



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN**

**PROGRAMA DE POSGRADO**

**Análisis de riesgo climático basado en cadena de impacto: Estudio de caso de un paisaje ganadero del Corredor Seco de Nicaragua**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de Posgrado como requisito para optar al grado de**

***MAGISTER SCIENTIAE***

**en Agroforestería y Agricultura Sostenible**

**José René Jarquín Díaz**

**Turrialba, Costa Rica**

**2024**

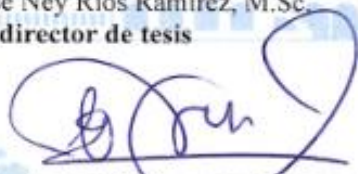
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA Y  
AGRICULTURA SOSTENIBLE**

**FIRMANTES:**



José Ney Ríos Ramírez, M.Sc.  
**Codirector de tesis**



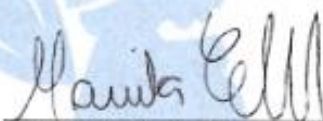
Cristóbal Villanueva Najarro, Ph.D.  
**Codirector de tesis**



Pablo Imbach Bartol, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**



Francisco Casasola Coto, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**



Mariela Leandro Muñoz, Ph.D.  
**Decana, Escuela de Posgrado**



José René Jarquín Díaz  
**Candidato**

## **Dedicatoria**

Con mucho amor y gratitud, dedico este trabajo de tesis a mi papá, René Jarquín, y mamá, Celina Díaz, quienes con su inquebrantable apoyo, amor, sacrificio y perseverancia, han sido mi mayor fuente de inspiración y mi pilar fundamental durante toda mi vida. A mi madre, por su amor, sabiduría, paciencia y consejos invaluable. A mi padre, quien ha sido un ejemplo para mí por su esfuerzo, dedicación y apoyo constante. Gracias por enseñarme el valor del trabajo, la perseverancia, la dedicación y sobre todo, los deseos de superación y de perseguir tus propios sueños.

A mi hermano menor, Bernardo Jarquín, y hermana mayor, Scarleth Jarquín quienes han sido una fuente constante de apoyo durante todo este proceso.

Con todo mi amor y agradecimiento dedico este trabajo a mi amada esposa, Joseling Reyes. Algo en esta vida tuve que haber hecho bien para recibir el apoyo incondicional, comprensión y paciencia de una persona tan maravillosa e inteligente como tú. Gracias por estar siempre a mi lado, por tus palabras de aliento en los momentos difíciles y por creer en mí cuando más lo necesitaba. Tu amor y compañía han sido mi refugio, motivación e inspiración constante.

Por último, quiero dedicar este trabajo a mi pedacito de cielo, Nicaragua. Siempre te llevo y te llevaré conmigo a todas partes, y espero algún día verte convertida en el país que todas y todos los nicaragüenses de bien anhelamos; un lugar donde cada persona pueda pensar, soñar, crecer y sentirse libre.

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y a la Cooperación Suiza en América Central (COSUDE), quienes a través del proyecto Cosecha de Agua en Nicaragua, me otorgaron la beca que me ha permitido perseguir una de mis principales metas académicas y personales.

Agradezco al Sr. Bayardo Quintero y Sra. Luisa Gámez, del proyecto Cosecha de agua, por haber depositado su confianza en mí y postularme como candidato a la beca que me ha permitido alcanzar esta meta. También por todo el apoyo logístico, colaboración y valiosos aportes que brindaron a este trabajo.

A mi comité asesor, MSc. Ney Rios, Dr. Cristobal Villanueva, Dr. Pablo Imbach y MSc. Francisco Casasola, cuyos conocimientos, experiencia y valiosos aportes han sido fundamentales en la realización de esta tesis.

A mis profesores y profesoras, expreso mi más profundo agradecimiento por compartir de manera tan generosa y profesional sus conocimientos, experiencias y lecciones de vida. Su calidez y cordialidad han enriquecido mi formación académica y experiencia en el CATIE. En especial, quiero agradecer a Guillermo Detlefsen, Leida Mercado y Arlene López, quienes además de lo anterior, me brindaron su confianza para participar en pasantías que me permitieron ampliar mi experiencia profesional y obtener remuneraciones económicas que fueron fundamentales para mi gastos de manutención.

A mis compañeros y compañeras de la promoción 2023-2024 y 2022-2023, quienes han sido una parte fundamental de mi experiencia académica y personal, en especial, a mis colegas de maestría, con quienes disfruté mucho compartir e intercambiar experiencias y conocimientos en las aulas de clase y giras de campo.

Agradezco de manera especial a mis amigos, Guido Chaparro (PY), Marcos Filpo (RD), Harold Arguello (RD), Pedro Ogando (RD), Julio Aguilera (ES), Guillermo Recinos (ES), Dany Benavidez (COL) y Enrique López (PR), quienes con su amistad y apoyo, han enriquecido y alegrado mi experiencia en el CATIE de manera incalculable. En mí siempre encontrarán un amigo en quien confiar y un colega de trabajo dispuesto a colaborar y apoyarles en lo que necesiten.

Agradezco al personal administrativo, oficina de posgrado, colaboradores y demás profesores del CATIE por hacerme sentir privilegiado de ser parte de esta prestigiosa institución. En especial, quiero agradecer a los profesores de la unidad de cuencas por su valioso apoyo, confianza, y amistad.

A las familias productoras que participaron en este estudio, por su disposición y amabilidad en apoyar con valiosos datos e información de sus fincas.

Por último, pero no menos importante, a mi amigo, colega de trabajo y profesor, Ing. Isidro Salinas, cuyo apoyo y motivación fueron determinantes para tomar la decisión que me ha llevado a alcanzar esta meta. Gracias por ser una figura inspiradora en mi vida, brindándome no solo su vasto conocimiento y experiencia, sino también su constante aliento y confianza en mis capacidades que me han ayudado a crecer tanto en lo personal como profesional.

## Índice de contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Metodología</b>	<b>3</b>
2.1. Descripción del área de estudio	3
2.1.1. Ubicación	3
2.1.2. Descripción biofísica	4
2.2. Desarrollo y análisis de la cadena de impacto	6
2.2.1. Caracterización del paisaje	6
2.2.2. Definición del riesgo climático	7
2.2.3. Desarrollo de la cadena de impacto	7
2.2.4. Selección de los indicadores y gestión y manejo de los datos	9
2.2.5. Normalización de los datos	12
2.2.6. Agregación de los indicadores y cálculo de los componentes e índice de riesgo	13
2.2.7. Análisis de los resultados de la cadena de impacto e identificación de propuesta de intervención	14
<b>3. Resultados</b>	<b>15</b>
3.1. Características clave del paisaje	15
3.1.1. Aspectos socioeconómicos	15
3.1.2. Aspectos productivos	16
3.1.3. Clima del periodo de referencia	18
3.2. Cadena de impacto	20
3.2.1. Componente de peligro	20
3.2.2. Componente de vulnerabilidad y exposición	28
3.2.3. Cadena de impacto e índice de riesgo climático	30
3.3. Propuesta de medidas de intervención con enfoque de resiliencia climática	33
3.3.1. Clasificación de las fincas	33
3.3.2. Propuesta de intervención a escala de finca y paisaje	36
3.3.3. Propuesta de intervención desagregada por grupos de fincas	37
<b>4. Discusión</b>	<b>39</b>
4.1. Cambios en el régimen de lluvias	39
4.2. Cambios en el régimen de temperaturas	40
4.3. Análisis de la cadena de impacto	41
4.4. Consideraciones finales sobre la propuesta de intervención	42
4.5. Implicaciones para la investigación y la práctica	45
<b>5. Conclusiones</b>	<b>47</b>
<b>6. Agradecimientos</b>	<b>47</b>

<b>7. Bibliografía .....</b>	<b>48</b>
<b>8. Anexos .....</b>	<b>56</b>

### Índice de cuadros

Cuadro 1. Indicadores seleccionados para analizar los componentes y factores de riesgo con la indicación sobre la dirección que contribuye a un incremento del riesgo. ....	9
Cuadro 2. Características generales del uso de la tierra y tamaño del hato de las fincas. ....	16
Cuadro 3. Resultados de las pruebas de hipótesis aplicadas a las variables cuantitativas y cualitativas entre grupos. ....	34
Cuadro 4. Líneas de investigación sugeridas para la evaluación, adaptación mitigación del impacto del cambio climático en el Corredor Seco de Nicaragua. ....	46

### Índice de figuras

Figura 1. Mapa ubicación del área de estudio. ....	3
Figura 2. Características biofísicas del paisaje del área de estudio: (a) Zonas climáticas según la clasificación de Köppen, (b) Zonas de vida en según la clasificación de Holdridge, (c) Uso de la tierra, (d) Conflicto de uso de la tierra. ....	5
Figura 3. Esquematización de los pasos para el desarrollo y análisis de la cadena de impacto (Adaptado de Petutschnig <i>et al.</i> , 2023). ....	6
Figura 4. Factores para analizar los componentes de riesgo. ....	7
Figura 5. (a) Población total de cada municipio, (b) Porcentaje de población urbana y rural a nivel de paisaje y municipio. ....	15
Figura 6. Características de los sistemas de manejo implementados en las fincas. ....	17
Figura 7. Permanencia de las fuentes de agua en las fincas para uso doméstico y pecuario. ....	18
Figura 8. (a) Promedio mensual de la precipitación en los trece municipios y paisaje; (b) Promedio mensual de las temperaturas máximas (Línea naranja) y mínimas (Línea azul) en los trece municipios y paisaje en l y temperatura en el paisaje. ....	19
Figura 9. Valor de la anomalía de precipitación (%) para los tres escenarios climáticos y periodos futuros. (a) Variación mensual, (b) Variación anual y estacional, (c) Variabilidad espacial del valor promedio de la anomalía. ....	21
Figura 10. Valor de las anomalías de temperatura máxima y mínima (°C). Valor de la anomalía de precipitación (%) para los tres escenarios climáticos y periodos futuros. (a) Variación mensual, (b) Variación anual y estacional, (c) Variabilidad espacial del promedio de la anomalía. ....	21
Figura 11. Resultados de los indicadores e índice de peligro. (a) Mapa de clases de peligro para el periodo de referencia, (b) Mapas de clases de peligro para los periodos futuros considerando los tres escenarios climáticos, (c) Cuadro resumen de resultados de los indicadores e índice de peligro. ....	28
Figura 12. (a) Mapa de clases de vulnerabilidad. (b) Valores de los indicadores e índice de vulnerabilidad. (c) Mapa de clases de exposición. (d) Valores de los indicadores e índice de exposición. ....	29
Figura 13. Cadena de impacto del paisaje ganadero de corredor seco de Nicaragua. Se muestran los factores e indicadores de peligro, vulnerabilidad y exposición agregados, incluyendo los impactos intermedios. ....	31
Figura 14. Resultados del índice de riesgo. (a) Mapa de clases de riesgo en la línea de base, (b) Mapas de clases de riesgo para los periodos futuros considerando los tres escenarios climáticos, (c) Cuadro resumen de resultados del índice de riesgo. ....	32
Figura 15. Resultados del análisis conglomerados de las 174 fincas. ....	33
Figura 16. Gráfico producto del análisis de correspondencias. ....	35
Figura 17. Propuesta de medidas de intervención con enfoque de resiliencia climática, incluyendo co-beneficios e impactos y condiciones habilitantes para su implementación. ...	36

Figura 18. (a) Síntesis de principales características y medidas de resiliencia prioritarias para los grupos de fincas identificados, (b) Puntuaciones del índice de riesgo climático en la línea de base y puntos críticos del paisaje identificados en color rojo, (c) Porcentaje de fincas por grupo presentes en los municipios con respecto al paisaje. .... 38

### Lista de acrónimos

<b>Sigla</b>	<b>Significado</b>
AbE	Adaptación Basada en Ecosistemas
AR6	Sexto Reporte de Evaluación
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CENAGRO	Censo Nacional Agropecuario
CMIP6	Proyecto de intercomparación de modelos acoplados Fase 6
COSUDE	Cooperación Suiza en América Central
CSC	Corredor Seco Centroamericano
CSN	Corredor Seco de Nicaragua
CV	Coefficiente de variación
DE	Desviación estándar
DEM	Modelo de Elevación Digital
ETP	Evapotranspiración potencial
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FBN	Fijación Biológica de Nitrógeno
FUNICA	Fundación para el Desarrollo Tecnológico, Agropecuario y Forestal de Nicaragua
GCMs	Modelos de Circulación General
GIZ	Agencia Alemana para la Cooperación Internacional
GWR	Regresión Geográfica Ponderada
INETER	Instituto Nacional de Estudios Territoriales
INIDE	Instituto Nacional de Información de Desarrollo
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MARENA	Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales
NRC	National Resources Council
OIM	Organización Internacional para las Migraciones
OIT	Organización Internacional del Trabajo
Prec	Precipitación (mm)
Rhavg	Humedad relativa promedio (%)
SSP	Rutas Socioeconómicas Compartidas
SRTM	Misión Topográfica Radar Shuttle
SSP	Rutas Socioeconómicas Compartidas
Tavg	Temperatura promedio (%)
THI	Índice de Temperatura y Humedad
Tmax	Temperatura máxima (°C)
Tmin	Temperatura mínima (°C)

# ANÁLISIS DE RIESGO CLIMÁTICO BASADO EN CADENA DE IMPACTO: ESTUDIO DE CASO DE UN PAISAJE GANADERO DEL CORREDOR SECO DE NICARAGUA

José René Jarquín Díaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica  
rene.jarquin@catie.ac.cr

**Resumen:** Los sistemas ganaderos en el CSN enfrentan múltiples riesgos exacerbados por el cambio y la variabilidad climática. El deterioro de estos sistemas de producción puede tener profundas consecuencias en los niveles de pobreza, seguridad alimentaria y bienestar de millones de personas, lo que podría acelerar la migración climática.

Este estudio tiene como objetivo evaluar el riesgo climático asociado con el incremento de la marginalidad productiva en un paisaje compuesto por 178 sistemas ganaderos distribuidos en trece municipios del CSN. Para ello, se emplea un enfoque metodológico basado en el marco conceptual de riesgo climático AR6 del IPCC y de cadena de impacto, que analiza la gravedad del riesgo resultante de la interacción de factores de peligro, vulnerabilidad y exposición.

Además, se busca definir las medidas de intervención apropiadas para construir resiliencia climática en el paisaje. Los resultados indican que los factores de peligro y vulnerabilidad son los más determinantes del nivel de riesgo. Se espera que en el futuro las puntuaciones de riesgo incrementen como resultado de una mayor intensidad de la sequía que afecta inherentemente a la región. El estudio utiliza las características productivas y los sistemas de manejo de las fincas para identificar, mediante un análisis de conglomerados y correspondencias, dos grupos de fincas que orientan la priorización de las intervenciones. Las medidas de resiliencia propuestas se basan en las características de ambos grupos. Para el grupo 1, que tiene un mayor nivel de tecnificación, las medidas se enfocan en la gestión del agua y la mejora genética del ganado. Para el grupo 2, considerado prioritario, se incluyen diversificación productiva, manejo de cobertura arbórea, acceso a riego, pastos mejorados y financiamiento.

La implementación efectiva de la propuesta de intervención requiere un entorno habilitante que aborde la tenencia de la tierra, servicios de extensión, soluciones financieras, opciones de empleo no agrícola y el fortalecimiento de los marcos regulatorios. Con este estudio, se proporciona un enfoque metodológico para orientar y adaptar las evaluaciones de riesgo climático en paisajes productivos, de manera que informen sirva como insumo en la toma de decisiones para la planificación de la resiliencia a escala de finca y paisaje.

**Palabras clave:** Ganadería, cambio climático, riesgo climático, resiliencia climática, sequía, escenarios climáticos, modelos climáticos.

---



# CLIMATE RISK ANALYSIS BASED ON IMPACT CHAIN: CASE STUDY OF A LIVESTOCK LANDSCAPE IN THE DRY CORRIDOR OF NICARAGUA

José René Jarquín Díaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica  
rene.jarquin@catie.ac.cr

**Abstract:** Livestock systems in the CSN face multiple risks exacerbated by climate change and variability. The deterioration of these production systems can have profound consequences for poverty levels, food security, and the well-being of millions of people, potentially accelerating climate migration.

This study aims to assess the climate risk associated with increasing productive marginality in a landscape composed of 178 livestock systems distributed across thirteen municipalities in the CSN. To this end, a methodological approach based on the IPCC's AR6 climate risk conceptual framework and impact chain is employed, analyzing the severity of the risk resulting from the interaction of hazard, vulnerability, and exposure factors.

Additionally, the study seeks to define appropriate intervention measures to build climate resilience in the landscape. The results indicate that hazard and vulnerability factors are the most determinant of the level of risk. It is expected that in the future, risk scores will increase because of a greater intensity of drought that inherently affects the region. The study uses the productive characteristics and management systems of farms to identify, through cluster and correspondence analysis, two groups of farms that guide the prioritization of interventions. The proposed resilience measures are based on the characteristics of both groups. For Group 1, which has a higher level of mechanization, measures focus on water management and genetic improvement of livestock. For Group 2, considered a priority, measures include productive diversification, management of tree cover, access to irrigation, improved pastures, and financing.

The effective implementation of the proposed intervention requires an enabling environment that addresses land tenure, extension services, financial solutions, non-agricultural employment options, and the strengthening of regulatory frameworks. With this study, a methodological approach is provided to guide and adapt climate risk assessments in productive landscapes, so that it can inform decision-making for resilience planning at the farm and landscape scale.

**Keywords:** Livestock farming, Climate change, climate risk, climate resilience, drought, climate scenarios, climate models.

## 1. Introducción

El cambio climático ejerce una presión significativa sobre la agricultura, la ganadería, los ecosistemas y el bienestar de millones de personas a nivel global. Sin embargo, sus efectos se intensifican en países en desarrollo (Thornton *et al.*, 2009), debido a la alta dependencia de sus sistemas socioeconómicos de los recursos naturales para la producción de materia prima (IPCC, 2022). En este contexto, el AR6 del IPCC reconoce a Centroamérica como una de las regiones en desarrollo más afectadas por los fenómenos climáticos. Esta situación exacerba los problemas de pobreza, desigualdad, crecimiento demográfico, escasez de agua, inseguridad alimentaria, pérdida de biodiversidad y cambio de uso del suelo, que representan los desafíos más apremiantes de la región (IPCC, 2022), especialmente en países como Honduras, Guatemala y Nicaragua (Kreft *et al.*, 2016).

