiar), también la mayoría de los sistemas presentaron bajos niveles de bioseguridad y acceso a servicios de asistencia técnica (lo que dificulta los procesos de reconversión). Los sistemas convencionales en transición (Triangulo-CET y Leticia-CET) tuvieron mayor participación en innovaciones que apropian de manera permanente, mayor percepción conductual sobre los principios agroecológicos (facilita los procesos de reconversión y la participación en proyectos e iniciativas de cambio), esto se puede explicar posiblemente porque presentaron mayor participación en intercambios recíprocos (figura 6-9).

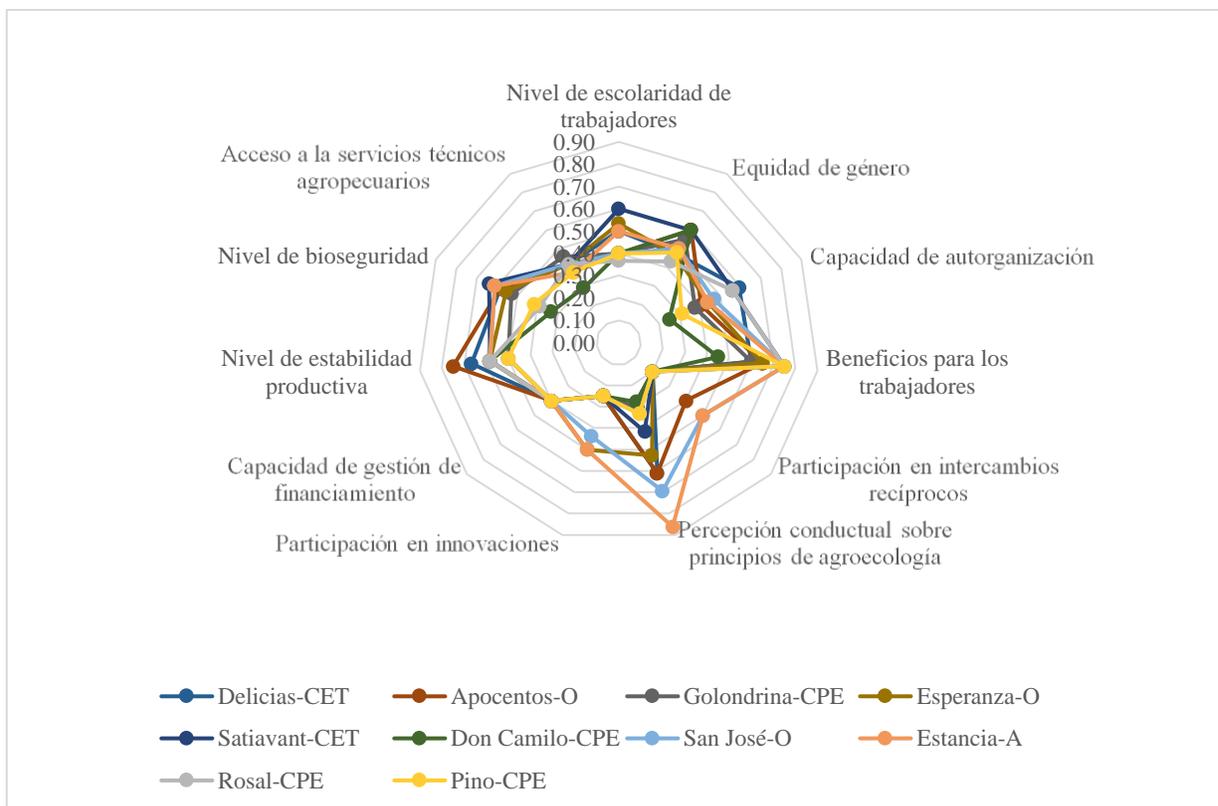
La capacidad de transformación de los sistemas de producción de Suesca también presentó diferencias, fue mayor en el sistema agroecológico y en un orgánico (San José-O), seguida de los demás sistemas orgánicos y los convencionales en transición, la menor capacidad la presentaron los sistemas convencionales en pequeña escala (tabla 6-5).



CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala

**Figura 6-9.** Capacidad de transformación para la resiliencia a sequías en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).

Se presentaron diferencias entre sistemas en la mayoría de los indicadores, excepto en la capacidad de financiamiento y acceso a servicios técnicos agropecuarios que fue baja en todos los casos. El nivel de estabilidad productiva, nivel de bioseguridad y capacidad de auto organización también presentó diferencias entre sistemas, sin observarse una tendencia hacia un tipo de sistema, lo que puede estar más relacionado con el nivel de organización ya que se observa un mejor comportamiento de estos indicadores en los sistemas que están asociados que en aquellos que venden la leche a terceros. Se encontró mayor percepción conductual sobre principios de agroecología en el sistema agroecológico y sistemas orgánicos, igualmente en la participación en intercambios recíprocos y participación en innovaciones que incorporan permanentemente al sistema, con relación a los sistemas convencionales en transición y convencionales en pequeña escala (figura 6-10).



CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico

**Figura 6-10.** Capacidad de transformación para la resiliencia a sequías en fincas de lechería especializada de pequeños productores en Suesca (Cundinamarca).

Las dinámicas (sociales, económicas, políticas, ambientales, etc) que se presentan en el territorio generan cambios en los sistemas de producción, los cuales demandan respuestas oportunas por parte de los productores. El desarrollo de capacidades de gestión y autogestión son importantes, la generación de información en la finca permite tomar decisiones (Sevilla y Soler, 2012) y evaluar el efecto real o potencial de un evento meteorológico, además planificar acciones o prácticas encaminadas a la adaptación y establecer la función y el rol de los integrantes de la familia en las acciones establecidas.

La adecuada toma de decisiones demanda de conocimiento pertinente que permita cambiar el paradigma tecnológico y adelantar procesos de reconversión productiva, la participación de los miembros de la familia en programas o proyectos de capacitación, intercambio de saberes y experiencias con otros productores (Salas et al., 2012) facilita el proceso de reconversión agroecológica y la apropiación de innovaciones dentro del sistema productivo (Guzmán y Alonso, 2007). La asistencia técnica agroecológica ofrece más herramientas al productor para tomar decisiones que favorezcan el incremento de la resiliencia. La capacidad de transformación también se incrementa cuando los medios de vida y los beneficios con los cuales cuenta el productor y su familia le permiten un buen vivir.

### 6.3.6 Índice general de resiliencia (IGRs) en agroecosistemas ganaderos de zonas ambientalmente estratégicas en Alisal y Suesca (Cundinamarca)

La resiliencia de los sistemas de producción está determinada por múltiples factores en diferentes dimensiones (social, económico, política, ambiental, etc), razón por la cual la resiliencia socioecológica se puede entender como la capacidad general que tienen los sistemas de persistir luego de una perturbación, esta capacidad se construye a partir de adaptación, aprendizaje, innovación, novedad, auto-organización (Folke, 2006), y construcción comunitaria de infraestructura social como soporte a shocks externos (Altieri y Nicholls, 2013).

La resiliencia socioecológica permite hacer un abordaje adecuado del análisis de los sistemas agropecuarios con su entorno ya que las interacciones que se presentan en las diferentes dimensiones generan ajustes constantes en las dinámicas y estructuras del sistema (Ríos et al., 2013). El índice general de resiliencia a la sequía permite determinar la resiliencia socioecológica de los sistemas de producción agropecuaria (Vázquez et al., 2019).

El índice general de resiliencia a la sequía (IGRs) que se encontró en los diferentes tipos de sistemas de producción leche de pequeños productores en Alisal (tabla 6-4), mostró que los sistemas convencionales en transición están avanzando hacia un estado de resiliencia, mientras que los sistemas convencionales en pequeña escala están iniciando la transformación hacia capacidades de resiliencia.

**Tabla 6-5.** Resultados de la evaluación de la capacidad de resiliencia (CRs), sensibilidad de los recursos naturales (SRNs) e índice general de resiliencia (IGRs) a sequía de fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal (Cundinamarca).

Finca	RAs	RCs	TRs	CRs	SRNs	IGRs
Bosque-CET	0.55	0.53	0.40	0.49	0.50	0.98
Pinos-CPE	0.54	0.38	0.40	0.44	0.69	0.64
Quinta-CPE	0.44	0.44	0.40	0.43	0.69	0.62
Triangulo-CET	0.55	0.57	0.47	0.53	0.56	0.94
Leticia-CET	0.57	0.48	0.53	0.53	0.56	0.94
Triunfo-CET	0.52	0.52	0.54	0.53	0.56	0.94

CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala. Valores de IGRs el sistema: mayores a 0.50: está iniciando la transformación hacia capacidades de resiliencia; alrededor de 1.0: que está avanzando hacia un estado de resiliencia; mayores a 1.5: está evidenciando capacidades de resiliencia; menores 0.5: se considera como umbral de resiliencia a sequias (Vázquez et al., 2019).

El índice general de resiliencia a la sequía (IGRs) que se encontró en los diferentes tipos de sistemas de producción de pequeños productores en Suesca (tabla 6-5), también presentó diferencias entre los tipos de sistemas, la mayor resiliencia la presentó el sistema agroecológico el cual está cerca de evidenciar capacidades de resiliencia, mientras que los sistemas orgánicos y convencionales en transición están avanzando hacia un estado de resiliencia, los sistemas convencionales en pequeña escala están iniciando la transformación hacia capacidades de resiliencia excepto uno que está en el umbral de resiliencia a sequías.

Se observaron diferencias en los valores del índice general de resiliencia a la sequía (IGRs) en los sistemas convencionales en transición de ambas zonas de estudio, a pesar de estar todos avanzando hacia un estado de resiliencia, esto se puede explicar por el grado de vulnerabilidad presente en la zona de Suesca, donde es mayor la sensibilidad de los recursos naturales, la matriz del paisaje es altamente fragmentada, presenta baja cobertura arbórea y a escala los sistemas de producción se podrían considerar en mayor número sistemas convencionales en pequeña escala. Igualmente, el efecto o magnitud de las condiciones climáticas puede variar por la falta de componente arbóreo, ya que en algunas épocas confluyen eventos de sequía asociados a bajas temperaturas en la madrugada, heladas, altas temperaturas durante el día y fuertes vientos, condiciones presentes en Alisal, pero con menor impacto por la matriz de paisaje que presenta mayor componente arbóreo en los predios.

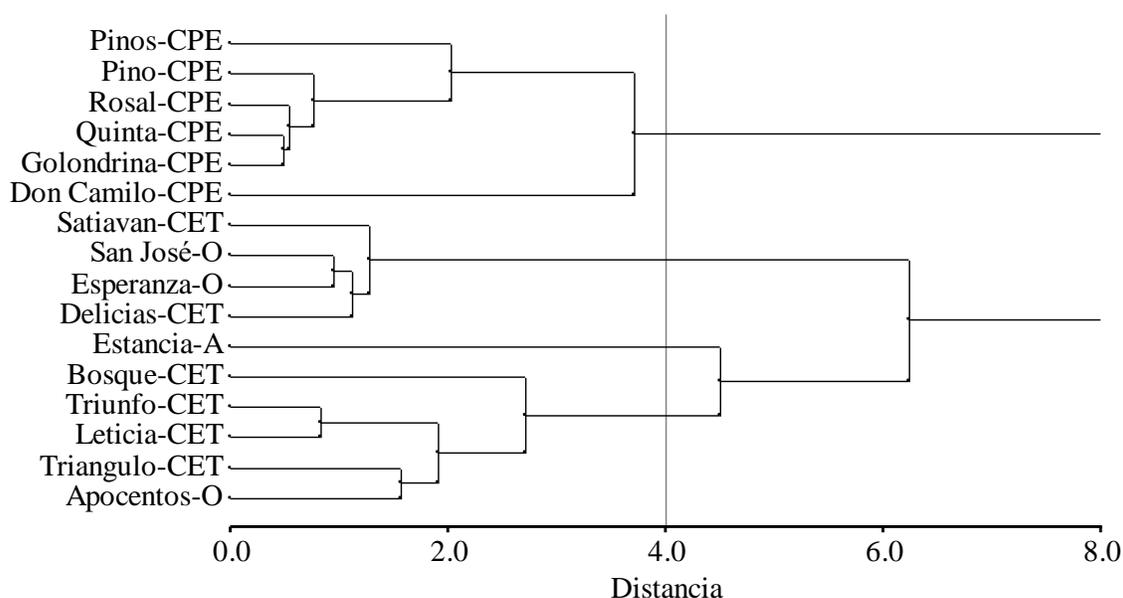
**Tabla 6-6.** Resultados de la evaluación de la capacidad de resiliencia (CRs), sensibilidad de los recursos naturales (SRNs) e índice general de resiliencia (IGRs) a sequía de fincas de lechería especializada de pequeños productores en Suesca (Cundinamarca).

Finca	RAs	RCs	TRs	CRs	SRNs	IGRs
Delicias-CET	0.60	0.49	0.48	0.52	0.63	0.84
Apocentos-O	0.62	0.52	0.50	0.54	0.50	1.09
Golondrina-CPE	0.44	0.46	0.42	0.44	0.69	0.64
Esperanza-O	0.62	0.52	0.48	0.54	0.69	0.79
Satiavan-CET	0.60	0.44	0.49	0.51	0.69	0.75
Don Camilo-CPE	0.42	0.31	0.37	0.37	0.75	0.49
San José-O	0.64	0.48	0.52	0.55	0.69	0.80
Estancia-A	0.76	0.57	0.55	0.62	0.50	1.25
Rosal-CPE	0.45	0.43	0.43	0.43	0.69	0.63
Pino-CPE	0.47	0.47	0.40	0.45	0.69	0.65

CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico. Valores de IGRs el sistema: mayores a 0.50: está iniciando la transformación hacia capacidades de resiliencia; alrededor

de 1.0: que está avanzando hacia un estado de resiliencia; mayores a 1.5: está evidenciando capacidades de resiliencia; menores 0.5: se considera como umbral de resiliencia a sequias (Vázquez et al., 2019).