Es importante resaltar que Centroamérica alberga el CSC, una región transfronteriza que, debido a sus características biofísicas y socioeconómicas, se posiciona como una de las zonas del mundo más expuestas y vulnerables al cambio climático (Huber *et al.*, 2023). Esta región abarca el 30 % del territorio centroamericano, se extiende desde Panamá hasta Guatemala por el este (Solera, 2021), y alberga aproximadamente 10.5 millones de habitantes, de los cuales dos tercios viven en zonas rurales por debajo del umbral de pobreza y dependen de la agricultura y ganadería de subsistencia (Van der Zee *et al.*, 2012).

En esta región, los sistemas de producción dependen fundamentalmente de precipitaciones oportunas y suficientes durante la estación húmeda para producir alimentos, forrajes y la generación de ingresos (Depsky & Pons, 2020). Esta alta dependencia de la lluvia hace que incluso pequeñas variaciones en su patrón puedan generar impactos potencialmente severos en los recursos hídricos y en los sistemas de producción locales (Pascale *et al.*, 2021).

Sin embargo, a medida que el clima está cambiando en la dirección esperada por el calentamiento global (IPCC, 2022), las proyecciones climáticas para la región indican un aumento en la intensidad y frecuencia de la aridez y los eventos hidroclimáticos extremos durante los próximos años. Esto se traducirá en un decrecimiento de la precipitación y un aumento de las temperaturas, lo cual afectará negativamente el suministro de agua y la humedad del suelo (Depsky & Pons, 2020). Como consecuencia, se esperan impactos graves y desproporcionados en el rendimiento de los cultivos, la ganadería, los ingresos y la seguridad alimentaria de millones de personas, lo que exacerbará los problemas de pobreza, migración y degradación ambiental en la región (Canu *et al.*, 2018).

En Nicaragua, el CSC abarca el 30.1 % del territorio nacional (OIT, 2022) y concentra el 75.4 % de los sistemas de producción agropecuarios del país (CENAGRO, 2012). Estos sistemas, en su mayoría, corresponden a pequeñas unidades de producción familiar, que combinan actividades agrícolas y pecuarias (Acosta y Díaz, 2014) y se caracterizan por rendimientos bajos, altamente influenciados por la estacionalidad climática y por el uso de tecnologías tradicionales (Dixon *et al.*, 2001). Por lo tanto, se anticipa un descenso significativo en la producción de diversos cultivos y especies animales como consecuencia de las condiciones climáticas futuras (Hannah *et al.*, 2017).

En este contexto, resulta imperativo desarrollar respuestas informadas al cambio climático para fortalecer la resiliencia de los sistemas de producción locales. No obstante, los esfuerzos por comprender las interacciones entre el clima, la producción agropecuaria y los servicios ecosistémicos en este tipo de regiones a menudo no logran respaldar los procesos de toma de decisión dirigidos a fortalecer la adaptación (Adger *et al.*, 2018). Si bien los modelos de impacto de cambio climático aplicados en los sectores productivos y los ecosistemas ofrecen

insumos fundamentales para facilitar este proceso, es esencial complementar este tipo de resultados con información de los usuarios y actores clave del territorio para identificar los factores más relevantes y las posibles interacciones que impulsan un riesgo determinado, de manera que se facilite la definición de los puntos de entrada claves para identificar las medidas de intervención más apropiadas y, por lo tanto, mejore la formulación de políticas efectivas y de alto impacto (Andrews *et al.*, 2023; GIZ *et al.*, 2018).

Bajo ese marco, surge el método de cadena de impacto propuesta por Schneiderbauer *et al.* (2013). Este marco tiene como objetivo ampliar la comprensión de los factores climáticos, socioeconómicos y ambientales que impulsan las amenazas vinculadas con el clima y conducen al riesgo climático a través de diversos métodos de recolección, análisis de datos y procesos participativos. En este marco, el riesgo climático se define como un impacto potencialmente adverso que surge de la interacción entre factores de peligro, exposición y vulnerabilidad del sistema socioecológico que conforma el dominio del análisis.

Con base en estos antecedentes, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el riesgo climático en un paisaje ganadero del CSN durante tres periodos que consideran dos horizontes de tiempo futuro (2021-2040 y 2041-2060) y una línea de base representativa de las condiciones actuales. La evaluación del riesgo se realiza utilizando el marco conceptual AR6 del IPCC, el cual lo define como un compuesto de las dimensiones de peligro, vulnerabilidad y exposición (IPCC, 2022) que se operativiza a través de la metodología de cadena de impacto, con base en la guía Evaluación de Riesgo Climático para la Adaptación Basada en Ecosistemas de GIZ *et al.* (2018), diseñada para planificadores y practicantes.

Como parte de los procesos participativos, el estudio considera la aplicación de encuestas a usuarios del paisaje y consultas con expertos en cambio climático, agricultura y ganadería, quienes conforman el equipo central del estudio. La triangulación de los datos obtenidos a través de estos métodos permite obtener una perspectiva más amplia para comprender los factores de riesgo más relevantes y las medidas de intervención más adecuadas para el dominio del análisis.

## 2. Metodología

### 2.1. Descripción del área de estudio

#### 2.1.1. Ubicación

El área de estudio se ubica en un paisaje productivo dentro del CSN, compuesto por un mosaico de 178 sistemas de producción, predominantemente ganaderos, distribuidos en trece municipios de Nicaragua que se localizan en la región pacífico y central del país (latitud 1510232.4 N – 1349950.8 N y longitud 482399.0 O – 607368.9 O) y que abarca una extensión espacial de 663,842.4 ha (Figura 1). Los 178 sistemas de producción considerados en este estudio, son beneficiarios del proyecto “Adaptación de la agricultura al cambio climático a través de la cosecha de agua en Nicaragua” ejecutado por el CATIE durante el periodo en el periodo 2014-2023 con financiamiento de COSUDE, CATIE, socios locales y beneficiarios.

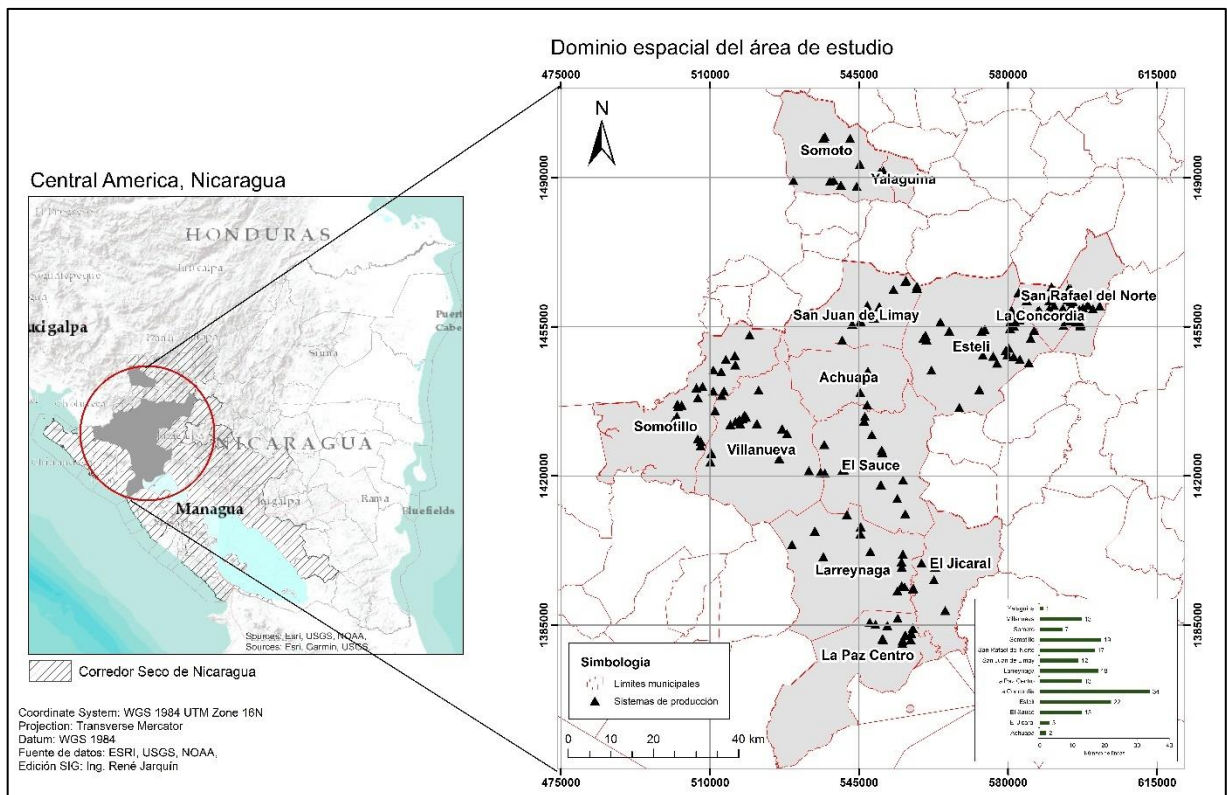


Figura 1. Mapa ubicación del área de estudio.

Al estar ubicado en el CSN, es una región propensa a condiciones climáticas extremas, en la cual la sequía es un fenómeno recurrente. Este comportamiento se asocia a un patrón de distribución irregular de la lluvia sobre el territorio durante la época lluviosa (Van der Zee *et al.*, 2012), el cual impacta en el rendimiento de los cultivos, el ganado, los ingresos, la seguridad alimentaria y el bienestar de las personas (Depsky & Pons, 2020). El agua requerida para las actividades productivas no es suficiente, tampoco para garantizar la recarga de cuerpos de agua y nacientes. Esto desencadena episodios de sequía agrícola exacerbados por las altas temperaturas y las características de los suelos (Teweldebirhan Tsige *et al.*, 2019), lo que deteriora los medios de vida de miles de hogares (Graterol *et al.*, 2019).

### 2.1.2. Descripción biofísica

Según INETER (2005), el clima del paisaje se clasifica como tropical subhúmedo y monzónico (AW) en la mayor parte de su territorio, que se caracteriza por presentar una estación seca corta y bien marcada durante el año. La principal diferencia entre los tipos AW0, AW1 y AW2 radica en la cantidad de precipitación que reciben durante la estación seca y en la duración de los periodos de sequía meteorológica, que tienden a ser más prolongados y severos en los dos últimos (Figura 2a). En esta región del país, la temperatura media anual es de 24.5 °C (19.3-29.6 °C) y presenta un acumulado de lluvia promedio de 1381 mm (Fick & Hijmans, 2017).

En cuanto a las zonas de vida, predominan en el paisaje los bosques de tipo subtropical húmedo (bh-S), los cuales se caracterizan por su biodiversidad y una alta densidad de especies vegetales y animales adaptadas a condiciones de cálidas y húmedas. También se encuentran bosques de tipo subtropical seco (bs-S), que exhiben una vegetación más resistente a la sequía, con árboles caducifolios y arbustos adaptados a estaciones secas prolongadas. En menor representación, se observan parches de bosques montanos bajos (bmh-MBS), propios de altitudes intermedias. De esta forma, se muestra una mezcla de características de bosques subtropicales y montanos, con una mayor influencia de la elevación en su clima y composición vegetal y bosque tropical seco (Bs-T), conocidos por una marcada estacionalidad en la distribución de las precipitaciones (Chávez y Jara, 2001) (Figura 2b).

Con respecto al uso de la tierra, las pasturas (33.3%), la vegetación arbustiva (25.5 %) y los bosques latifoliados (17.1 %) corresponden a los usos más predominantes. La alta presencia de pastizales se debe al cambio de uso de suelo de la cobertura boscosa en la región hacia la agricultura y la ganadería extensiva (MARENA, 2019), que han dado como resultado el establecimiento de extensas áreas de pastura de bajo rendimiento junto con la producción de cultivos de subsistencia, ambos usos con procesos avanzados de degradación de suelos (Van der Zee *et al.*, 2012; Bendaña, 2012; Gotlieb & García Girón, 2020). Tal situación ha ocasionado la fragmentación de los paisajes, cambios en la composición de las especies, pérdida de servicios ecosistémicos y de biodiversidad (Tobar-López *et al.*, 2019) (Figura 2c).

Por último, el mapa de conflicto de uso de la tierra indica que el 41.6 % del área total del paisaje se encuentra bajo la categoría de subutilizado, que se refiere al uso de la tierra por debajo de su capacidad productiva, mientras que el 17.2 % se encuentra sobreutilizado, que se presenta en unidades donde los sistemas de producción tienen un aprovechamiento intensivo de la tierra que sobrepasa su potencial. En cambio, el 33.8% paisaje se encuentra bajo un uso adecuado y corresponde a aquellas áreas donde la tierra está siendo utilizada según su capacidad productiva (INETER, 2018) (Figura 2d).

En este tipo de paisajes, la mayor presencia de tierras subutilizadas se debe a la falta de recursos por parte de las familias rurales para gestionar un uso más intensivo acorde con su capacidad productiva. Esto se debe principalmente a condiciones socioeconómicas, por ejemplo, la edad del jefe de hogar, el nivel de escolaridad, los ingresos, el tamaño de la familia, el acceso a mercado, tecnologías, insumos, servicios de extensión, vías de comunicación e inestabilidad sociopolítica. Dichos factores influyen decisivamente en las capacidades técnicas para intensificar el uso de la tierra en zonas rurales (Yan *et al.*, 2016). Por su parte, la sobreutilización en este paisaje es inducida por la práctica de tala y quema llevada a cabo por los productores para el establecimiento de cultivos y pastos, acompañada de un uso posterior inadecuado (Vammen & Peña, 2022).

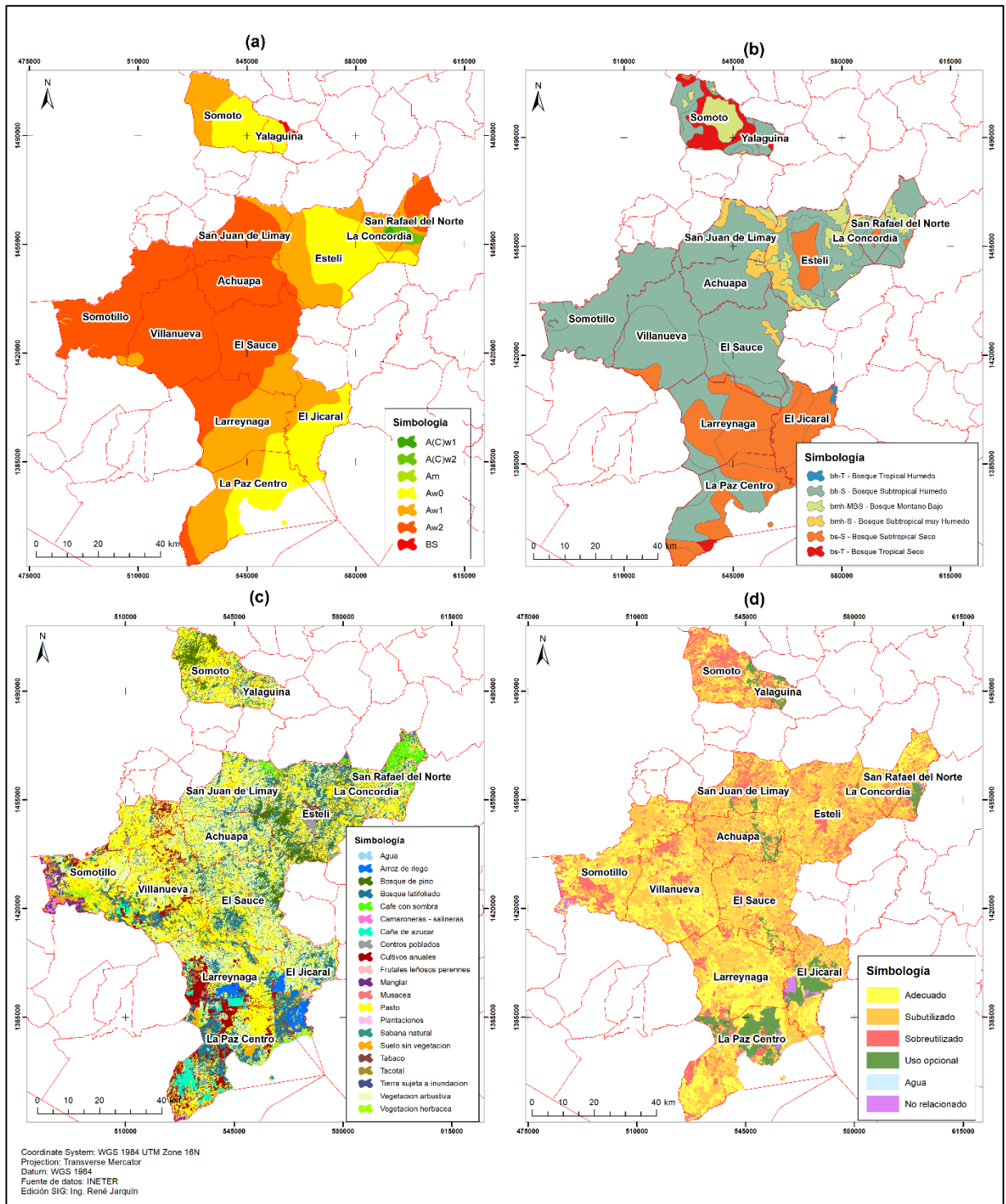


Figura 2. Características biofísicas del paisaje del área de estudio: (a) Zonas climáticas según la clasificación de Köppen, (b) Zonas de vida en según la clasificación de Holdridge, (c) Uso de la tierra, (d) Conflicto de uso de la tierra.

## 2.2. Desarrollo y análisis de la cadena de impacto

Este análisis operativiza el marco conceptual de riesgo climático del AR6 (IPCC, 2022) a través del enfoque de la guía *Evaluación de Riesgo Climático para la Adaptación Basada en Ecosistemas* de GIZ *et al.* (2018), que se desarrolló para planificadores y practicantes. El dominio del análisis está enmarcado en tres límites: uno espacial, correspondiente al área del paisaje; uno sectorial, vinculado al mosaico de sistemas de producción ganaderos; y uno temporal, que se dividió en un periodo actual o línea de base y dos horizontes de tiempo futuro para la planificación, comprendidos entre 2021-2040 y 2041-2060. El desarrollo y análisis considera 11 pasos que combinan procesos participativos con diversas técnicas de recolección y análisis de datos cuantitativos y cualitativos, de las cuales se derivan índices e indicadores espacialmente explícitos para describir y analizar el riesgo y sus componentes a nivel de municipio (Figura 3).

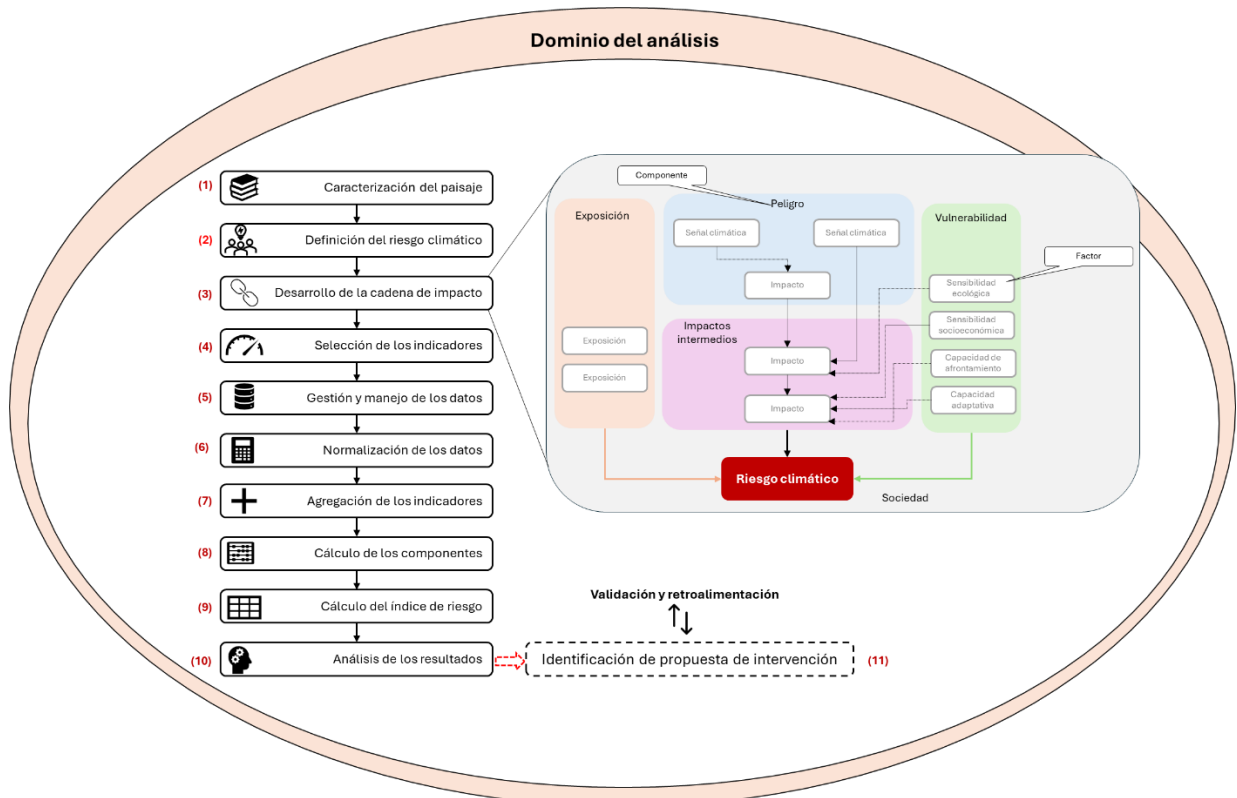


Figura 3. Esquematación de los pasos para el desarrollo y análisis de la cadena de impacto (Adaptado de Petutschnig *et al.*, 2023)

### 2.2.1. Caracterización del paisaje

Este paso se enfoca en identificar las variables que describen y tipifican el paisaje de interés, sus recursos e interacciones. En este sentido, la caracterización se centra en aspectos socioeconómicos de los municipios, características productivas de las 178 fincas y condiciones climáticas históricas.

En cuanto a los aspectos socioeconómicos, se contemplan datos de tasa de población urbana y rural, nivel de ingreso y ocupación a nivel de paisaje. Para recopilar esta información, se efectúa una revisión sistemática de literatura a través del motor de búsqueda de Google Scholar utilizando diferentes combinaciones de las siguientes palabras clave: "Dry Corridor of Central America", "Nicaragua", "Farmers", "Food security", "Climate change", "Rural population" y "Livelihoods". Estas palabras también fueron traducidas al español para hacer búsquedas en este idioma.



Las características productivas se recopilan a través de una encuesta aplicada entre los meses de octubre y noviembre de 2023 a los jefes de hogar de las 178 fincas distribuidas en el paisaje. Se descartaron 4 encuestas debido a que no cumplieron con los requisitos mínimos para utilizarse en este estudio<sup>1</sup>. Si bien la encuesta recopila una diversidad de datos e información (Revisar Anexo 1-MC1), se utilizan como descriptores características del uso de la tierra, tamaño del hato, características de los sistemas de manejo implementados y disponibilidad de las fuentes de agua. Estos resultados se analizaron a través de estadísticos descriptivos y frecuencias relativas.

Con respecto al clima, se describen sus condiciones históricas. Se considera la temperatura máxima y mínima (°C) y precipitación (mm) a nivel mensual de una serie de datos de 30 años, para el periodo 1970-2000. Los conjuntos de datos se descargaron de WorldClim 2.1 (Fick & Hijmans, 2017) a una resolución espacial de 30 arcseg (~1 km<sup>2</sup> en el ecuador) y se procesaron en RStudio (R Core Team, 2024).

### 2.2.2. Definición del riesgo climático

Para el presente estudio, el riesgo climático se define como el incremento en la marginalidad productiva en fincas ganaderas del paisaje vinculado a condiciones climáticas futuras e interacción de los componentes de peligro, vulnerabilidad y exposición; por lo cual, determina la probabilidad de que los hogares rurales experimenten una disminución gradual o pérdida total de la capacidad de producción agropecuaria de sus fincas.

### 2.2.3. Desarrollo de la cadena de impacto

Definido el riesgo, el paso 3 aborda los componentes de peligro, exposición y vulnerabilidad a nivel de municipio. El equipo de trabajo tiene un rol protagónico para definir, analizar y consensuar sobre los factores pertenecientes a cada componente de riesgo climático, que permitan analizar el riesgo del paisaje e identificar una propuesta de intervención factible (Figura 4).

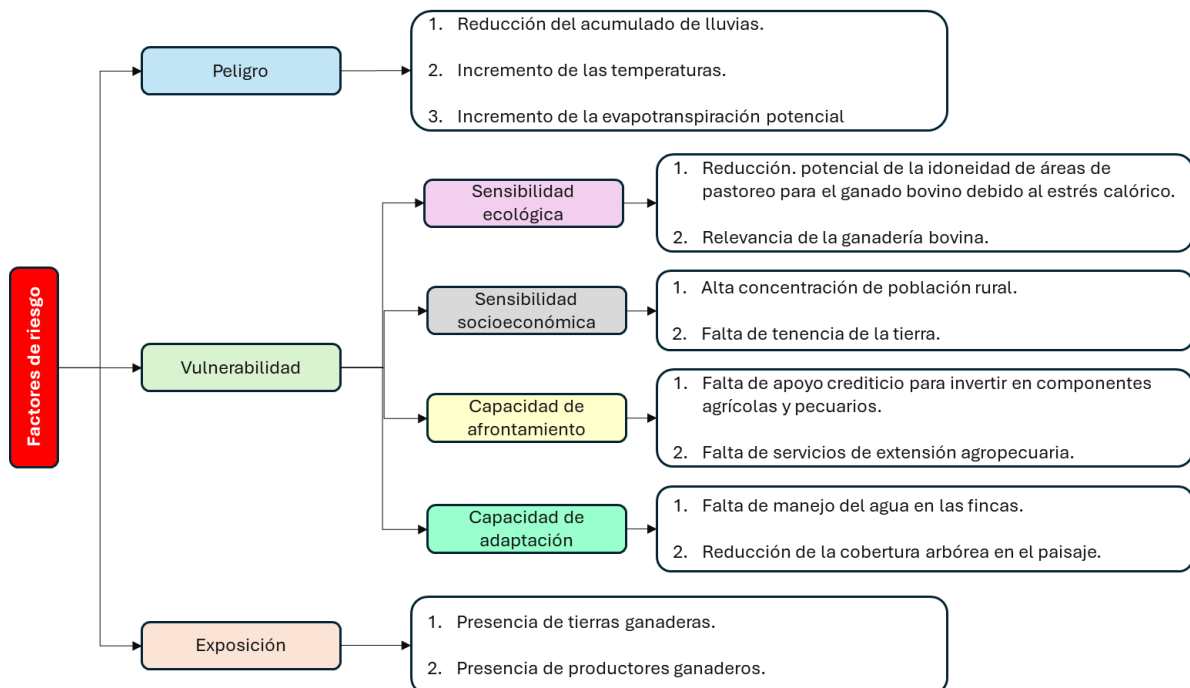


Figura 4. Factores para analizar los componentes de riesgo.

<sup>1</sup> Las encuestas no recopilaron toda la información necesaria para realizar el análisis completo.



### 2.2.3.1. Peligro climático

El peligro climático se define como la ocurrencia de un evento o tendencia física natural de origen climático que puede causar daños en los sistemas humanos y ecológicos (IPCC, 2022). Para definir los factores de peligro se calculan las anomalías climáticas de precipitación y temperatura, que considera un periodo de referencia o línea de base y una condición climática futura. El cálculo se expresa como cambios relativos, para el caso de la precipitación (Ec. 1), y diferencias absolutas, para las temperaturas (Ec. 2).

$$\Delta X_i = \frac{X_{Fi} - X_{Ci}}{X_{Ci}} * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\Delta X_i = X_{Fi} - X_{Ci} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde  $\Delta X_i$  es el valor de la anomalía;  $X_{Fi}$  la media de la variable en el clima futuro en el mes  $i$  y  $X_{Ci}$  la media de la variable en el periodo de referencia del mes  $i$ .

Como datos futuros se utilizan resultados estadísticamente reducidos a 30 arcseg y ajustados por sesgo derivados del CMIP6 de ocho GCM<sup>2</sup> (EC-Earth3-Veg, GISS-E2-1-G, INM-CM5-0, IPSL-CM6A-LR, MIROC6, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0 y UKESM1-0-LL). Para las proyecciones, se consideran dos periodos futuros: 2021-2040 y 2041-2060; y tres escenarios de calentamiento global: SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5. Bajo cada escenario, se calcula el promedio aritmético de los ocho GCMs como método de ensamble. En el proceso de recopilación y análisis de los datos se utiliza RStudio<sup>3</sup>. Este proceso permite definir como factores de peligro la reducción del acumulado de lluvias y el incremento de las temperaturas y de la evapotranspiración potencial en el paisaje.

### 2.2.3.2. Vulnerabilidad

Se define como la propensión o predisposición del paisaje a verse afectado negativamente, se determina en subcomponentes de sensibilidad y capacidad. En el presente estudio, se considera como factores de sensibilidad la reducción de la idoneidad de áreas de pastoreo para el ganado bovino debido al estrés calórico, la relevancia de la ganadería bovina, la alta concentración de población rural y la falta de tenencia de la tierra. En cuanto a los factores de capacidad, se considera la falta de apoyo crediticio para invertir en componentes agrícolas y pecuarios, la falta de servicios de extensión agropecuaria, la falta de manejo del agua en las fincas y la reducción de la cobertura arbórea en el paisaje.

### 2.2.3.3. Exposición

Por exposición se entiende a la presencia de personas, medios de vida, especies o bienes de interés social en lugares o entornos donde podrían verse afectados negativamente por el cambio climático (IPCC, 2022). Para describir este componente en el presente estudio, se priorizan las fincas ganaderas participantes del proyecto, dada su relevancia en la economía nacional y local. Se parte del supuesto de que, al ser un sector con recursos para desarrollar mayor resiliencia, constituya un vehículo multiplicador incluso en sistemas no ganaderos. Esto permite definir como factores de exposición zonas ganaderas y sus medios de vida a nivel de paisaje.

---

<sup>2</sup> En el MC3 se muestran resultados del sesgo promediado de los ocho GCMs con respecto a los datos históricos. En general, los resultados de temperatura muestran un sesgo positivo para todos los modelos, en cambio, la precipitación muestra un sesgo negativo en la mayoría de los modelos (GISS-E2-1-G, INM-CM5-0, IPSL-CM6A-LR, MIROC6, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0 y UKESM1-0-LL).

<sup>3</sup> Son considerados los datos de WordClim 2.1.

## 2.2.4. Selección de los indicadores y gestión y manejo de los datos

En esta sección, se abordan los aspectos asociados a la disponibilidad de los datos, capacidades técnicas, tiempo y recursos financieros para seleccionar 14 indicadores cuantitativos que mejor reflejen los factores identificados en los componentes de riesgo (Cuadro 1). La dirección de todos los indicadores es proporcional a las necesidades de mejora; es decir, un valor elevado del indicador representa un estado crítico del factor de riesgo.

Cuadro 1. Indicadores seleccionados para analizar los componentes y factores de riesgo con la indicación sobre la dirección que contribuye a un incremento del riesgo.

Componente	Sub componente	Factor	Indicador	Dirección	Fuente de datos
Peligro		Reducción del acumulado de lluvias.	1-Eventos de sequía	-	WorldClim 2.1; Beguería y Vicente-Serrano, 2023)
		Incremento de la evapotranspiración potencial		-	
		Incremento de las temperaturas.	2-Meses con altas temperaturas	-	WorldClim 2.1
Vulnerabilidad	Sensibilidad ecológica	Reducción de la idoneidad de áreas de pastoreo para el ganado bovino debido al estrés calórico	3-Índice de temperatura y humedad	-	INETER, 2018; Copernicus; SRTM
		Relevancia de la ganadería bovina	4-Densidad ganadera	-	Encuesta
	Sensibilidad socioeconómica	Alta concentración de población rural.	5-Población rural (%)	-	INIDE, 2022
		Falta de tenencia de la tierra.	6-Hogares que no poseen tenencia de las tierras (%)	-	CENAGRO, 2012**
	Capacidad de afrontamiento	Falta de apoyo crediticio para invertir en componentes agrícolas y pecuarios.	7-Fincas que no reciben créditos (%)	-	CENAGRO, 2012
		Falta de servicios de extensión agropecuaria.	8-Fincas que no reciben servicios de extensión rural (%)	-	CENAGRO, 2012
	Capacidad de adaptación	Falta de manejo del agua en las fincas.	9-Fincas que no poseen sistemas de riego (%)	-	CENAGRO, 2012
			10-Fincas que sólo disponen de fuentes de agua temporales (%)	-	CENAGRO, 2012
		Reducción de la cobertura arbórea en el paisaje.	11-Relación bosque-pasto	-	INETER, 2018
	Exposición		12-Fincas con producción ganadera convencional (%)	-	Encuesta
			Presencia de tierras ganaderas	13-Áreas de pasto (ha)	-
		Presencia de productores ganaderos.	14-Número de fincas ganaderas	-	Encuesta

\*\*Los datos recopilados del CENAGRO se encuentran en el material complementario MC8.

### 2.2.4.1. Indicadores de peligro

- i. **Eventos de sequía:** Se definen como los meses del año que el cociente entre la precipitación media (mm) y la evapotranspiración potencial (mm) mensual son menores que uno. La propuesta de este indicador se basa en la idea de proporcionar a través de una métrica simple e intuitiva, una medida más amplia para evaluar agua disponible, al considerar tanto las entradas como el principal mecanismo de pérdida en zonas secas donde las temperaturas son predominantemente altas (Stagge *et al.*, 2015; Tirivarombo *et al.*, 2018). El umbral seleccionado ( $Prec/ETP < 1$ ) se basa en el sistema de clases propuesto por Yin *et al.* (2022) para clasificar tierras secas. La fuente de los datos de precipitación corresponde a los valores climáticos descargados y procesados

de Worldclim 2.1 para describir el clima histórico y calcular las anomalías futuras. Por otro lado, los datos mensuales de evapotranspiración potencial se calculan en base al método de Hargreaves (1994)<sup>4</sup> a partir de datos de temperatura máxima y mínima de la misma fuente, y de datos de radiación extraterrestre provenientes del paquete “SPEI” (Beguería y Vicente-Serrano, 2023) disponible en Rstudio, que se utiliza para el procesamiento y cálculo.

- ii. **Meses con altas temperaturas:** Para definir este indicador, se toma en cuenta un umbral de temperatura. El umbral seleccionado se basa en un estudio realizado por la CEPAL (2010), el cual, al integrar el enfoque Ricardiano<sup>5</sup> y de función de producción para estimar los efectos del cambio climático sobre el sector agropecuario en Nicaragua, determina que, en términos cuadráticos, una temperatura media de 26.3°C maximiza la función de producción agropecuaria y que valores por encima de este umbral ocasionarían un nivel de producción menor. Si bien las disminuciones de la temperatura por debajo de este valor también pueden ocasionar un nivel de producción menor, en la dirección de las tendencias observadas en la región (Aguilar *et al.*, 2005; Bouroncle *et al.*, 2017), se espera que el paisaje experimente un incremento generalizado de las temperaturas. La fuente de los datos de temperatura proviene de la media entre los datos de temperatura máxima y mínima recopilados de WorldClim 2.1.

#### 2.2.4.2. Indicadores de vulnerabilidad

##### ❖ Sensibilidad ecológica

- i. **Índice de Temperatura y Humedad (THI):** Es una medida que cuantifica el estrés calórico en rumiantes, útil para determinar los potenciales efectos de condiciones prolongadas de alta temperatura ambiental y humedad relativa sobre la productividad y salud del ganado bovino (Ekine-Dzivenu *et al.*, 2020). El cálculo del THI se desarrolla a nivel mensual para cada municipio sobre la base del área del paisaje ocupada por pastos, tanto para el periodo de referencia como futuros. La fórmula utilizada está adaptada de la propuesta por el NRC (1971) (Ec. 3) y la metodología de cálculo se muestra en el Recuadro 1.

$$THI_i = (1.8T_{avg_i} + 32) - [(0.55 - 0.0055RH_{avg_i})(1.8T_{avg_i} - 26.8)] \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde  $T_{avg_i}$  y  $RH_{avg_i}$  representan la temperatura (°C) y humedad relativa (%) promedio del mes  $i$  respectivamente.