El análisis de similitud realizado para los diferentes tipos de sistemas de producción de leche de pequeños productores en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Alisal y Suesca), con indicadores agroecológicos para determinar capacidad de resistencia-absorción, recuperación, transformación, capacidad de resiliencia, sensibilidad de los recursos naturales e índice general de resiliencia a sequía, muestra la formación de cuatro grupos, el primero conformado por seis sistemas convencionales en pequeña escala, el segundo por dos sistemas convencionales en transición y dos orgánicos, el tercero conformado por el sistema agroecológico, mientras que el cuarto está conformado por cuatro convencionales en transición y un orgánico (figura 6-11). Estos resultados nos muestran como el cambio de modelo tecnológico en los sistemas de producción de leche, a través de la reconversión hacia la agroecología permite reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia a eventos de estacionalidad, variabilidad y cambio climático.



CET: convencional en transición; CEP: convencional pequeña escala; O: orgánico; A: agroecológico

**Figura 6-11.** Análisis de conglomerados (método promedio, distancia Euclídea) con indicadores agroecológicos para determinar capacidad de resistencia-absorción, recuperación, transformación, capacidad de resiliencia, sensibilidad de los recursos naturales e índice general de resiliencia a sequía de fincas de lechería especializada de pequeños productores en Alisal y Suesca (Cundinamarca).

## 6.4 Conclusiones

Los sistemas de producción de leche de base agroecológica presentan mayor resiliencia socioecológica a condiciones de sequía que los sistemas convencionales, lo que sugiere la reconversión de modelos ganaderos convencionales que presentan mayor vulnerabilidad, menor rentabilidad y efectos ambientales negativos.

El índice general de resiliencia a la sequía (IGRs) mostró ser una metodología eficiente en el análisis de sistemas complejos, permitió analizar integralmente diversas dimensiones que afectan los sistemas de producción y que pueden incrementar la vulnerabilidad y reducir la resiliencia a condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático.

El análisis de los diversos indicadores permite identificar áreas críticas en las cuales se pueden establecer acciones oportunas (política pública), sin perder el enfoque integral que deben tener las iniciativas que buscan diseñar sistemas sostenibles de producción ganadera, con características de adaptación, mitigación y resiliencia a condiciones ambientales extremas.

## 6.5 Bibliografía

Alonso, O; Lezcano, J; Milera, M. 2011. El contexto fitosanitario en sistemas de pastoreo racional con gramíneas y en silvopasturas. En: André Voisin: Experiencia y aplicación de su obra en Cuba. (Editora: Milera, M.). 443 pp.

Altieri, M. 2013. Construyendo resiliencia socio-ecológica en agroecosistemas: algunas consideraciones conceptuales y metodológicas. Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático. REDAGRES – CYTED. Medellín, CO. 94- 104 p.

Altieri, M; Koohafkan, P. 2008. Enduring farms: climate change, smallholders and traditional farming communities. Environment and Development. Series 6. Malaysia: Third World Network.

Altieri, M; Nicholls, C. 2008. Los impactos del cambio climático sobre las comunidades Campesinas y de agricultores tradicionales y sus Respuestas adaptativas. Agroecología 3: 7-28.

Altieri, M; Nicholls, C. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. Agroecología y cambio climático metodologías para evaluar la resiliencia socio-ecológica en comunidades rurales. REDAGRES – CYTED. Lima, Perú. 7- 20 p.

Altieri, M; Nicholls, C; Henao, A; Lana, M. 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agron. Sustain. Dev.* 35:869–890 DOI 10.1007/s13593-015-0285-2

Anderson, J; Ingram, J. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods*. CAB international Volumen 1 en: <http://www.jstor.org/stable/2261129?origin=crossref>

Arias, R; Mader, T; Escobar, P. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivo de Medicina Veterinaria*. 40 (1): 7-22.

Bohórquez, A; Sanín, D; Silva, N. 2011. Estructura y composición arbórea de los bosques del diablo (San Felix, Salamina, Caldas), selva altoandina de la cordillera central colombiana. *bol.cient.mus.hist.nat* 16 (2): 39 – 52.

Broom, D; De ning agricultural animal welfare: from a sustainability and product quality viewpoint. En: Bazer FW, Rollin BE, editors. *Animal Welfare in Animal Agriculture*, 84 - 91, WG Pond, CRC Press: Boca Raton FL, USA, 2012.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. 2006. Diagnóstico prospectiva y formulación de la Cuenca hidrográfica de los ríos Ubate y Suárez. Bogotá, 308 p.

Chará, J; Murgueitio, E; Zuluaga, A; Giraldo, C. 2011. *Ganadería Colombiana Sostenible. Mainstreaming Biodiversity in Sustainable Cattle Ranching*. Fundación CIPAV. 158 p.

Chaves, J. 2011. Análisis multicriterio de la sustentabilidad ambiental de los sistemas productivos agropecuarios presentes en la alta montaña del complejo páramo de guerrero. Tesis de Maestría Universidad Nacional de Colombia. 155 p.

Cubillos, A. 2011. el proceso de transformación del páramo de guerrero por sistemas de ganadería bovina (1960-2010), con énfasis en políticas públicas. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia. 126 p.

Da Silva, R. 2006. Weather and climate and animal production. In: Update of the guide to agricultural meteorological practices. WMO-No.134 published in 1982.

Departamento Administrativo Nacional De Estadística -DANE. 2020. Censo nacional agropecuario 2014. En: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014>

Departamento Administrativo Nacional De Estadística -DANE. 2020. Directorio nacional de explotaciones agropecuarias (censo agropecuario) 1960. En: [http://biblioteca.dane.gov.co/media/libros/LD\\_6990\\_1960\\_V\\_8\\_EJ\\_4.PDF](http://biblioteca.dane.gov.co/media/libros/LD_6990_1960_V_8_EJ_4.PDF)

Escobar, M; Navas, A; Medina, C; Corrales, J; Tenjo, A; Borrás, L. 2020 Efecto de prácticas agroecológicas sobre características del suelo en un sistema de lechería especializada del trópico alto colombiano. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 32, Article #58. Retrieved May 28, 2020, from <http://www.lrrd.org/lrrd32/4/maria.es32058.html>

Esquivel, H. 2007. Tree resources in traditional silvopastoral systems and their impact on productivity and nutritive value of pastures in the dry tropics of Costa Rica. Tesis de PhD. CATIE, Costa Rica. 161 p.

FAO. 2008. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Pagos a los agricultores por servicios ambientales. Roma, Italia, 236 p.

Folcke, C. 2006. Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change*. 16: 253–267.

Garzón, J. 2011. Cambio climático: ¿cómo afecta la producción ganadera?. *REDVET Rev. electrón. Vet*, 12 (8). <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080811.html>

Gaughan, J; Lacetera, S; Valtorta, H; Khalifa, L; Hahn, L; Mader, T. 2009. Response of Domestic Animals to Climate Challenges. In: Ebi L, Burton I, McGregor GR, editors. *Biometeorology for adaptation to climate variability and change*. New Zeland: Springer p.131-170.