#### Recuadro 1. Metodología para el cálculo del THI.

Los conjuntos de datos de  $T_{avg}$  que se utilizan para el cálculo provienen de WordClim 2.1. En cambio, los datos de  $RH_{avg}$  provienen de Copernicus (Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store, 2021), utilizando una serie temporal diaria de 1981-2000 como periodo de referencia. Debido a que estos datos se encuentran a una resolución original de 0.08° (~10 km<sup>2</sup> en el Ecuador), el estudio considera la aplicación de un procedimiento de reducción de escala (downscaling) para generar datos

<sup>4</sup> Si bien existen otros métodos disponibles para calcular la ETP que pueden ser más precisos (por ejemplo, Penman - Monteith), requieren de variables climáticas adicionales (por ejemplo, la humedad relativa y la velocidad del viento) que no están disponibles fácilmente como modelos climáticos (Girvetz & Zganjar, 2014). Es por ello que los resultados presentados aquí deben interpretarse teniendo en consideración los posibles inconvenientes del método de Hargreaves (1994), pero también reconociendo que se trata de un método ampliamente utilizado que proporciona una estimación razonable y bastante útil de este parámetro en condiciones donde los datos completos no están disponibles (Jung *et al.*, 2016).

<sup>5</sup> El enfoque Ricardiano es una metodología a través de la cual se puede, en principio, corregir el posible sesgo en las estimaciones basadas en la función de producción, ya que permite analizar cómo el clima afecta el valor neto de las tierras cultivadas (Cepal, 2010).

climáticos a la misma resolución espacial que los datos de Tavg (30 arcos,  $\sim 1 \text{ km}^2$ ) para realizar los cálculos del THI correspondientes. El método que se utiliza es una regresión geográfica ponderada ejecutada en el *software* SAGA a través del algoritmo denominado GWR (Fotheringham *et al.*, 2002, Fotheringham *et al.*, 1998), empleando como variable regresora datos de elevación del terreno obtenidos del DEM del SRTM a una resolución de 30 arcos (Farr & Kobrick, 2000). Como resultado de este procedimiento, se obtiene un conjunto de datos de RH diarios reducidos a la resolución del DEM, que se utilizan para calcular el promedio mensual y luego para determinar el THI de cada mes<sup>6</sup>. El umbral seleccionado (THI>75) se basa en la escala propuesta por Hahn *et al.* (2009), la cual indica los siguientes rangos de estrés calórico para rumiantes: normal  $\leq 74$ ; moderado 75–78; grave 79–83; muy grave (emergencia)  $\geq 84$ .

- ii. **Densidad ganadera** Considera el número de animales por municipio afectados por el estrés calórico. Se considera relevante para el análisis el uso de este indicador porque sugiere que, bajo condiciones climáticas adversas, una mayor cantidad de ganado implica que los animales compiten intensamente por agua y alimento, lo que aumenta la presión sobre los recursos y la vulnerabilidad del ganado a enfermedades y malnutrición.

#### ❖ **Sensibilidad socioeconómica**

- i. **Población rural (%):** Es una medida basada en representación de la población rural por municipio. Se considera relevante integrar al análisis la representatividad de los hogares rurales a nivel de municipio, los cuales, por sus características, son reconocidos como una de las poblaciones más vulnerables al cambio climático (Handley *et al.*, 2014). Para obtener estos datos, se utilizó el informe estadístico del Inide (2022).
- ii. **Hogares que no poseen tenencia de las tierras (%):** Este indicador considera el porcentaje de fincas catalogadas como alquiladas, cedidas o prestadas utilizadas por los jefes de hogar nivel de municipio. La elección de este indicador se fundamenta en el planteamiento de que la tenencia segura de la tierra es un incentivo que influye en las decisiones de adaptación y resiliencia climática de los hogares (Murken & Gornott, 2022).

#### ❖ **Capacidad de afrontamiento**

- i. **Fincas que no reciben créditos (%):** Considera el número de fincas a nivel de municipio que no reciben créditos destinados a actividades agrícolas y pecuarias. Este indicador se considera relevante debido a que el acceso a este servicio permite ampliar y fortalecer las opciones de respuesta de los hogares al cambio climático (Batung *et al.*, 2023).
- ii. **Fincas que no reciben servicios de extensión rural (%):** Este indicador considera el porcentaje de fincas a nivel de municipio que no tiene acceso a servicios de asistencia técnicas y capacitación agropecuaria. La integración de este indicador al análisis se basa en que la asistencia y capacitación constituyen el centro de los esfuerzos realizados tanto por instituciones públicas como privadas para gestionar el riesgo climático a través de los recursos y medios de vida disponibles (Kalimba & Culas, 2020; Antwi-Agyei & Stringer, 2021).

<sup>6</sup> A excepción del GWR, el procesamiento de los datos y generación de resultados se ejecuta en Rstudio (Revisar material complementario MC5).

### ❖ **Capacidad de adaptación**

Teniendo en cuenta que la producción de cultivos alimenticios y forrajeros en el paisaje depende fundamentalmente de las precipitaciones y del agua retenida en el suelo (Jaramillo *et al.*, 2020), se considera clave incorporar los siguientes indicadores para describir la capacidad de adaptación debido a que influyen decisivamente en las capacidades de los hogares para gestionar la escasez de agua:

- i. **Fincas que no poseen sistemas de riego (%):** Considera el porcentaje de fincas sin riego a nivel de municipio.
- ii. **Fincas que solo disponen de fuentes de agua temporales (%):** Considera el porcentaje de fincas con fuentes de agua temporales tanto para uso doméstico como pecuario.

Finalmente, el análisis de vulnerabilidad considera relevante describir la presencia de árboles, tanto a nivel de municipio como de finca, debido a que el acelerado deterioro de la cobertura arbórea en la región está afectando servicios ecosistémicos clave para minimizar el riesgo y reducir el impacto sobre los medios de vida de las familias rurales (Locatelli *et al.*, 2011). En este marco, se definen los siguientes indicadores:

- iii. **Relación bosque-pasto:** Este indicador expresa a nivel de municipio la relación entre las hectáreas de bosque y pasto. Para generar el cálculo se utilizan datos de cobertura de suelo de INETER (2018). Dentro de la categoría de bosque se incluyen todas las áreas ocupadas por bosque latifoliado y de coníferas.
- iv. **Fincas con producción ganadera convencional (%):** Considera el porcentaje de fincas que no poseen los sistemas silvopastoriles identificados en la encuesta.

#### **2.2.4.3. Indicadores de exposición**

El análisis de la exposición incluye dos indicadores, cuya fuente de datos proviene de la encuesta a jefes de hogar.

- i. **Áreas de pasto (ha):** Este indicador cuantifica las áreas totales de pastura que ocupan las 174 fincas a nivel de municipio. Se considera relevante este indicador debido a que los medios de vida de las fincas dependen fundamentalmente de la cantidad y calidad de las hectáreas de pasto disponibles.
- ii. **Número de fincas ganaderas:** El número de fincas ganaderas es un indicador relevante para analizar la exposición al cambio climático porque refleja la distribución y concentración de las fincas a nivel de municipio. Además, un mayor número de fincas puede indicar una mayor dependencia de medios de vida basados en ganadería, lo cual aumenta la competencia por recursos naturales, como agua y pastizales, especialmente durante periodos de sequía.

#### **2.2.5. Normalización de los datos**

Para facilitar la comparabilidad tanto de los indicadores seleccionados como de los índices calculados, es necesario estandarizar los datos a una escala común sin unidades. En este estudio, se utiliza un proceso de normalización lineal para llevar todos los datos a una escala de 0 (óptimo, sin necesidad o posibilidad de mejora) a 1 (valor crítico, fuera de funcionamiento), según sus valores máximos y mínimos utilizando la siguiente ecuación:

$$X_n = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde  $X_n$  representa el valor normalizado,  $X_i$  el valor individual a ser transformado,  $X_{min}$  y  $X_{max}$  el valor más bajo y alto posible del indicador respectivamente. En el material complementario MC8 se muestran los valores “crudos” y normalizados de los indicadores.

### 2.2.6. Agregación de los indicadores y cálculo de los componentes e índice de riesgo

Una vez que se normalizan los indicadores, se agregan aritméticamente para generar índices de peligro, vulnerabilidad, exposición a nivel de municipio. Este proceso considera la asignación de pesos iguales a cada indicador correspondiente y se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$IAg_i = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde  $IAg_i$  representa el índice agregado,  $X_n$  los indicadores asociados al componente  $i$  y  $n$  el número total de indicadores del componente en cuestión.

A diferencia de los indicadores de peligro que describen una circunstancia temporal de las variables climáticas, los indicadores de vulnerabilidad y exposición reflejan una situación transversal del paisaje, que considera las incertidumbres asociadas a este tipo de datos. Por lo tanto, el cálculo de los índices de vulnerabilidad y exposición se enfoca en un solo periodo denominado línea de base. En cambio, el índice de peligro se calcula tanto para el periodo de referencia (1970-2000) como futuro (2021-2040 y 2041-2060) bajo cada escenario climático.

De manera similar a la Ec. 5, se calcula el riesgo general, tomando en cuenta los componentes de peligro, vulnerabilidad y exposición en un solo índice a través de la media aritmética. En el material complementario MC8 se muestra el proceso de cálculo de cada índice.

$$\text{Índice de riesgo} = \frac{\text{Índice de peligro} + \text{Índice de vulnerabilidad} + \text{Índice de exposición}}{3} \quad \text{Ec. 6}$$

Para facilitar la visualización de los resultados de cada índice, se utiliza un sistema de cinco clases determinadas por un umbral de criticidad. Las clases son: 0.0-0.2 (muy bajo), >0.2-0.4 (bajo), >0.4-0.6 (intermedio), >0.6-0.8 (alto) y >0.8-1.0 (muy alto). En el caso del índice de riesgo, un valor muy bajo refleja un estado muy positivo que debe mantenerse con prácticas y políticas actuales. De manera similar, un valor bajo indica una situación generalmente positiva que requiere estrategias preventivas para mejoras adicionales. Ahora bien, un valor intermedio señala un estado de transición con desafíos moderados que deben gestionarse en el corto y mediano plazo; un valor alto refleja un estado preocupante que necesita medidas correctivas urgentes y una supervisión continua. Finalmente, un valor muy alto representa un caso crítico que demanda atención inmediata, coordinación con todas las partes interesadas y la implementación de soluciones sostenibles y a largo plazo.

Si bien los indicadores que se utilizan para calcular los índices de vulnerabilidad y exposición solo toman en cuenta condiciones de la línea de base, los resultados del índice de peligro proyectados permiten efectuar cálculos del índice de riesgo para los horizontes futuros, considerando solo las variaciones en los indicadores de peligro. El objetivo de este procedimiento es obtener una aproximación de los potenciales cambios en la gravedad del riesgo para los periodos 2021-2040 y 2041-2060, impulsados por el cambio climático, bajo el supuesto de que los factores de vulnerabilidad y exposición se mantienen constantes.

### 2.2.7. Análisis de los resultados de la cadena de impacto e identificación de propuesta de intervención

A partir de la comparabilidad de los resultados del índice de riesgo, se analizan las puntuaciones de cada municipio para identificar los puntos críticos del paisaje y la contribución de los componentes de peligro, vulnerabilidad y exposición a la puntuación final. Con base en los factores de vulnerabilidad y exposición, se identifican puntos de entrada para definir una propuesta de intervención general con enfoque de resiliencia climática para el paisaje. En este estudio, se define la resiliencia climática adaptando el concepto de IPCC (2022), como la capacidad del sistema socioecológico que integra el paisaje para abordar tendencias o perturbaciones peligrosas impulsadas tanto por factores climáticos como socioeconómicos inherentes del paisaje, respondiendo o reorganizándose de manera que pueda adaptarse, incluso modificando su función, identidad o estructura esencial, según sea necesario para enfrentar estos desafíos. Esta propuesta se somete al análisis de cinco expertos para ajustar, validar y retroalimentar las medidas apropiadas para el paisaje.

Si bien la propuesta no ofrece directrices específicas para la planeación e implementación debido a que se requiere de un análisis espacial y de procesos consulta más profundos que superan el alcance de este estudio, para mitigar esta limitación, en el recuadro 2 se propone un procedimiento práctico para priorizar las potenciales intervenciones por tipos de fincas en el paisaje, considerando los datos recopilados en el estudio a través de la encuesta.

Recuadro 2. Procedimiento para para identificar grupos de fincas prioritarios y tipos de intervención apropiadas por grupos de fincas en el paisaje.

Se propone la utilización de características clave recopiladas a través de la encuesta, como el área total de pasturas (ha), área de pastos cultivados (ha), área de pastos naturales (ha), tamaño del hato bovino, cabezas de ganado por hectárea, tipo de pastoreo, presencia de sistemas de riego, implementación de sistemas silvopastoriles y disponibilidad de agua para uso doméstico y pecuario. Estas características se utilizan para agrupar tipos de fincas con características similares mediante un análisis de conglomerados utilizando la medida de distancia Gower y el método de Ward. En dependencia del número de grupos identificados se selecciona y aplica una prueba estadística para determinar qué características difieren significativamente. Posteriormente se analizan las asociaciones de rasgos categorizados utilizando un análisis de correspondencias, con el fin de inferir las necesidades específicas de cada grupo para desarrollar resiliencia. El procesamiento de los datos y generación de los resultados se realiza en el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

Utilizando los resultados del recuadro 2, se determinan las medidas que deben ser prioritarias a escala de finca para gestionar el riesgo en el corto plazo, desagregadas por los grupos identificados. Estas medidas se clasifican en convencionales (por ejemplo, basadas en ingeniería), blandas (por ejemplo, capacitación, seguros, etc.), basadas en ecosistemas (por ejemplo, sistemas silvopastoriles) y soluciones híbridas (que combinan soluciones convencionales y de AbE) (GIZ *et al.*, 2018). Con este resultado, se ofrece un punto de partida crucial tanto para la validación con expertos y actores locales, como para facilitar el diseño y formulación de las etapas posteriores de planeación e implementación de la propuesta general.

### 3. Resultados

#### 3.1. Características clave del paisaje

##### 3.1.1. Aspectos socioeconómicos

Los 13 municipios aglutinan una población total de 658,794 habitantes que representa el 9.7% de la población nacional (INIDE, 2022). A nivel de paisaje, existe poca diferencia entre el porcentaje de población urbana (56 %) y rural (44 %) (Figura 5). Sin embargo, a nivel de municipio, se observa una mayor concentración de población rural en El Jicaral, La Concordia, Yalaguina, Achuapa, San Rafael del Norte, San Juan de Limay, El Sauce, Somoto y Larreynaga.

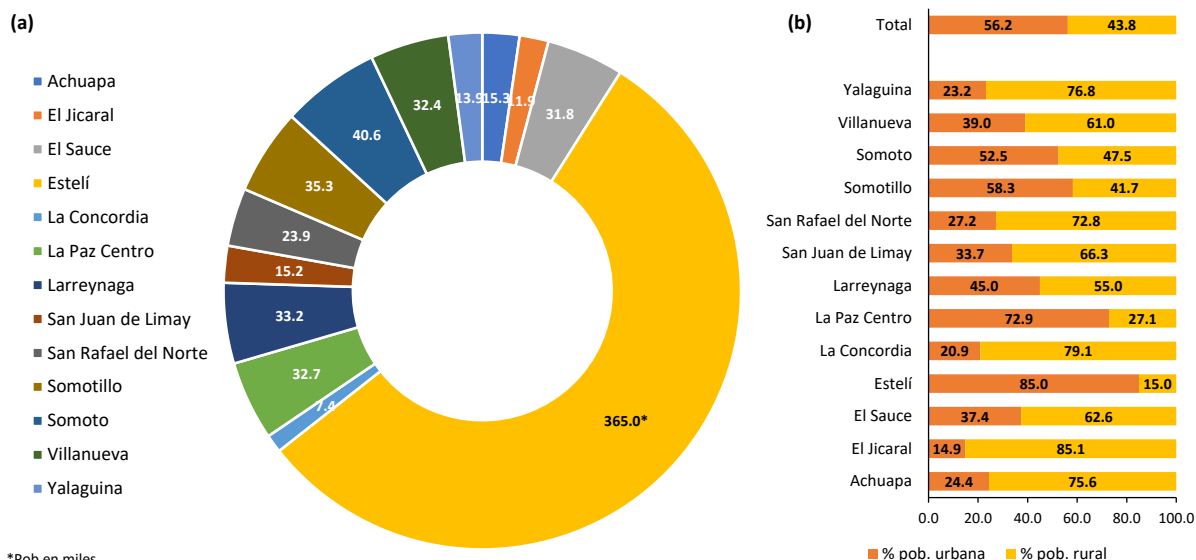


Figura 5. (a) Población total de cada municipio, (b) Porcentaje de población urbana y rural a nivel de paisaje y municipio.

Cerca del 60 % de la población rural en el paisaje se dedica a actividades agropecuarias (OIT, 2022), siendo el sistema de producción predominante el de finca familiar con la producción de granos básicos como núcleo de subsistencia en combinación con la crianza especies animales menores o de ganado bovino en amplias áreas de pastoreo (Graterol *et al.*, 2019; Van der Zee *et al.*, 2012; Gotlieb & García Girón, 2020). En general, estos productores trabajan parcelas cuyos rendimientos se ven altamente afectados por la estacionalidad climática de la zona, lo que se traduce en una baja productividad (Dixon *et al.*, 2001). Como resultado, la mayoría de estos sistemas de producción se orientan al autoconsumo, con pocos excedentes para el mercado, lo cual limita considerablemente el nivel de ingresos de las familias (FAO, 2015). En consecuencia, se estima que el 60 % de las familias productoras de esta zona viven bajo la línea de pobreza (Orgaz, 2019). Según Peralta *et al.* (2012), el ingreso mensual promedio de estos hogares, utilizado para cubrir contingencias climáticas y no climáticas, es de aproximadamente US\$ 177.0, y proviene principalmente de la venta de la mano de obra familiar.

En cuanto a la ocupación, el sector agropecuario constituye el principal empleador de la región, con una participación del 30.9 % de la fuerza laboral (OIT, 2022). Le siguen otras actividades concentradas principalmente en zonas urbanas, como el comercio y reparación de vehículos (20.3 %), los servicios comunales, sociales y personales (19.5 %) y las industrias manufactureras (10.5 %). Sin embargo, la precariedad laboral, caracterizada por la subocupación, la informalidad y los bajos niveles de remuneración, ha convertido a la región



en uno de los principales focos de migración climática del país. Este fenómeno se ha visto exacerbado por los efectos del cambio climático, a través de la pérdida de cultivos, la reducción de ingresos y el deterioro de los medios de vida rurales (OIM, 2019).

### 3.1.2. Aspectos productivos

La encuesta reveló una alta variabilidad en cuanto al área total de las fincas y tamaño del hato (Cuadro 2). El área de las fincas oscila entre un mínimo de 2.8 ha y un máximo de 551.5 ha, con un promedio de 70.9 ha<sup>7</sup>. En cuanto al hato bovino, se registró un promedio de 95.7 cabezas de ganado, con valores que van desde 0 hasta 906 cabezas.

Cuadro 2. Características generales del uso de la tierra y tamaño del hato de las fincas.

Variable	Media	D.E.*	Mediana	Mínimo	Máximo	CV**
Área de la finca (ha)	70.9	77.8	43.9	2.8	551.5	109.9
Área de pasturas (ha)	52.9	58.5	35.1	2.1	421.6	110.6
Área de pasturas naturales (ha)	36.5	45.2	24.6	0	278.9	123.8
Área de pasturas sembradas o cultivadas (ha)	15.9	37.9	2.8	0	289.5	237.5
Usos de suelo por finca	1.8	0.8	2.0	1	5	42.6
Hato bovino por finca	95.7	94.2	71.5	0	906	98.4

\*Desviación estándar, \*\*Coeficiente de variación

Respecto al área destinada a pasturas, la encuesta reveló un promedio de 52.9 ha, con una variabilidad considerable que va desde 2.1 ha hasta 421.6 ha. En consonancia con este hallazgo, se observó que las áreas de pastos naturales (36.5 ha) superan en promedio a las áreas ocupadas por pastos sembrados o cultivados (15.9 ha). En cuanto a los usos del suelo, se identificó un promedio de 1.8 tipos de usos por finca, con una variación entre 1 y 5. Entre los usos más comunes destacan las áreas ocupadas por pastos, bosques riparios, tacotales, cultivos anuales o perennes y bosques.

En cuanto a las características de los sistemas de manejo, se identificó que el 87.5 % de las fincas utilizan pastos naturales<sup>8</sup> para la alimentación del ganado. Este tipo de especies forrajeras ocupa el 69.0 % del área total de pasturas reportadas en las fincas. En cambio, el 30.2 % está ocupada por pastos cultivados<sup>9</sup>, los cuales son utilizados por el 70.5 % de las fincas. Con respecto al pastoreo, se observa una clara preferencia por el pastoreo extensivo, con el 85 % de las fincas adoptando este manejo. Este sistema de pastoreo consiste básicamente en la disposición de áreas abiertas de pasto para la alimentación del ganado bovino sin la implementación de estrategias de control o regulación del consumo del forraje (Figura 6).

En cuanto a la aptitud productiva, la mayoría de las fincas (75 %) se caracterizan por un sistema de producción de doble propósito, orientado tanto a la producción de leche como a la venta de animales de descarte o cría de novillos para engorde. Sin embargo, dentro de esta categoría, se observan variaciones en el énfasis productivo. Esto explica que un porcentaje menor de las fincas señala que la aptitud de su hato prioriza la producción de leche (18 %) o carne (6 %) a través de razas provenientes del cruce de animales cebú con razas europeas como Brahman x Pardo Suizo, o bien, mediante el uso de razas con mayor habilidad para la producción de leche y de machos con buena ganancia de peso como Gyr, Gyrolando, Guzerat

<sup>7</sup> En esta región del país, el área promedio de las fincas ganaderas (N= 16,586) asciende 61.3 ha (CENAGRO, 2012).

<sup>8</sup> “Los pastos naturalizados son aquellos que fueron introducidos por el ganadero hace mucho tiempo pero que se han adaptado tan bien a la zona que después se multiplican por sí solos (Ej. jaragua, Asia, guinea)” (Gómez y Urbina, 2020, p. 6).

<sup>9</sup> Se refiere fundamentalmente a pasturas mejoradas que han sido sembradas y manejadas agrónomicamente por los ganaderos con el objetivo de incrementar su durabilidad y producción durante muchos años (Gómez y Urbina, 2020).

y Simmental en proporciones genotípicas desconocidas.

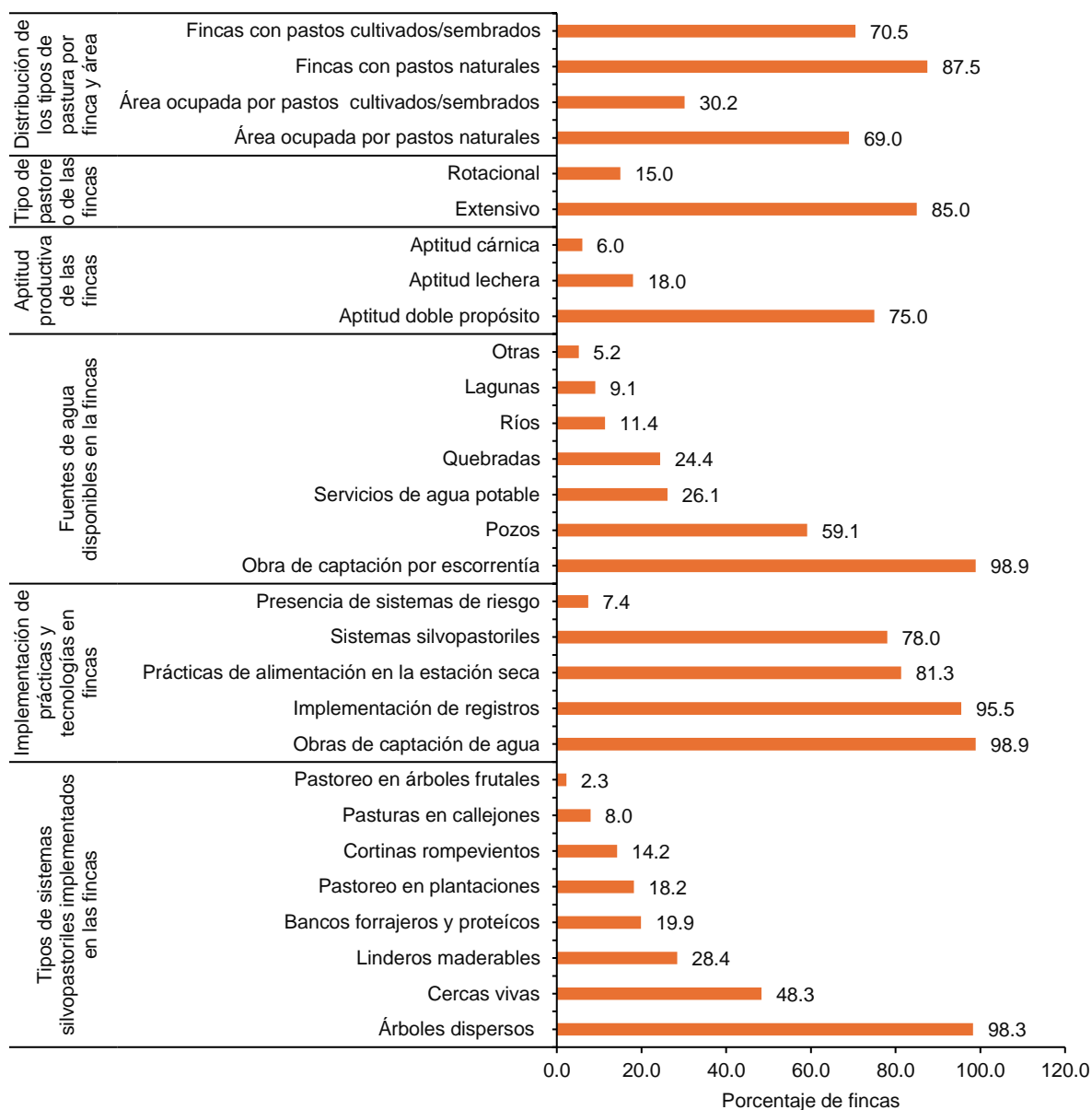


Figura 6. Características de los sistemas de manejo implementados en las fincas.

Al consultar sobre la implementación de prácticas para gestionar la alimentación del ganado en la estación seca, se identificó que el 81.3 % de las fincas implementa al menos una estrategia para enfrentar la escasez en cantidad y calidad de forraje en época seca. De manera similar, una práctica ampliamente utilizada es la cosecha de agua que se reportó en 98.9 % de las fincas. El alto nivel de adopción de esta última práctica se debe a que el CATIE a través del proyecto, ha liderado el desarrollo, validación y transferencia de sistemas de cosecha de agua en las fincas del paisaje con el objetivo de mejorar la disponibilidad de agua para uso doméstico y productivo durante épocas de déficit hídrico en la región.

Respecto a las fuentes de agua disponibles para las fincas, después de las obras de cosecha de agua, los pozos se posicionan como la opción más común (59.1 %), seguido de las quebradas (24.4 %) y los ríos (11.4 %). A pesar de la considerable cantidad de fincas con acceso a fuentes de agua, solo el 7.4 % implementa sistemas de riego. Cabe destacar que un porcentaje notable de fincas (26.1 %) cuenta con servicios de agua potable, lo que indica la presencia de infraestructura de servicios básicos en algunas zonas del paisaje. Con relación a los sistemas de manejo, se observó que el 78 % de las fincas adoptan sistemas silvopastoriles, siendo los árboles dispersos (98.3 %), las cercas vivas (48.3 %) y los linderos maderables (28.4 %) los diseños más frecuentes.

En cuanto a la permanencia de las fuentes de agua disponibles, la encuesta reveló que el 93 % de las fincas cuentan con al menos una fuente de agua de uso permanente durante todo el año para consumo doméstico, mientras que el 89 % la tienen para uso pecuario. Sin embargo, es importante destacar que existe una proporción pequeña pero notable de fincas (11 %) que dependen de fuentes de agua temporales, principalmente para uso pecuario. Esta situación refleja la existencia de desafíos para la seguridad hídrica en algunas unidades productivas, especialmente durante la estación seca o en periodos de sequía prolongados (Figura 7).

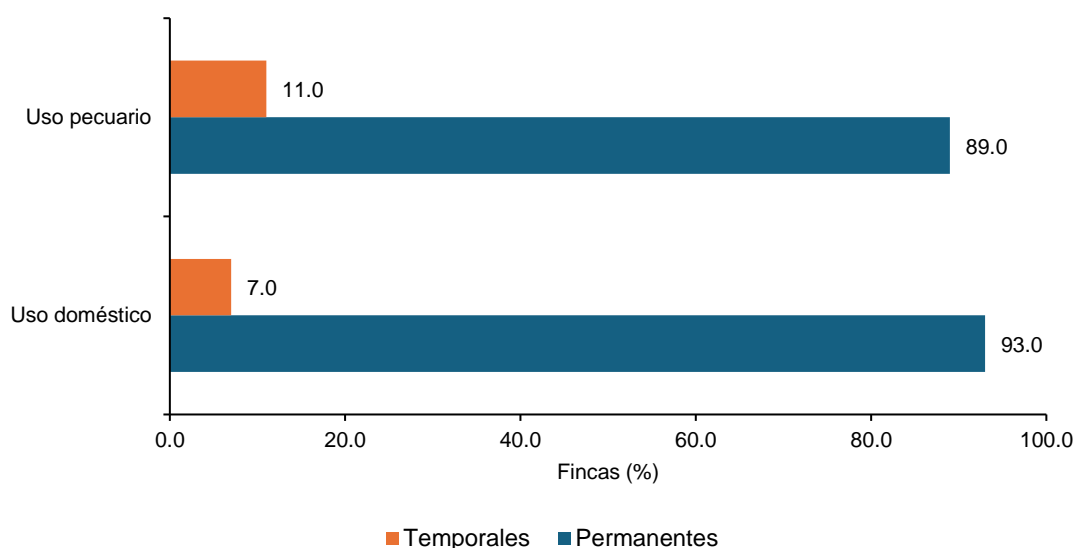


Figura 7. Permanencia de las fuentes de agua en las fincas para uso doméstico y pecuario.

### 3.1.3. Clima del periodo de referencia

El paisaje se caracteriza por un patrón bimodal de precipitación que presenta un acumulado anual de 1381 mm distribuido en una estación húmeda que va mayo a octubre con 1245 mm de lluvia, una canícula entre julio y agosto con 274 mm, y una estación seca de noviembre a abril que presenta un acumulado de 136 mm. En cuanto a las temperaturas, se observa que el mes más cálido del año (abril) alcanza una temperatura máxima de 32°C y el mes más frío (enero) exhibe una temperatura mínima de 18°C (Figura 8a).

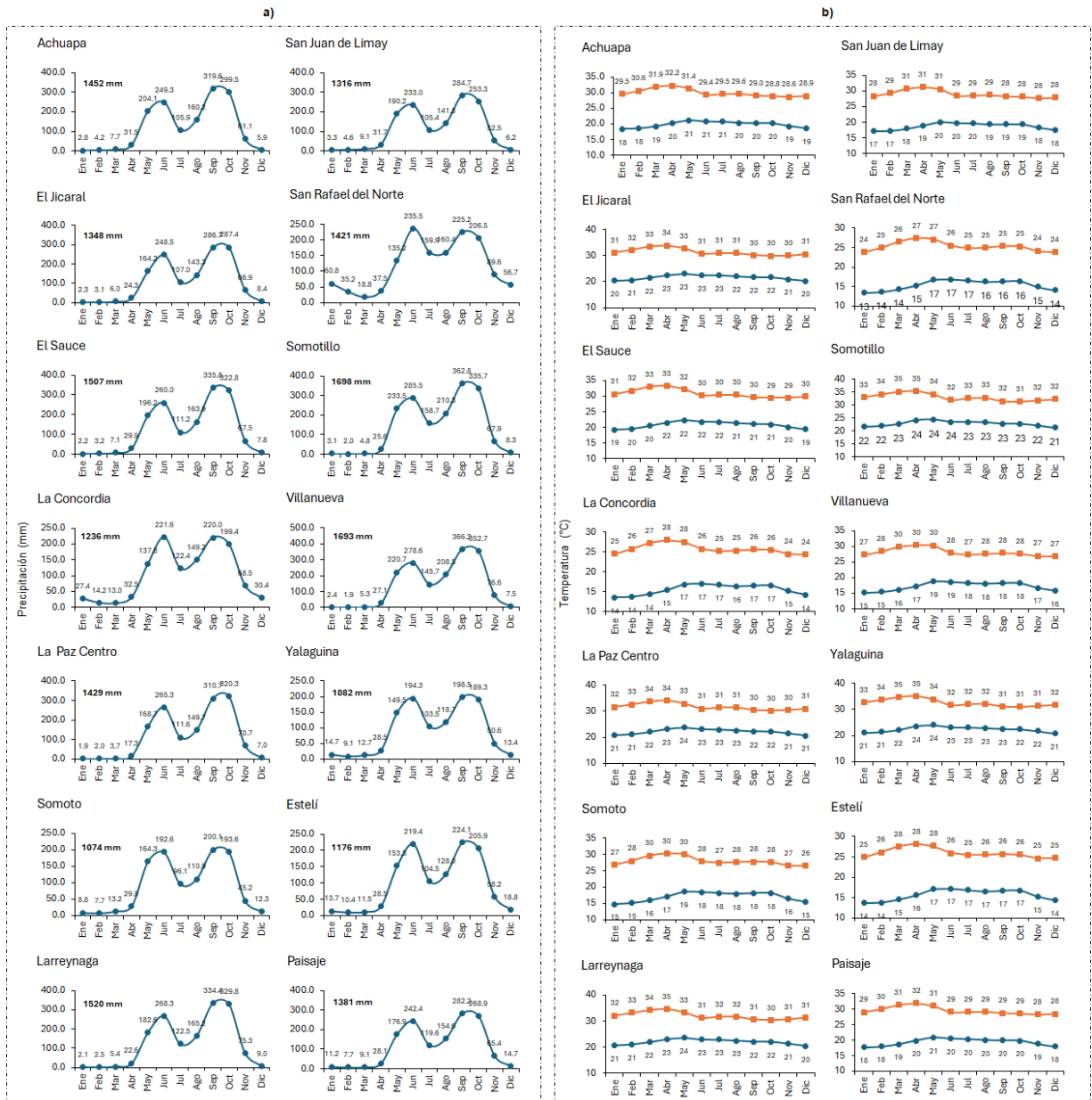


Figura 8. (a) Promedio mensual de la precipitación en los trece municipios y paisaje (en negrita el acumulado anual); (b) Promedio mensual de las temperaturas máximas (línea naranja) y mínimas (línea azul) en los trece municipios y paisaje en I y temperatura en el paisaje.

Los datos a nivel municipal revelan que Somotillo (1698 mm) y Villanueva (1693 mm) experimentan más lluvias al año en comparación con el promedio acumulado anual del paisaje (~ +22 %). En cambio, los municipios de Somoto (1074 mm), Yalaguina (1083 mm), Estelí (1176 mm) y La Concordia (1236 mm) presentan precipitaciones anuales menores con respecto a la media (~ -17 %). En cuanto a la temperatura, los municipios de Somotillo (33°C), Villanueva (32.7°C), Larreynaga (32.1°C) y La Paz Centro (31.7°C) exhiben las temperaturas diurnas más altas. En cambio, San Rafael del Norte (15.5°C), La Concordia (15.6°C), Estelí (15.7°C) y Yalaguina (17.2°C) experimentan las temperaturas más bajas (Figura 8b).

## **3.2. Cadena de impacto**

### **3.2.1. Componente de peligro**

#### **3.2.1.1. Anomalía climática de precipitación**

La Figura 9 ilustra la variación mensual, anual y espacial del valor de la anomalía de precipitación. En primer lugar, se observa una tendencia decreciente de la lluvia a lo largo del siglo XXI, la cual se intensifica bajo el escenario de altas emisiones. Para el período 2021-2040, se proyecta una reducción del acumulado anual de lluvia que varía entre -1.1 % (-15.2 mm) en el SSP2-4.5 y -1.6 % (-22.1 mm) en el SSP5-8.5. En el siguiente período analizado, las disminuciones se intensifican aún más, alcanzando valores de -3.1 % (-42.8 mm), -5.0 % (-69.1 mm) y -5.7 % (-78.7 mm), en función de los tres niveles de concentración de emisiones considerados en cada escenario (Figura 9b).