Giraldo, C; Escobar, F; Chará, J; Calle, Z. 2011. The adoption of silvopastoral systems promotes the recovery of ecological processes regulated by dung beetles in the Colombian Andes. *Insect Conserv Divers* 4:115-122.

Gliessman, S. 1998. *Agroecology: Ecological Process in Sustainable Agriculture*. Ann Arbor Press, Ann Arbor, MI.

González, J; Wing Ching, R. 2018. Producción y reproducción de vacas Holstein, Jersey y sus cruces en cinco localidades de Costa Rica. *UNED Research Journal*. 10 (2): 422-427.

Guevara, L; Polania, Y; Pardo, J; Piñeros, R. 2013. Preferencia trófica de coleópteros coprófagos en dos usos del suelo en zonas de bosque seco tropical. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 26: suplemento.

Guzmán, G; Alonso, A. 2007. La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable. *Ecosistemas*. 16 (1): 24-36.

Hahn, G. (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science* 77(2):10-20. doi: 10.2527/1997.77suppl\_210x

Harvey, CA; Villanueva, C; Ibrahim, M; Gómez, R; López, M; Stefan, K; Sinclair, F. 2008. Productores, árboles y producción ganadera en paisajes en América Central: implicaciones para la conservación de la biodiversidad. In: Harvey C, Sáenz J, editors. *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica* Santo Domingo de Heredia. Costa Rica: INBio p.197-224

Holt-Gimenez, E. 2002. Measuring farmers' agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 93: 87-105.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. 2013. Guía de muestreo. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 8p. <https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/guiademuestreo.pdf>

IPCC. 2007. Climate change: impacts, adaptation and vulnerability –summary for policymakers Contribución del Grupo de Trabajo II al Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. Cuarta Evaluación. Ginebra.

Jarvis, A; Touval, J; Castro, M; Sotomayor, L; Graham, G. 2010. Assessment of threats to ecosystems in South America. *J Nat Conservat* 18:180-188.

Jiménez, C; Rosas, G; Falla, R. 2012. Efecto de la ganadería en las propiedades físicas del suelo de lomerío en el Centro de investigaciones amazónicas macagual. *Ingenierías & Amazonia* 5(1):42-50.

Keren, E; Olson, B. 2006. Thermal balance of cattle grazing winter range: Model application. *Journal Animal Science*. 84:1238-1247.

Leyva, J. C; Armenta, C; Zamorano, A; Thomas, M; Rincon, G; Medrano, J; Rivera, A; Reyna, G; Luna, N. 2015. Variables climáticas asociadas a la producción de leche en vacas Holstein criadas bajo condiciones de estrés por calor del Valle del Yaqui, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. 11 (1): 1-11.

Lorente, A. 2010. Ganadería y cambio climático: una influencia recíproca. *GeoGraphos. Revista Digital para Estudiantes de Geografía y Ciencias Sociales*, 1(3):1-22.

Mader, T; Davis, M; Brown-Brandl, T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal Animal Science*. 84:712-719.

Mastrangelo, M; Gavin, M. 2012. Trade-offs between cattle production and bird conservation in an agricultural frontier of the Gran Chaco of Argentina. *Conserv. Biol.* 26: 1040 –1051.

Medina, Carlos. 2016. Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. *Remediaciones. Rev Colombiana Cienc Anim*, 8(1):88-93.

Montiel, L; Estrada, E; Espinosa, M; Mellado, M; Hernández, J; Martínez, G; Vera, H. 2019. Factores de riesgo a nivel de establo asociados con el desempeño reproductivo en el sistema de producción de leche a pequeña escala en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 10 (3): 676-691.

Murgueitio, E; Calle, Z; Uribe, F; Calle, A; Solorio, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecol Manag* 261:1654-1663.

Nahed, J; Sanchez, B; Mena, Y; Ruiz, J; Aguilar, R; Castel, J; Ruiz, F; Orantes, M; Manzur, A; Cruz, J; Delgadillo, C. 2013. Feasibility of converting agrosilvopastoral systems of dairy cattle to the organic production model in southeastern Mexico. *Journal of Cleaner Production*. 43: 136 -145.

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: 113:122.

Navas, A. 2017. Conocimiento local y diseño participativo de sistemas silvopastoriles como estrategia de conectividad en paisajes ganaderos. *Rev. Med. Vet.* 34(Supl):55-65

Oosterheld, M. 2008. Impacto de la agricultura sobre los ecosistemas. *Fundamentos ecológicos y problemas más relevantes. Ecología Austral*. 18 (3):337- 346.

Oyhantçabal, W; Vitale, E; Lagarmilla, P. 2010. El cambio climático y su relación con las enfermedades animales y la producción animal. En: *Compendio de los temas técnicos presentados ante la Asamblea mundial de los delegados o a las Comisiones regionales de la OIE–2009, Paris: Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE)* 169-177 p.

Primavesi, O; Pedreira, M... otros. 2004. Manejo alimentar de bovinos leiteiros e sua relação com produção de metano ruminal. *Circular Técnica EMPRAPA*. São Carlos, Brasil.

Renda, A. (2006). Papel de los sistemas agroforestales en el escenario agrario de las cuencas hidrográficas de Cuba. *Pastos y Forrajes*. 29:351.

Ríos, L; Salas, W; Espinosa, J. 2013. Resiliencia socioecológica de los agroecosistemas, mas que una externalidad. *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático*. Medellín, Colombia. 60-63 p.

Ruiz, J; Vargas, L; Abarca, M; Hidalgo, H. 2019. Efecto del estrés calórico sobre la producción del ganado lechero en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 30 (3): 733-750.

Salas, W; Ríos, L; Alvarez, J. 2012. Marco conceptual para entender la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos. *Ecología Austral*. 22:74-79

Sánchez, S. 2007. Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* Jacq. y en un sistema silvopastoril de *P. maximum* y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Tesis PhD. Instituto de Ciencia Animal. Cuba. 124 p.

Sanfiozeno, A. 2008. Contribución de diferentes arreglos silvopastoriles a la conservación de la biodiversidad, mediante la provisión de hábitat y conectividad en el paisaje de la subcuenca del Río Copán, Honduras. Tesis de MSc. CATIE, Costa Rica. 101 p.

Sevilla, E; Soler, M. Del desarrollo rural a la agroecología. Hacia un cambio de paradigma. *Documentación social* 155:1-41. En: <https://seminariodlae.files.wordpress.com/2012/10/c2-eduardo-sevilla-y-marta-soler.pdf>

Solomon, S; Qin, M; Manning, Z; Chen, M; Marquis, K; Averyt, M...otros. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Universidad de Cambridge, Reino Unido. p. 212–213, 541–542, 544. <http://www.pnud.cl/recientes/IPCC-Report.pdf> >

Steinfeld, H; Gerber, P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales, M; de Haan, C. 2009. *La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y soluciones*. Roma (Italia): LEAD – FAO.