Al analizar los cambios en la estación húmeda se observa que las disminuciones son más pronunciadas que en el total anual, oscilando entre -4.3 % (-53.5 mm) y -5.3 % (-66 mm) para el período 2021-2040, y entre -8.4 % (-104.6 mm) y -13.1 % (-163.1 mm) durante el 2041-2060. Estas reducciones se acentúan durante los meses de julio, agosto y septiembre. En contraste, la estación seca presenta tendencias crecientes del acumulado de lluvia, con un aumento de ~2 % (+2.7 mm) al final de los dos períodos futuros. Este incremento se concentra principalmente en los meses de octubre y noviembre.

Desde una perspectiva espacial, la dirección de los cambios en la precipitación es bastante uniforme en todo el paisaje. Sin embargo, en términos de magnitud, se observa una variación significativa, con los municipios ubicados al este, como San Rafael del Norte, La Concordia, Estelí, El Sauce y El Jicaral, presentando consistentemente las mayores reducciones. En los tres escenarios evaluados, estos municipios experimentarán una disminución de al menos -2 % en el período 2021-2040, según el valor de la anomalía. Durante el período 2041-2060, se espera que estas disminuciones se intensifiquen aún más, alcanzando valores de entre -4 % y -6 % bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP3-7.0. En el escenario SSP5-8.5, la disminución es aún más pronunciada en este último período, con valores de al menos -7 % en los municipios mencionados (Figura 9c).

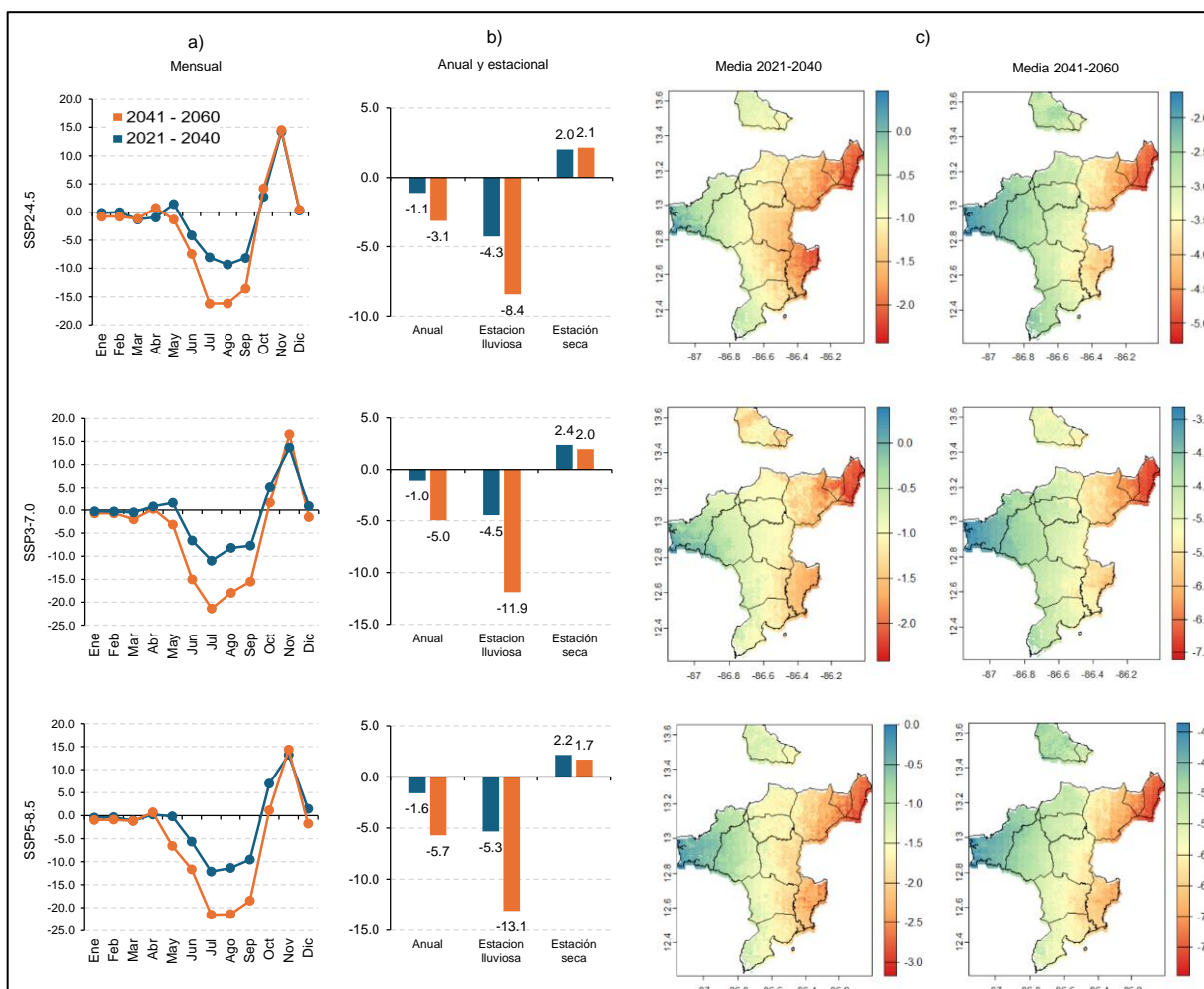


Figura 9. Valor de la anomalía de precipitación (%) para los tres escenarios climáticos y periodos futuros. (a) Variación mensual, (b) Variación anual y estacional, (c) Variabilidad espacial del valor promedio de la anomalía.

### 3.2.1.2. Anomalía climática de temperatura

Con respecto a las temperaturas, los resultados indican que los cambios proyectados bajo cada escenario son positivos durante todos los meses del año, con aumentos continuos que son más pronunciados en el periodo comprendido entre junio y octubre, y que se intensifican con los niveles de forzamiento radiativo (Figura 10). Al analizar la variación mensual, se aprecia un aumento consistente en las temperaturas máximas y mínimas a lo largo del año. Los incrementos son más pronunciados durante el trimestre comprendido por los meses de julio, agosto y septiembre. La diferencia entre ambas temperaturas es notablemente mayor en el periodo 2041-2060 en comparación con 2021-2040, lo que indica un calentamiento más acelerado en el futuro (Figura 10a).

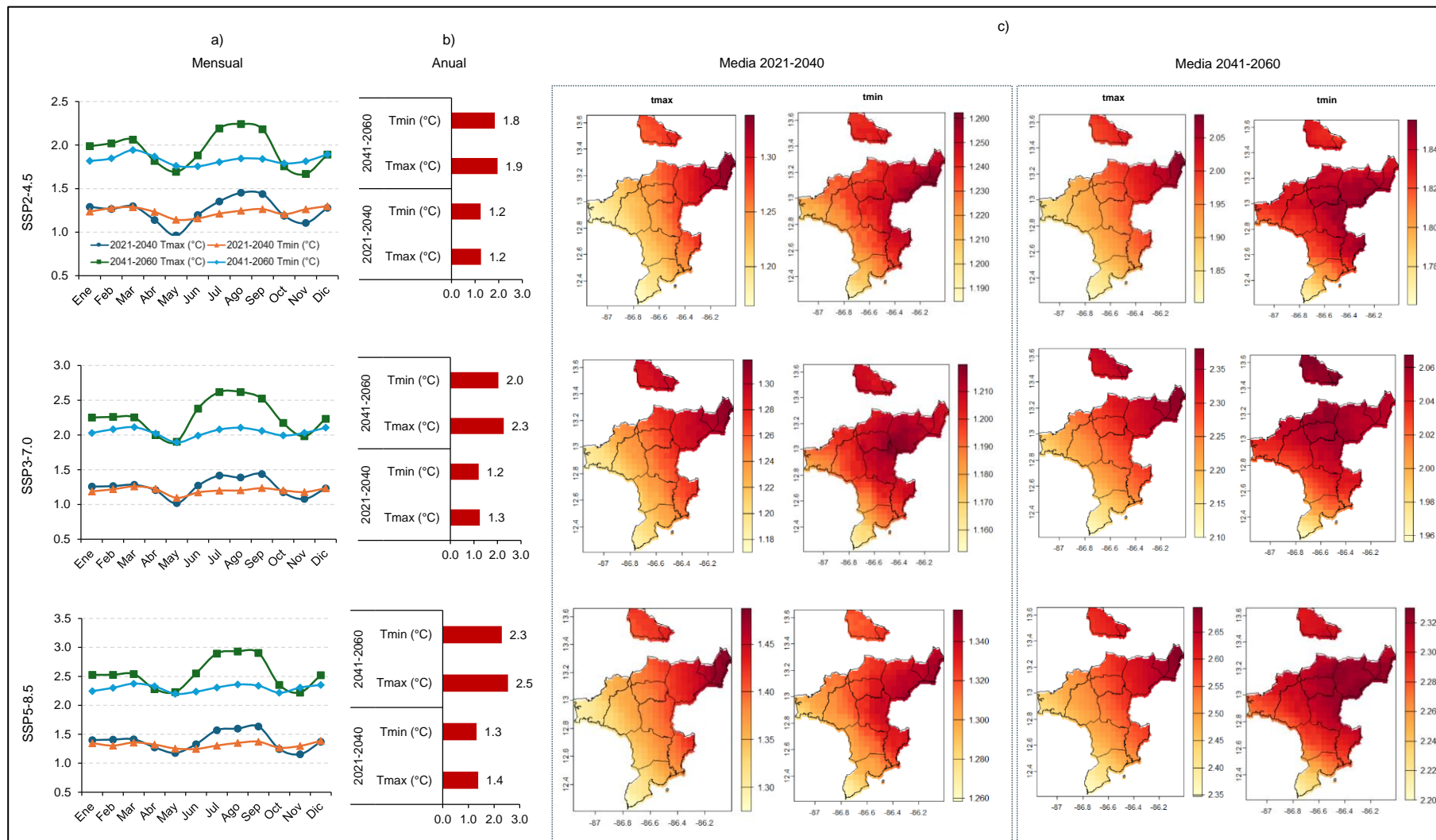


Figura 10. Valor de las anomalías de temperatura máxima y mínima (°C). Valor de la anomalía de precipitación (%) para los tres escenarios climáticos y periodos futuros. (a) Variación mensual, (b) Variación anual y estacional, (c) Variabilidad espacial del promedio de la anomalía.



Independientemente del escenario seleccionado, el paisaje experimentaría un incremento medio anual de las temperaturas diurnas y nocturnas de al menos 1.2°C al final del periodo 2021-2040. Incluso en el escenario SSP2-4.5, el paisaje muestra un calentamiento medio de ~2°C en el periodo 2041-2060. Como se esperaba, el aumento más fuerte se observa en este mismo periodo bajo el escenario SSP5-8.5 con un incremento de 2.5°C y 2.3°C de las temperaturas máximas y mínimas respectivamente (Figura 10b).

A nivel de municipio se observan las mismas tendencias de calentamiento. No obstante, las zonas del este y sur, donde se ubican los municipios de San Rafael del Norte, La Concordia, Estelí, San Juan de Limay, Achuapa y El Sauce muestran un incremento más significativo de manera consistente. Independientemente de la trayectoria seleccionada, el aumento de la temperatura en estos municipios alcanzará valores de al menos 1.3°C al final del periodo 2021-2040 y podría alcanzar hasta 2.6°C para el periodo 2041-2060 (Figura 10c) (Mayores detalles en el material complementario MC7).

### ***Índice de peligro***

En el periodo de referencia se observa que la mayor parte del paisaje, comprendida por 10 municipios, se cataloga con un nivel de peligro que oscila entre alto (<0.6-0.8) y muy alto (<0.8-1.0) (Figura 11a). Si bien los resultados se deben principalmente a la incidencia de temperaturas por encima del umbral de 26.3°C en la mayor parte del año, los eventos de sequía también representan una amenaza significativa en la estación seca y en los dos meses de la canícula contribuyendo a la puntuación (Revisar material complementario MC8). En cuanto a los demás municipios, San Rafael del Norte y La Concordia muestran un nivel de peligro bajo (>0.2-0.4), el cual está determinado por la presencia de altas temperaturas durante el trimestre comprendido por los meses de marzo, abril y mayo. Por su parte, Estelí se cataloga con nivel intermedio de peligro (>0.4-0.6), debido al efecto combinado de temperaturas cálidas durante el mismo trimestre y a la presencia eventos de sequía durante ocho meses del año.

En el futuro, se proyecta un aumento notable del índice de peligro para todos los municipios, especialmente bajo los escenarios de altas emisiones (Figura 11b). Sin importar el escenario, se estima que durante el período 2021-2040, todos los municipios, excepto San Rafael del Norte, presentarán un nivel de peligro que oscilará entre alto y muy alto, debido a las altas temperaturas durante todo el año, lo que impulsará un mayor número de meses secos en algunos municipios como Achuapa, El Jicaral, Larreynaga, La Paz Centro, El Sauce y Estelí. Estas condiciones se mantendrían en el período 2021-2040 bajo el escenario SSP2-4.5. Sin embargo, bajo un mayor forzamiento radiativo, todos los municipios exhibirán un nivel de peligro alto y muy alto durante el período 2041-2060.



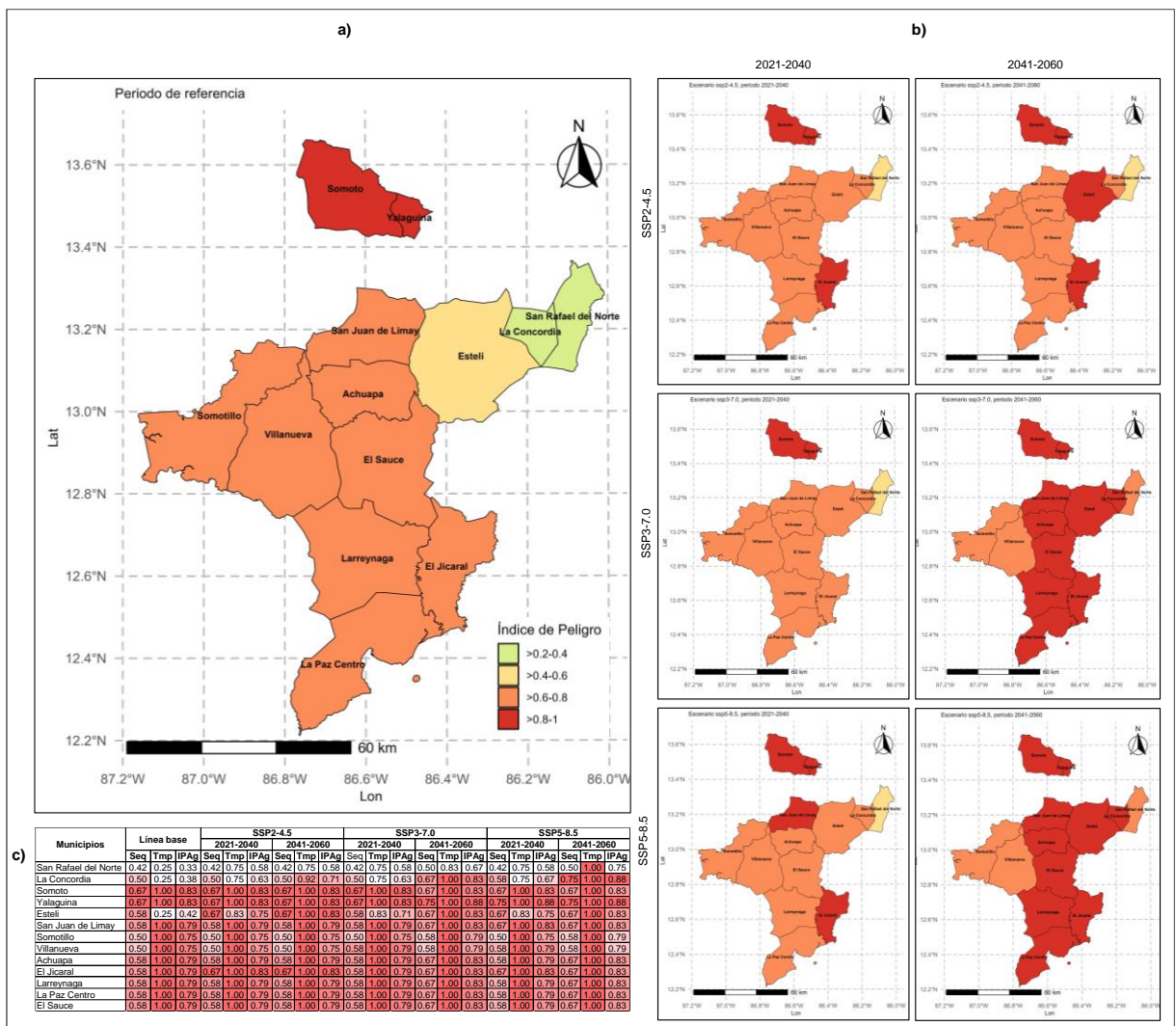


Figura 11. Resultados de los indicadores e índice de peligro. (a) Mapa de clases de peligro para el periodo de referencia, (b) Mapas de clases de peligro para los periodos futuros considerando los tres escenarios climáticos, (c) Cuadro resumen de resultados de los indicadores e índice de peligro.

### 3.2.2. Componente de vulnerabilidad y exposición

La Figura 12 resume los resultados de los indicadores e índices de vulnerabilidad y exposición de los trece municipios. En cuanto al componente de vulnerabilidad (Figura 12a), el paisaje presenta un nivel que varía entre bajo e intermedio. Dentro de la clase de baja vulnerabilidad, se ubican los municipios de San Rafael del Norte, La Concordia, Somoto, Estelí y Achuapa, con índices que oscilan entre 0.30 y 0.40. Por otro lado, los municipios de La Concordia, Yalaguina, San Juan de Limay, Somotillo, Villanueva, El Jicaral, Larreynaga, La Paz Centro y El Sauce exhiben una vulnerabilidad intermedia, con índices que varían ligeramente entre 0.41 y 0.5. Entre los indicadores que tienen mayor peso en el resultado del índice se encuentran la densidad ganadera y la población rural vinculados a los sub componentes de sensibilidad ecológica y socioeconómica respectivamente, y la falta de sistemas de riego asociada al sub componente de capacidad de adaptación.

Sin embargo, en los municipios de clase intermedia se observan indicadores adicionales como el índice de temperatura y humedad que describe la sensibilidad ecológica, la falta de servicios de extensión rural y de créditos relacionados a la capacidad de afrontamiento, y la presencia

de fuentes de agua temporales, cobertura arbórea y prevalencia de fincas con prácticas convencionales que describen el subcomponente de capacidad de adaptación, los cuales tienen un peso significativo en la puntuación final de los municipios de clase intermedia. Con base a las puntuaciones, los puntos críticos de vulnerabilidad son Villanueva (0.53), Somotillo (0.51) y San Juan de Limay (0.51). En Villanueva y Somotillo, además de los indicadores mencionados, la falta de tenencia de la tierra y de apoyo crediticio son otros factores adicionales que influyen notablemente en su puntuación (Figura 12b).

En lo que respecta al componente de exposición (Figura 12c), la mayoría de los municipios se ubican en las categorías de exposición muy baja y baja. Dentro de la clase de exposición muy baja (0.0-0.2), se encuentran los municipios de Yalaguina, Achuapa, El Jicaral y Somoto. Sus puntuaciones oscilan entre 0.02 y 0.13, en los cuales, tanto el indicador de áreas de pasto como el de fincas ganaderas presentan valores similares y contribuyen de manera equitativa a su puntuación. En la clase de exposición baja (>0.2-0.4), se ubican los municipios de San Juan de Limay, San Rafael del Norte, Villanueva, La Paz Centro y El Sauce, con puntuaciones que van desde 0.20 hasta 0.36. En este caso, el número de fincas ganaderas se convierte en el indicador que aporta una mayor contribución al nivel de exposición, aunque las áreas de pasto también juegan un papel importante en algunos municipios.

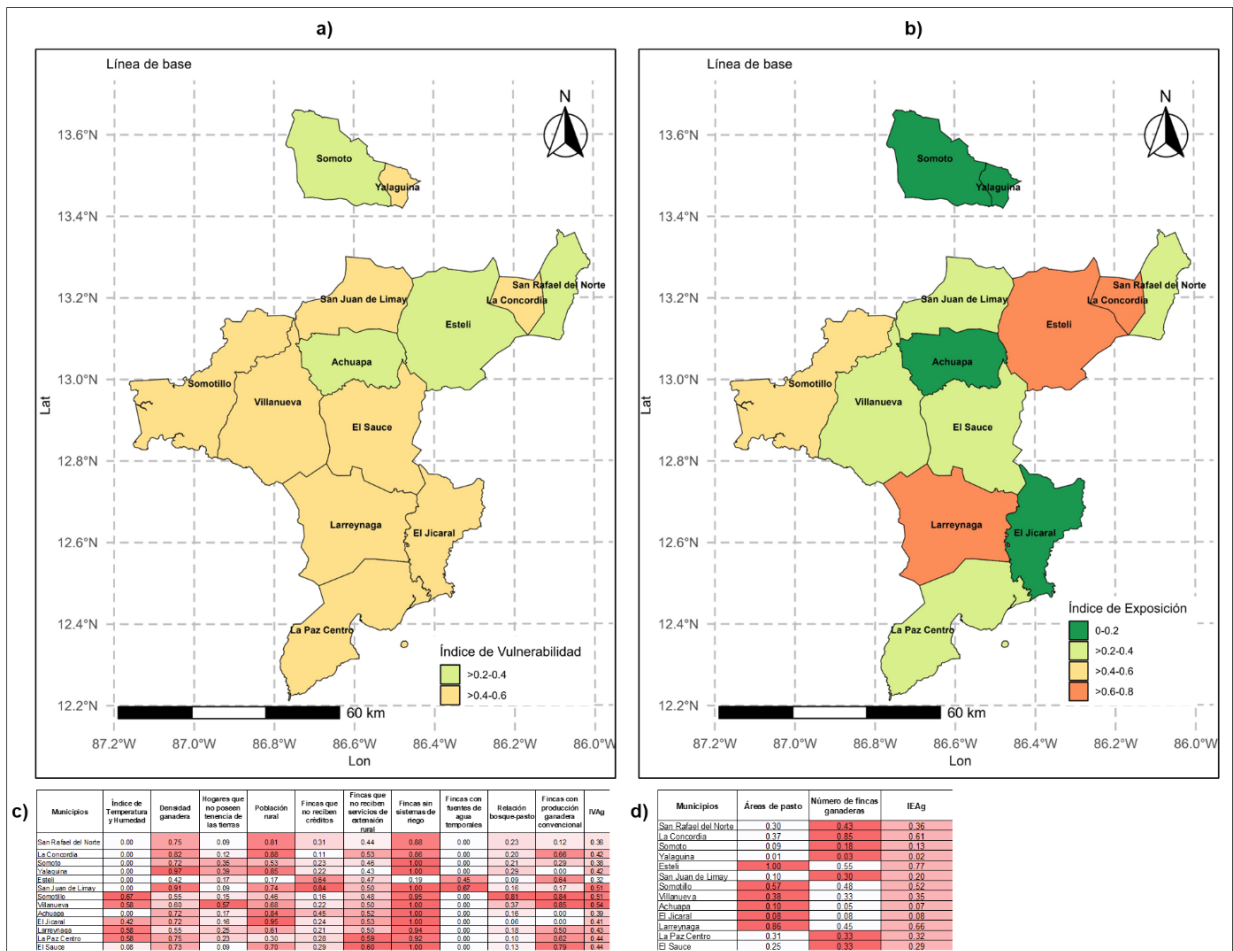


Figura 12. (a) Mapa de clases de vulnerabilidad. (b) Valores de los indicadores e índice de vulnerabilidad. (c) Mapa de clases de exposición. (d) Valores de los indicadores e índice de exposición.

En contraste, los municipios con exposición intermedia y alta, como Somotillo (0.52), La Concordia (0.61), Larreynaga (0.66) y Estelí (0.77), muestran una mayor presencia tanto de áreas de pasto como de fincas ganaderas. Para estos municipios, ambos indicadores ejercen un impacto significativo en la puntuación del índice de exposición; sin embargo, las áreas de pasto tienden a ser el factor dominante, especialmente en casos como Estelí y Larreynaga.

### **3.2.3. Cadena de impacto e índice de riesgo climático**

La Figura 13 muestra el esquema de la cadena de impacto del paisaje, que incluye los factores e indicadores de peligro, vulnerabilidad, exposición e impactos intermedios. Es importante destacar que, a diferencia de los otros tres componentes, los impactos intermedios no constituyen un componente de riesgo por sí mismos. En cambio, actúan como una herramienta de apoyo para comprender la cadena de causa-efecto que genera el riesgo. Estos impactos intermedios resultan de la interacción entre los factores de peligro y vulnerabilidad (GIZ y EURAC, 2017). En este marco, el equipo central del estudio identificó como impactos intermedios los siguientes: (i) la escasez de agua, tanto para consumo doméstico como pecuario, (ii) el aumento en la incidencia y gravedad de parásitos externos en el ganado, lo que afecta su salud y productividad, (iii) la escasez de pastos y forrajes, que impacta negativamente en la alimentación del ganado, (iv) la pérdida del valor de la tierra, impulsada por la degradación ambiental y disminución de la productividad pecuaria, (v) el incremento del riesgo de incendios en pastizales y bosques, exacerbado por las condiciones climáticas más secas, (vi) la reducción del desempeño de los indicadores productivos y reproductivos de los animales, afectando la economía local y (vii) una menor producción agrícola y pecuaria, que impacta en la seguridad alimentaria y los medios de vida rurales.

En vista de lo anterior, se determinó que los servicios ecosistémicos relevantes a escala de finca y paisaje para gestionar tanto los impactos intermedios identificados como el riesgo climático son, la regulación hidrológica de los ecosistemas para asegurar la disponibilidad de agua y la protección proporcionada por los árboles contra las olas de calor, que mitiga los efectos adversos de las altas temperaturas sobre los humanos y naturales. En este contexto, los factores de vulnerabilidad relacionados con la cobertura arbórea, la idoneidad de las áreas de pastoreo y el manejo del agua en las fincas dependen en gran medida de la gestión y manejo de estos servicios ecosistémicos. Estos factores influyen en la pérdida del valor de la tierra, el aumento en la incidencia de parásitos externos, la mayor frecuencia de incendios agrícolas y forestales, y la escasez de agua tanto para consumo doméstico como productivo. Estos problemas, a su vez, generan un efecto cascada que desencadena otros impactos, como la reducción del desempeño de los índices productivos y reproductivos del ganado, la menor producción de cultivos y forrajes, y la desincentivación de la inversión en las tierras (Figura 13).

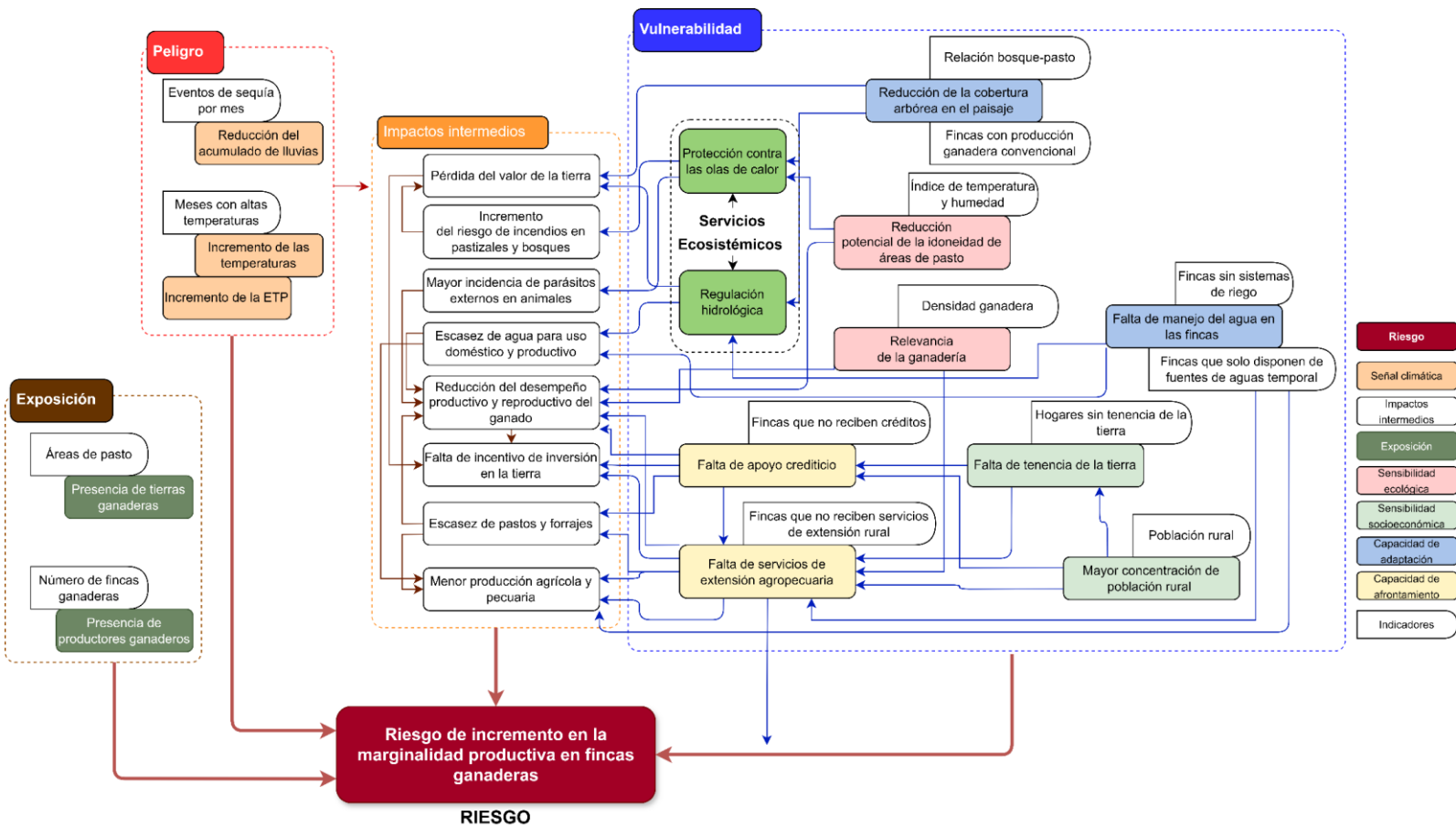


Figura 13. Cadena de impacto del paisaje ganadero de corredor seco de Nicaragua. Se muestran los factores e indicadores de peligro, vulnerabilidad y exposición agregados, incluyendo los impactos intermedios.

En el esquema se logra apreciar que los factores de capacidad de afrontamiento, adaptación y de sensibilidad socioeconómica interactúan entre sí, exacerbando la presencia e intensidad de los impactos intermedios. Por ejemplo, la falta de tenencia de la tierra asociado al acceso a servicios de crédito, desincentivando la inversión, la adquisición de mano de obra, insumos, tecnologías, infraestructuras y recursos clave para sostener las actividades productivas, o bien, para compensar la reducción de la productividad a través de la inversión en fuentes de ingreso o actividades no agrícolas. Asimismo, el nivel de ingreso de los hogares también se relaciona con el acceso a estos servicios.

De la misma manera, la alta tasa de población rural influye en la eficacia de los servicios de extensión, los cuales están fuertemente influenciados por el entorno geográfico y climático de su campo de acción, las características de los beneficiarios, las condiciones productivas y las necesidades de los agricultores y ganaderos. Estos factores determinan la presencia de una variedad de entornos y limitantes socioeconómicas que fomentan una baja receptividad y alcance de los programas y servicios de asistencia técnica y capacitación agropecuaria, especialmente en las áreas rurales más aisladas y pobres (Figura 13).

En la Figura 14 se observan los resultados del índice de riesgo. En la línea de base, los trece municipios muestran una relativa uniformidad en la gravedad del riesgo, agrupándose principalmente en tres clases. Larreynaga lidera la clasificación con un nivel de riesgo alto (0.63), mientras que San Rafael del Norte presenta el nivel más bajo (0.35). La mayoría de los municipios se encuentra en un nivel intermedio (>0.4-0.6) (Figura 14a). En la mayoría de los

casos, el índice de peligro es el que más contribuye a la puntuación de riesgo. Sin embargo, se observan algunas excepciones notables como en Estelí y La Concordia, en los cuales la exposición es el factor predominante, y en San Rafael del Norte, donde los índices de peligro, vulnerabilidad y exposición tienen un valor similar, contribuyendo de manera equilibrada a la puntuación (Figura 14c).

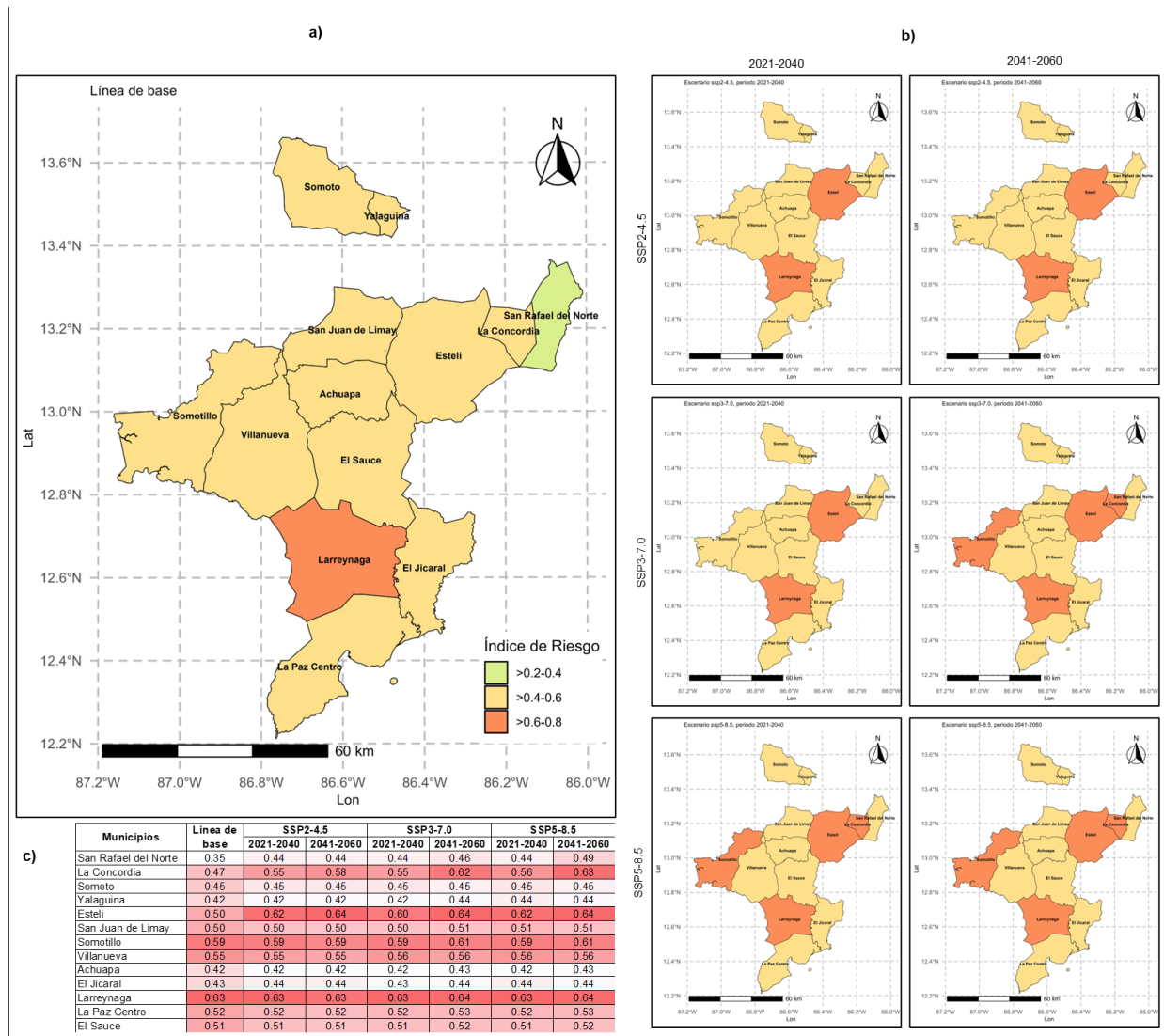


Figura 14. Resultados del índice de riesgo. (a) Mapa de clases de riesgo en la línea de base, (b) Mapas de clases de riesgo para los periodos futuros considerando los tres escenarios climáticos, (c) Cuadro resumen de resultados del índice de riesgo.

Con base en las puntuaciones, los puntos críticos del paisaje en la línea de base están constituidos por cinco municipios encabezados por Larreynaga, que muestra un alto nivel de exposición y peligro que determinan su elevado nivel de riesgo. Le siguen Somotillo (0.59), Villanueva (0.55), La Paz Centro (0.52), El Sauce (0.51), Estelí (0.50) y San Juan de Limay (0.50), que en general presentan una combinación de altos índices de peligro y vulnerabilidad. En cambio, Estelí y San Juan de Limay, se diferencian por tener el factor de exposición y peligro como el más determinante en su puntuación de riesgo respectivamente.