Tilman, D; Reich, P; Knops, J. 2006. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*. 441:629-632.

Vallejo, V. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*. 16 (1): 83 – 99.

Vázquez, L; Castellanos, A; Leiva, V. 2019. Transición agroecológica y resiliencia socioecológica a sequías en Cuba. Celia Boletín Científico 3:1-43.

Villazón, J; Martín, G; Cobo, Y; Hernández, D. 2018. Resistencia a la penetración en un Vertisol Crómico con pasto natural. Pastos y Forrajes, 41(3):202-207.

## 6.6 Anexos

**Anexo 6.6.1** Escala y criterios para valorar la sensibilidad de los recursos naturales a la sequía, en sistemas ganaderos.

<b>Recurso natural</b>	<b>Especificaciones</b>	<b>Escalas de criterios</b>
Cultivos forrajeros	Pasturas y forrajes	(1) muestran algunos síntomas, iniciales o poco perceptibles, como: follaje doblado, inicio de quemaduras y marchitez por sequía. (2) incremento de plagas (fitófagos, fitopatógenos). (3) crecimiento pobre de la planta, afectación de los rendimientos y calidad nutricional. (4) no se recupera y se presentan plantas muertas.
Animales	Bovinos de leche	(1) muestran algunos síntomas (intranquilos, respiración agitada, exceso de sed). (2) reducen la condición corporal. (3) reducen la producción de leche. (4) venden animales
Superficie del suelo	Áreas de pastoreo	(1) se observa sequedad en su superficie y capas inferiores. (2) se observa cambio en la coloración (menos oscuro), evidencia de la reducción del contenido de materia orgánica. (3) se observan endurecimiento de la superficie. (4) grietas en la superficie y pérdida de suelo.
Abasto de agua	Áreas de pastoreo y consumo de animales	(1) Mayor demanda de agua para riego y consumo animal. (2) necesidad de efectuar más riegos o aumentar frecuencia de oferta de agua a animales. (3) pérdida de agua por evaporación en recipientes abiertos (tanques, bebederos, otros). (4) aumento del consumo de agua del sistema de producción.
<b>Sensibilidad de los recursos naturales a sequías (SRNs) = <math>\Sigma</math> [SRN1 + ..... SRN4]/4</b>		

**Anexo 6.6.2** Indicadores agroecológicos para determinar la capacidad de resistencia – absorción a sequía en sistemas ganaderos.

<b>Indicador</b>	<b>Variables, escalas y formulas</b>
RA <sub>1</sub> Complejidad de la matriz del paisaje	Ecosistema donde esta insertado (E): (1) urbano. (2) rural. (3) suburbano. (4) periurbano. (5) montaña.

	<p>Tipo de sistema de producción que predomina (TS): (1) convencional extensivo. (2) convencional pequeña y mediana escala. (3) convencional en transformación. (4) orgánico (sustitución de insumos). (5) agroecológico.</p> <p><math>RA1 = \Sigma [E + TS]/11.</math></p>
RA <sub>2</sub> . Estructura de la matriz del sistema de producción	<p>Cerca viva perimetral (CVP), división de potreros (DP), cercas vivas internas (CVI), ambientes seminaturales (ASN), integración del árbol multipropósito - (IA), árboles dentro de áreas de pastoreo (AP). Escala: (1) se realiza con diseño simple o convencional. (2) se realiza con cierta complejidad, pero no es un diseño agroecológico. (3) se realiza mediante diseño agroecológico. (4) = (2) + se logran varias funciones en el diseño.</p> <p><math>RA2 = \Sigma [(1 * n) + (2 * n) + (3 * n) + (4 * n)]/4 (N)</math>, donde 1, 2, 3, 4, son los valores de las escalas; n es el número de tramos y superficies con cada valor de la escala; N es el total de tramos y superficies y 4 es el valor máximo de las escalas.</p>
RA <sub>3</sub> . Nivel de cobertura del suelo	<p>Forrajes permanentes herbáceos (FPH), forrajes anuales y temporales (FAT), cultivos anuales (CA), vegetación natural (VN). Se determinan las hectáreas que están destinadas a cada uno de estos tipos de cobertura.</p> <p><math>RA3 = [\Sigma FPH (0,6) + FAT (0,5) + CA (0,5) + VN (1)]/N</math> donde N es el total de hectáreas del sistema de producción.</p>
RA <sub>4</sub> . Manejo del suelo	<p>Zanjas de infiltración (ZI), descompactación con cincel (DC), pastoreo rotacional (PR), uso de albendazoles o levamizoles (UAL), praderas polifíticas (leguminosas – gramíneas) - (PP), incorporación de abonos orgánicos (IAO), incorporación de abonos verdes (IAV), cercas vivas (CV). Escala: (1) se realiza o utiliza ocasionalmente. (2) se realiza o utiliza sistemáticamente. (3) = (2) + se ha establecido desde hace tres o más años. (4) = (3) + se han evidenciado resultados.</p> <p><math>RA4 = \Sigma [ZI + DC + PR + UAL + PP + IAO + IAV + CV]/32.</math></p>
RA <sub>5</sub> . Acceso y calidad del agua	<p>Se evalúa considerando el que predomina (mayor valor). Fuentes de abasto (FA): (1) acueducto. (2) embalses. (3) canal de riego. (4) pozo natural. Sistema de distribución interna (SDI): (1) transporte recipientes. (2) canales rústicos. (3) canales artificiales. (4) conductos o tuberías. Sistema de riego (SR): (1) superficial (gravedad, aniego). (2) aspersores. (3) microaspersores. (4) localizado. Sistema de suministro a animales (SSA): (1) recipientes abiertos expuestos grandes dimensiones. (2) recipientes abiertos expuestos pequeñas dimensiones. (3) recipientes abiertos bajo techo. (4) bebederos automáticos.</p> <p><math>RA5 = \Sigma [FA + SDI + SR + SSA]/16</math></p>

RA6. Reducción de prácticas degradativas	<p>Plaguicidas químicos (PQ), herbicidas (H), fertilizantes químicos (FQ), pastoreo continuo (PC), implementos que invierten el prisma del suelo (IPS), aplicación de ivermectinas (AI), pastura en monocultivo (monofíticas) – (PM). Escala: (1) se realiza, pero se ha reducido. (2) se realiza, pero muestra tendencia a reducirse. (3) se realiza en algunos momentos. (4) no se realiza.</p> <p><math>RA6 = \Sigma [PQ + H + FQ + PC + IPS + AI + PM]/28.</math></p>
RA7. Composición de la agrobiodiversidad	<p>Raíces y tubérculos (RT), otras especies animales (OEA), aves de corral (AC), cultivos arbustivos y arbóreos (CAA), cultivos herbáceos temporales y anuales (CHTA), ganado lechero (GL), forrajes y pastos herbáceos (FPH), especies forestales (EF).</p> <p><math>RA7 = \Sigma [RT (0,3) + OEA (0,1) + AC (0,2) + CAA (0,4) + CHTA (0,5) + GL (0,6) + FPH (0,6) + EF (0,9)]/N.</math> N es el total de elementos de la biodiversidad (especies, variedades, razas) que se manejan como especies productivas.</p>
RA8. Complejidad del diseño de los sistemas de ganadería de leche	<p>Superficie del sistema de producción que se maneja con sistemas de cultivos complejos (SCC). Escala: (1) menos 30 % superficie. (2) 31-50%. (3) 71-70%. (4) más 70%.</p> <p>Tipos de diseños de sistemas de cultivos compuestos (TSCC). Escala: (1) 1. (2) 2. (3) 3 a 4. (4) 5 o más.</p> <p><math>RA8 = \Sigma [(1 * n) + (2 * n) + (3 * n) + (4 * n)]/4 (N),</math> donde: 1, 2, 3, 4, son los valores de las escalas; n es el número de variables con cada valor de la escala; N es el total de variables y 4 es el valor máximo de la escala.</p>
<p><b>Capacidad de Resistencia-absorción a sequías (RAs) = <math>\Sigma [RA1 + \dots + RA8]/8</math></b></p>	

**Anexo 6.6.3** Indicadores agroecológicos para determinar la capacidad de recuperación a sequía en sistemas ganaderos.

<b>Indicador</b>	<b>Variables, escalas y formulas</b>
RC <sub>1</sub> . Estado de la infraestructura productiva	<p>Existencia y estado de la cerca perimetral (CP), puerta de entrada al sistema de producción (PE), caminos de acceso interno (CAI), cerca eléctrica (CE), sistema de riego (SR), sistemas de distribución de agua los animales (SDAA), cercados internos (CI), áreas de pastoreo (AP), corrales de trabajo (CT), establo para ordeño (EO). Escala: (1) se dispone, pero no se encuentra en buen estado. (2) se dispone y se encuentra en buen estado. (3) = (2) + no es suficiente. (4) = (2) + es suficiente.</p> <p><math>RC1 = \Sigma [CP + PE + CAI + CE + SR + SDAA + CI + AP + CT + EO]/40.</math></p>
RC <sub>2</sub> . Disponibilidad de	<p>Medios para carga (MC), equipos de tracción (ET), animales para tracción (AT), equipo de ordeño (EO), implementos necesarios (IN), herramientas</p>

medios de producción	<p>necesarias (HN). Escala: (1) se dispone, pero no se encuentra en buen estado. (2) se dispone y se encuentra en buen estado. (3) = 2 + es suficiente hasta 50 %. (4) = 2 + es suficiente más de 50 %.</p> $RC2 = \Sigma [MC + ET + AT + EO + IN + HN] / 24$
RC3. Capacidades de la infraestructura de apoyo	<p>Almacenamiento de agua (AA), almacenamiento de insumos y materiales (AIM), conservación de forrajes (CF), tanque frío (TF), conservación de residuos de cosecha para suplementación animal (CRC). Escala: (1) se dispone, pero no se encuentra en buen estado. (2) se dispone y se encuentra en buen estado. (3) = 2 + es suficiente hasta 50 %. (4) = 2 + es suficiente más de 50 %.</p> $RC3 = \Sigma [AA + AIM + CF + TF + CRC] / 20$
RC4. Reducción de energía externa	<p>Se analiza los tipos de energía que consume, sean externas (electricidad, combustible, fertilizantes, otros) o internas (trabajo humano, trabajo animal, abonos orgánicos, biodigestor, otros). Escala: (0) toda la energía que consume es externa. (1) consume energía externa de los tipos siguientes: electricidad, combustible y fertilizantes; también puede que obtenga parte de la energía internamente. (2) consume como energía externa dos de los tipos anteriores, el resto es obtenida internamente. (3) solamente consume uno de los tipos anteriores, el resto es del propio sistema de producción. (4) toda la energía la obtiene internamente en el sistema de producción.</p> $RC4 = n / 4. n \text{ es el valor obtenido según la escala anterior.}$
RC5. Capacidad de autoabastecimiento en alimentos para la familia	<p>Se listan los alimentos que normalmente se necesitan, considerando las costumbres locales. Escala: (1) solamente se logra obtener internamente hasta un 30% de la necesidad. (2) se logra obtener internamente entre 31-50 % de la necesidad. (3) se logra obtener internamente entre 51-75 % de la necesidad. (4) se obtiene internamente más del 75 % de la necesidad.</p> $RC5 = \Sigma [(1 * n) + (2 * n) + (3 * n) + (4 * n)] / 4 (N), \text{ donde: } 1, 2, 3, 4, \text{ son los valores de la escala; } n \text{ es el número de alimentos con cada valor de la escala; } N \text{ es el total de alimentos y } 4 \text{ es el valor máximo de la escala.}$
RC6. Capacidad de autoabastecimiento en alimentos para animales de producción	<p>Se listan los alimentos que normalmente se necesitan. Pastos (P), ensilaje (E), residuos de cosecha (RC), balanceado comercial (BC). Escala: (1) solamente se logra obtener internamente hasta un 30% de la necesidad. (2) se logra obtener internamente entre 31-50 % de la necesidad. (3) se logra obtener internamente entre 51-75 % de la necesidad. (4) se obtiene internamente más del 75 % de la necesidad.</p> $RC6 = \Sigma [P (0,7) + E (0,2) + RC (0,1) + BC (0,1)] / N. N \text{ es el total de alimentos para animales.}$

RC7. Capacidad de almacenamiento de alimento para animales	<p>Se listan los alimentos. Escala: (1) hasta un 25% de la necesidad. (2) 26-50% de la necesidad. (3) = (2) + hasta tres meses. (4) = (2) + hasta seis meses.</p> <p><math>RC7 = \frac{\sum [(1 * n) + (2 * n) + (3 * n) + (4 * n)]}{4 (N)}</math>, donde: 1, 2, 3, 4, son los valores de la escala n es el número de alimentos con cada valor de la escala; N es el total de alimentos y 4 es el valor máximo de la escala.</p>
RC8. Capacidad de integración de bioinsumos para la nutrición de pasturas y mejora del suelo	<p>Estiércol descompuesto (ED), inoculantes micorrhizico (IM), microorganismos eficientes (ME), biofertilizantes artesanales (BA). Escala: (1) los utiliza obtenidos externamente. (2) solamente obtiene internamente hasta un 30%. (3) se logra obtener internamente entre un 31-50% de la necesidad. (4) obtiene internamente más de un 50% de la necesidad.</p> <p><math>RC8 = \frac{\sum [(1 * n) + (2 * n) + (3 * n) + (4 * n)]}{4 (N)}</math>, donde: 1, 2, 3, 4, son los valores de la escalas n es el número de tipos de bioinsumos con cada valor de la escala; N es el total de tipos de bioinsumos y 4 es el valor máximo de la escala.</p>
RC9. Capacidad de aprovechamiento de subproductos	<p>Alimento animal (AA), elaboración de abonos orgánicos (AO), incorporación al suelo (IS), utilización como cobertura muerta (CM), elaboración de biopreparados (EB). Escala: (1) ocasionalmente. (2) sistemáticamente. (3) = (2) + establecido desde hace tres o más años. (4) = (3) + se han evidenciado resultados.</p> <p><math>RC9 = \frac{\sum [(1 * n) + (2 * n) + (3 * n) + (4 * n)]}{4 (N)}</math>, donde: 1, 2, 3, 4, son los valores de la escala n es el número de tipos de subproductos con cada valor de la escala; N es el total de tipos de subproductos y 4 es el valor máximo de la escala.</p>
<p><b>Capacidad de Recuperación a sequías (RCs) = <math>\frac{\sum [RC1 + \dots + RC9]}{9}</math></b></p>	

**Anexo 6.6.4** Indicadores agroecológicos para determinar la capacidad de transformación para la resiliencia a sequía en sistemas ganaderos.

<b>Indicador</b>	<b>Variables, escalas y formulas</b>
TR <sub>1</sub> . Nivel de escolaridad de trabajadores	<p>Primaria incompleta (PI), primaria completa (PC), secundaria incompleta (SI), secundaria completa (SC), técnico medio (TM), universitario (U).</p> <p><math>TR1 = \frac{\sum [PI (0,3) + PC (0,4) + SI (0,5) + SC (0,6) + TM (0,8) + U (1)]}{N}</math>, donde se multiplica el número de trabajadores con cada grado alcanzado por el valor de ponderación, posteriormente se realiza una sumatoria y al final se divide por N, que es el total de trabajadores.</p>
TR <sub>2</sub> . Equidad de género	<p>Del total de personas que trabajan en la finca, se realiza una valoración de la participación de mujeres y hombres, así como la designación de responsabilidades, para lo cual se consideran las variables siguientes:</p>

	<p>hombres obreros (HO), mujeres obreras (MO), hombres obreros y con responsabilidades en procesos productivos (HRP), mujeres obreras y con responsabilidades en procesos productivos (MRP), hombre administrador del sistema de producción (HA), mujer administradora del sistema de producción (MA).</p> <p><math>TR2 = [\Sigma HO (0,2) + MO (0,3) + HRP (0,4) + MRP (0,5) + HA (0,6) + MA (0,7)]/N</math>, donde se multiplica el número de personas que trabajan en cada tipo de responsabilidad por el valor de ponderación, se realiza una sumatoria y el resultado se divide por N, que es el total de trabajadores.</p>
TR3. Capacidad de auto organización	<p>Centros de costo de actividades pecuarias (CCP), control de gastos (CG), control de ingresos (CI), control de siembras (CS), control de actividades culturales a praderas (CACP), control de actividades atención de animales (CAA), control de crías (CC), sistemas de control de ventas (CV). Escala: (1) se realiza, pero no de manera estable. (2) se realiza de manera estable, según frecuencia necesaria. (3) Se analizan y comparan los resultados. (4) Se considera en la gestión del año siguiente.</p> <p><math>TR3 = \Sigma [CCP + CG + CI + CS + CACP + CAA + CC + VF]/32</math>.</p>
TR4. Beneficios para los trabajadores	<p>Condiciones de vivienda (CV), acceso a servicios de salud (AS), oportunidades para la recreación (OR), salario adecuado (SA), servicios de educación (SE). Escala: (1) aceptable. (2) mejorado. (3) en aumento. (4) muy bueno.</p> <p><math>TR4 = \Sigma [CV + AS + OR + SA + SE]/20</math>.</p>
TR5. Participación en intercambios recíprocos	<p>Encuentros en fincas (EF), seminarios o talleres organizados en el territorio (ST), cursos u otras actividades de capacitación que empleen métodos participativos (CMP), eventos técnicos en que los ganaderos tengan la oportunidad de exponer sus experiencias y resultados (ET). Escala: (1) una actividad anual. (2) dos a tres. (3) = (2) + participan entre el 20-40 % de los trabajadores. (4) = (2) + más del 40 % de los trabajadores.</p> <p><math>TR5 = \Sigma [EF + ST + CMP + ET]/20</math>.</p>
TR6. Percepción conductual sobre los principios de la agroecología	<p>1. aumentar el reciclaje de biomasa, con miras a optimizar la descomposición de materia orgánica y el ciclo de nutrientes a través del tiempo. 2 proveer las condiciones de suelo más favorables para el crecimiento vegetal, en particular mediante el manejo de la materia orgánica y el mejoramiento de la actividad biológica del suelo. 3 fortalecer la sanidad de los sistemas ganaderos, mejorando la biodiversidad con funciones de regulación natural de organismos nocivos. 4 minimizar las pérdidas de energía, agua, nutrientes y recursos genéticos, mejorando la conservación y regeneración de suelos, recursos hídricos y la diversidad biológica agrícola. 5 diversificar las especies y recursos genéticos en el agroecosistema en el tiempo y el espacio a nivel de campo y paisaje. 6</p>

	<p>aumentar las interacciones biológicas y las sinergias entre los componentes de la biodiversidad ganadera, promoviendo procesos y servicios ecológicos claves. 7 articular el sistema de producción a nivel local, para favorecer sinergias en servicios, insumos e innovaciones. 8 ofrecer productos sanos e inoctrinos a la población de manera continua, para contribuir a su seguridad y soberanía alimentaria. 9 aumentar la capacidad de resiliencia a eventos extremos externos.</p> <p><u>Procedimiento:</u> Se facilita un ejercicio con la participación de todos los trabajadores del sistema de producción, mediante el procedimiento siguiente: (a) se listan los diseños y manejos agroecológicos que se realizan; (b) se identifican los principios que son beneficiados con cada uno de los diseños y manejos; (c) se determina el porcentaje de contribución de los diseños y manejos a cada uno de los principios, según la escala siguiente: (0) muy baja (contribuyen menos del 10 % de los diseños y manejos listados). (1) baja (entre 11-25 %). (2) media (26-50 %). (3) alta (51-75%). (4) muy alta (más de 75 %); (d) se determina el nivel de apropiación de los principios de la agroecología mediante la ecuación: <math>TR6 = \frac{\sum [(1 * n) + (2 * n) + (3 * n) + (4 * n)]}{N}</math> (4); n es el número de principios que se benefician con cada valor de la escala; N es el total de principios y 4 es el valor máximo de la escala.</p>
TR7. Participación en innovaciones	<p>Transferencia directa de nuevas tecnologías (TT), realización de experimentos en el sistema de producción (RE), participación directa en proyectos (PP), escenario del proyecto para sistematizar resultados y experiencias con otros ganaderos (SR). Escala: (1) se ha realizado anteriormente. (2) se realiza actualmente. (3) = (2) + está contribuyendo a mejoras en los resultados del sistema de producción. (4) = (3) + se genera continuidad de estos procesos.</p> <p><math>TR7 = \frac{\sum [TT + RE + PP + SR]}{16}</math>.</p>
TR8. Capacidad de gestión de financiamiento	<p>Venta al mercado (VM), venta a mercados especiales (VME), venta a la industria (VI), cobro de servicios ambientales (CSA,) proyectos y programas (PR). Escala: (1) baja. (2) media. (3) alta. (4) muy alta.</p> <p><math>TR8 = \frac{\sum [VM + VME + VI + CSA + PR]}{20}</math>.</p>
TR9. Nivel de estabilidad productiva	<p>Precio de venta de la leche (PV), el volumen total de producción obtenida (VTP), frecuencia durante el año en que son ofertados (FO). Escala: (1) aproximadamente igual que años anteriores. (2) ligeramente superior a años anteriores (hasta 10 %). (3) superior a años anteriores (más de 10 %). (4) tendencia a incrementarse en los últimos años.</p> <p><math>TR9 = \frac{\sum [PV + VTP + FO]}{12}</math></p>
TR10. Nivel de bioseguridad	<p>Cercado perimetral (CP), buenas prácticas de ordeño (BPO), desinfección en entrada (DE), acceso limitado a vehículos (ALV), compra de reemplazos</p>

<p>2.</p>	<p>de sitios libres de enfermedades (CRLE), hato libre de brúcela (HLB), planes de vacunación y desparasitación en animales (PVD), pruebas y control de mastitis (PCM), adecuado manejo reproductivo (monta natural o inseminación artificial) - (AMR). Escala: (1) se realiza ocasionalmente o muy ligeramente. (2) se realiza adecuadamente, siguiendo normas establecidas y con alcance medio a alto. (3) = (2) + se realiza rigurosamente. (4) = (3) + existen registros que evidencian un sistema bajo control estricto.</p> <p>TR10= <math>\Sigma</math> [CP + BPO + DE + ALV + CRLE + HLB + PVD + PCM + AMR]/36.</p>
<p>TR11. Acceso a servicios técnicos agropecuarios</p>	<p>Agronomía (A), veterinaria (V), zootecnia (Z), consejo de ganaderos (CG), suelos (S), riego y agua (RA). Escala: (1) se accede ocasional o irregularmente. (2) se accede sistemáticamente una vez al año. (3) se accede sistemáticamente más de una vez al año. (4) = (2 o 3) + el servicio logra una contribución efectiva sobre el proceso de reconversión.</p> <p>TR11= <math>\Sigma</math> [A + V + Z + CG + S + RA]/24.</p>
<p><b>Capacidad de transformación para la resiliencia a sequías (TRs)= <math>\Sigma</math> [TR1. + ..... TR11]/11</b></p>	

## 7. Conclusiones y recomendaciones generales

### 7.1 Conclusiones

1. Las dinámicas territoriales que se presentan en la región afectan la resiliencia socioecológica de los sistemas de producción de leche de pequeños productores ubicados en zonas ambientalmente estratégicas de trópico alto (Cundinamarca), las características climáticas y el incremento en la frecuencia de eventos extremos asociados a variabilidad climática limitan la producción de forraje y la expresión del potencial genético de los animales afectando la productividad y rentabilidad de las fincas. Esta situación cada vez es más drástica por el cambio de uso del suelo que se dio en décadas anteriores ya que los sistemas ganaderos en la región han heredado un agroecosistema degradado por usos anteriores (agricultura), actividades desarrolladas bajo modelos convencionales que deterioraron la fertilidad natural del suelo y modificaron la matriz de paisaje simplificándola a partir de prácticas como la deforestación y las quemadas. La pérdida de la biodiversidad llevó a la pérdida de servicios ecosistémicos como la regulación hídrica, además la pérdida de la cobertura natural dejó expuesto al suelo a condiciones climáticas que durante el tiempo han generado procesos de erosión hídrica y/o eólica reduciendo cada vez el potencial productivo del suelo, esto obliga a los productores a utilizar altas cantidades de insumos en los procesos productivos, los cuales han incrementado los costos de

producción reduciendo la rentabilidad de las fincas, este panorama es desalentador al ser estos sistemas poco competitivos en los mercados nacionales e internacionales, por lo tanto se espera que los problemas sociales actuales se agudicen ante la entrada en vigor de los tratados de libre comercio del sector lácteo.

2. Los sistemas de producción de leche que desarrollan la actividad bajo modelos de revolución verde (convencionales) presentan mayor vulnerabilidad y menor resiliencia a condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático que aquellos de base agroecológica. Los procesos de reconversión permiten reducir la vulnerabilidad y mejorar la resiliencia con la incorporación de prácticas agroecológicas y la eliminación de las convencionales o degradativas.
3. La resiliencia socioecológica está determinada por múltiples factores y dinámicas que se presentan en el territorio, por lo tanto, el análisis no se debe limitar a aspectos específicamente biológicos. Los productores toman decisiones con base en la disponibilidad de recursos económicos, el comportamiento del mercado, las políticas sectoriales, el comportamiento meteorológico, entre otros. El modelo productivo o las prácticas que se realizan determinan en gran medida la sensibilidad de los recursos naturales con los cuales cuenta la finca a las condiciones climáticas que limitan la producción, por lo tanto la resiliencia socioecológica depende de prácticas que determinan la tolerancia o adaptación de las especies productivas, buenas prácticas de producción, estado de conservación de los recursos naturales, diseños y manejos que se realizan en el sistema de producción, al igual que el estado de los medios de vida o dotación de capitales de los productores (natural, físico, humano, social y financiero), también se debe considerar las políticas públicas las cuales pueden afectar los medios de vida y las condiciones con los cuales cuenta el productor y su familia que le permiten un buen vivir. Los sistemas ganaderos de base agroecológica o en transición presentan mayor resiliencia socioecológica, la cual no solo se explica por los beneficios en los procesos productivos a nivel de finca, también por la construcción infraestructura social la cual permite construir lasos de solidaridad entre productores y fortalecer estructuras de organización comunitaria, lo que contribuye por ejemplo a asociarse para acopiar la leche mejorando el poder de negociación en los mercados y acceder a recursos públicos que les permita mejorar su infraestructura productiva.

## 7.2 Recomendaciones

1. El análisis de la resiliencia a condiciones de cambio climático debe contar con la participación de las comunidades y productores, de manera que se pueda determinar cuáles son los eventos y de qué forma se afectan los sistemas de producción. Esto permitirá de manera participativa buscar alternativas locales que permitan la adaptación de los sistemas a condiciones de estacionalidad, variabilidad y cambio climático.
2. Se debe mejorar la red climatológica y la disponibilidad ágil de los datos que permitan entender las características del clima de la región y a partir del análisis de los datos determinar periodos críticos que limitan a los sistemas de producción, ya sea estacionalidad, variabilidad o cambios climáticos. A partir de esta información poder tomar acciones mediante prácticas que permitan reducir la vulnerabilidad de los recursos naturales e incrementar la resiliencia socioecológica de los sistemas.
3. Los estudios de resiliencia socioecológica deben permitir establecer políticas públicas sociales, económicas y ambientales que impacten la matriz de paisaje y fortalezcan las dinámicas territoriales en bien colectivo de las comunidades para aportar al desarrollo sostenible que demanda la sociedad.