Al considerar únicamente los cambios en el índice de peligro, las proyecciones del índice de riesgo indican un aumento general de las puntuaciones en todo el paisaje para el futuro. Sin embargo, durante el periodo 2021-2040, estos incrementos no serán suficientes para modificar severamente las clases de riesgo identificadas en la línea de base, con la excepción de Estelí y San Rafael del Norte, que, independientemente del escenario seleccionado, exhibirán un nivel de riesgo alto e intermedio respectivamente al final del periodo. Para el periodo 2041-2060, se espera que las clases de riesgo se mantengan constantes en el escenario SSP2-4.5, no obstante, bajo los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 se espera que los municipios de La Concordia y Somotillo experimenten un mayor aumento en sus puntuaciones, superando el umbral de 0.60 y pasando a la clase de riesgo alto al final del periodo (Figura 14b).

### 3.3. Propuesta de medidas de intervención con enfoque de resiliencia climática

#### 3.3.1. Clasificación de las fincas

El análisis de conglomerados permitió identificar dos grupos de fincas dentro de la población analizada. Estos grupos se distribuyen de la siguiente manera: el primer grupo incluye al 53 % de las fincas (n = 92), mientras que el segundo está compuesto por el 47 % restante (n = 82) (Figura 15). En términos generales, las fincas del grupo 1 se caracterizan por un nivel de tecnificación mayor vinculado a la implementación de sistemas silvopastoriles y buenas prácticas de manejo y uso del agua.

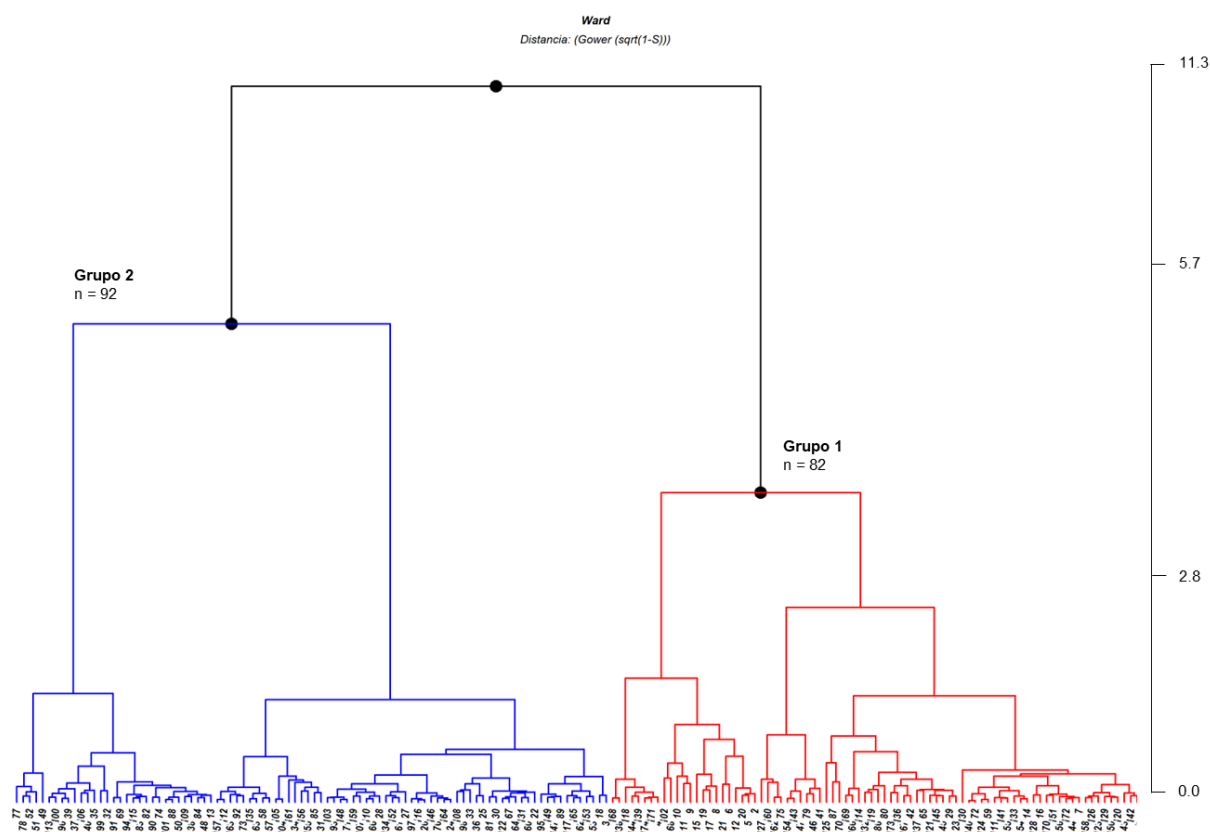


Figura 15. Resultados del análisis conglomerados de las 174 fincas.

Para identificar las principales diferencias entre los grupos de fincas, se emplearon pruebas estadísticas adecuadas para cada tipo de variable. En el caso de las variables cuantitativas (área total, área de pasturas cultivadas y naturales, hatos total, densidad ganadera, producción de leche en estación húmeda y estación seca), se utilizó la prueba T de Student para muestras independientes, aplicando la corrección de Satterwaite para ajustar a varianzas heterogéneas.

Por otro lado, para las variables cualitativas (tipos de pastoreo, presencia de sistemas de riego, uso de sistemas silvopastoriles, implementación de prácticas de alimentación en la estación seca y disponibilidad de agua para uso doméstico y pecuario), se empleó la prueba Chi-cuadrado de Pearson, permitiendo identificar las diferencias en las frecuencias de las categorías definidas para cada variable. Ambas pruebas se realizaron con un nivel de significancia del 5 %.

Al analizar los resultados, las principales diferencias entre grupos están asociadas a la producción de leche en la estación seca (l vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) (p-valor = 0.0184), presencia de sistemas de riego (p-valor = 0.0003), sistemas silvopastoriles (p-valor<0.0001), implementación de prácticas de alimentación en la estación seca (p-valor<0.0001) y la disponibilidad de las fuentes de agua presentes en las fincas tanto para consumo doméstico (p-valor = 0.0001) como pecuario (p-valor<0.0001). Las demás variables no mostraron diferencias significativas (p-valor>0.05) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados de las pruebas de hipótesis aplicadas a las variables cuantitativas y cualitativas entre grupos.

<b>Variables cuantitativas</b>	<b>Grupo 1 (n = 82)</b>	<b>Grupo 2 (n = 92)</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>
Área total (ha)	83.16	60.93	1.83	0.069
Área total de pastos (ha)	61.98	45.60	1.80	0.0744
Área de pastos cultivadas (ha)	20.71	12.03	1.45	0.1505
Área de pastos naturales (ha)	41.27	32.71	1.22	0.2243
Hato total	105.78	88.34	1.18	0.2389
Densidad ganadera	2.79	2.71	0.16	0.8736
Producción de leche en la estación húmeda (l vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	6.79	6.25	1.47	0.1452
Producción de leche en la estación seca (l vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	3.98	3.24	2.39	0.0184
<b>Variables cualitativas</b>	<b>Grupo 1 (n = 82)</b>	<b>Grupo 2 (n = 92)</b>	<b>x<sup>2</sup></b>	<b>p-valor</b>
Tipos de pastoreo (n=Extensivo)	69	79	0.1	0.7503
Presencia de sistemas de riego (n=No posee)	70	91	11.51	0.0003
Uso de sistemas silvopastoriles (n=No utiliza)	10	87	119.24	<0.0001
Prácticas de alimentación en la estación seca (n=No utiliza)	1	31	30.47	<0.0001
Disponibilidad agua para hogar (n=Temporal)	13	0	15.76	0.0001
Disponibilidad agua para ganado (n=Temporal)	19	0	23.93	<0.0001

Mediante el análisis de correspondencias, se visualiza que el eje 1 con una inercia de 14.9 %, sugiere la separación entre la disponibilidad de las fuentes de agua para consumo doméstico y pecuario, el uso de pastos naturales y cultivados y la implementación de prácticas de alimentación del ganado en la estación seca. Por otro lado, con una inercia del 27.8 %, el eje 2 corrobora una separación entre los grupos de fincas, y sugiere distancias entre los tipos de pastoreo, áreas de pastura, la presencia de sistemas silvopastoriles y de tecnologías de riego (Figura 16).

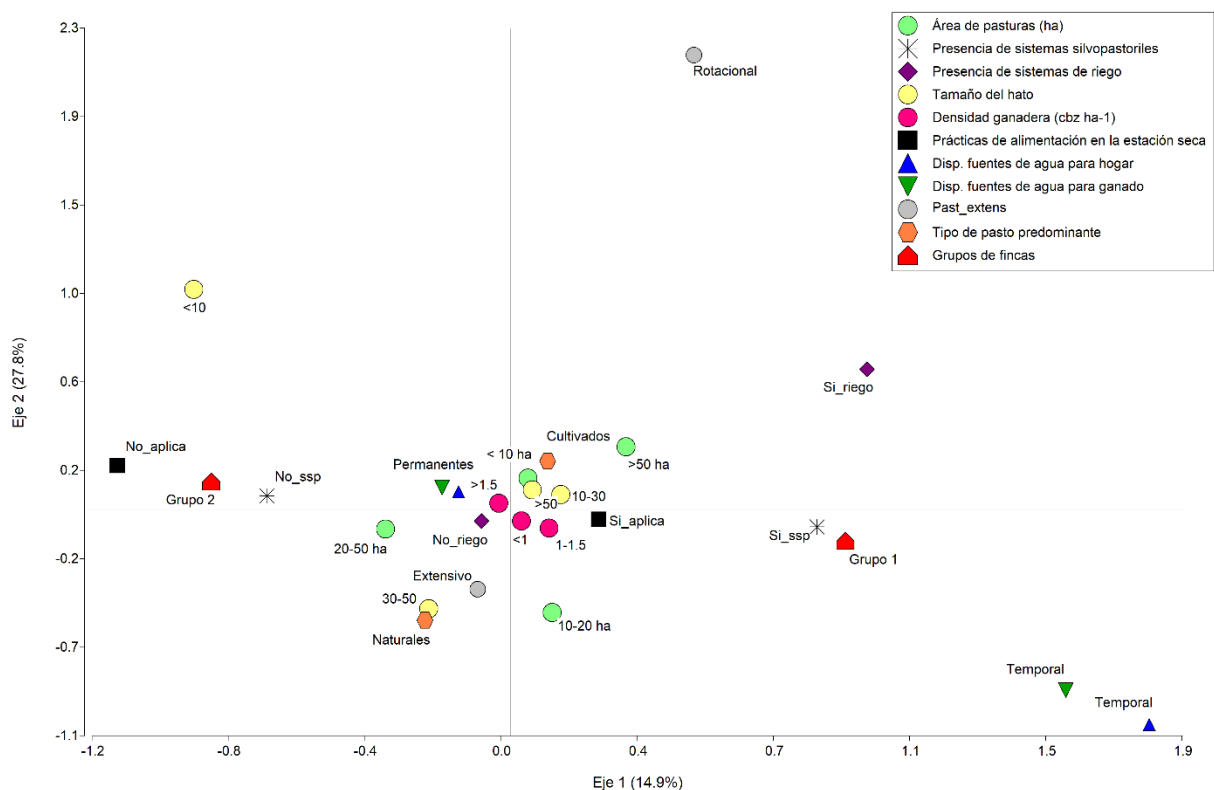


Figura 16. Gráfico producto del análisis de correspondencias.

El análisis de correspondencias revela asociaciones distintivas entre las variables y los grupos de fincas. El grupo 1 se caracteriza por un mayor nivel de tecnificación en sus sistemas de producción, lo que se evidencia por la presencia de sistemas silvopastoriles, la preferencia por pasturas cultivadas, la implementación de prácticas de alimentación en época seca y el uso de sistemas de riego. Las áreas de pastoreo en este grupo varían en tamaño, desde 10 a 20 ha hasta más de 50 ha con un manejo fundamentalmente extensivo, con un tamaño de hato que oscila entre 10 y 30 animales y una densidad ganadera de 1 a 1.5 animales por ha. Una característica notable del grupo 1, según su posición en el gráfico, es su mayor asociación con fuentes de agua temporales para consumo doméstico y pecuario. Si bien esto podría sugerir una mayor capacidad de adaptación para la gestión del agua en comparación con el grupo 2, dada la dependencia de fuentes temporales, también implica una mayor vulnerabilidad a la escasez de agua, especialmente en zonas propensas a sequías (Figura 16).

A pesar de su menor nivel de tecnificación, las fincas del grupo 2 se benefician de una mayor permanencia de las fuentes de agua, lo que otorga una ventaja frente al grupo 1. Sin embargo, este grupo enfrenta desafíos relacionados con la alimentación del ganado en épocas de escasez de forraje, la baja cobertura arbórea en las áreas de pastoreo y una mayor preferencia por pasturas naturales y sistemas de pastoreo extensivo. Estas prácticas sugieren un uso ineficiente de las áreas de pastoreo, lo que podría ser un factor que impulsa la deforestación y la menor productividad de leche en comparación con las fincas del grupo 1, especialmente durante la estación seca. Además, este grupo se caracteriza por un menor tamaño de hato y áreas de pastoreo.

Finalmente, algunas variables como la densidad ganadera, se encuentran cerca del origen del sistema de coordenadas, lo que indica una baja variabilidad y una distribución aleatoria con respecto a las demás características de los grupos identificados (Greenacre, 1984).



### 3.3.2. Propuesta de intervención a escala de finca y paisaje

Con base a las fuentes consultadas y del criterio del equipo central del estudio, se seleccionaron medidas para gestionar el riesgo tanto a escala de finca como de paisaje. Estas medidas enfatizan los procesos ecológicos, los servicios ecosistémicos y la biodiversidad, con el objetivo de promover respuestas basadas en ecosistemas. Adicionalmente, se consideran soluciones convencionales e híbridas complementarias para minimizar el riesgo climático (Figura 17).

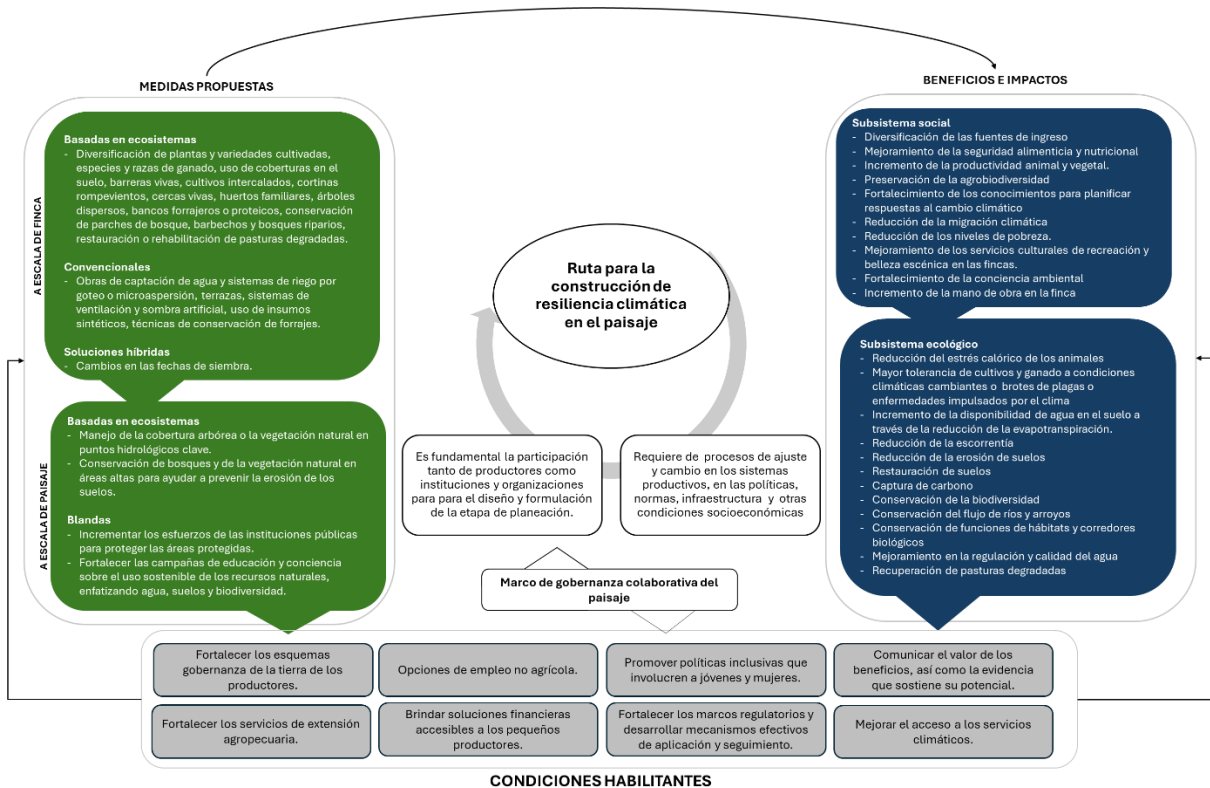


Figura 17. Propuesta de medidas de intervención con enfoque de resiliencia climática, incluyendo cobeneficios e impactos y condiciones habilitantes para su implementación.

A escala de finca, la propuesta enfatiza la adopción de medidas que diversifiquen los sistemas productivos. Esto implica la introducción de cultivos, variedades (incluyendo pastos), razas o especies que sean más tolerantes a condiciones climáticas más secas, que también pueden desencadenar brotes de plagas o enfermedades. Se resalta la relevancia de las prácticas de conservación de humedad en el suelo, como la retención de rastrojos, barreras vivas, el uso de coberturas y terrazas. Estas medidas son cruciales para contrarrestar los efectos del aumento de la evapotranspiración y la reducción del régimen de lluvia, especialmente en los cultivos alimenticios y forrajeros. Asimismo, se considera fundamental mejorar la gestión agrícola e hídrica mediante cambios en las fechas de siembra, la implementación de cultivos intercalados, sistemas agroforestales, tecnologías de riego por goteo o microaspersión y la recolección de agua.

En relación con el riego y la recolección de agua, si bien la mayoría de las fincas poseen obras de captación de agua, aún son pocas las fincas que disponen de sistemas de riego acoplados a las mismas. Sin embargo, los sistemas de recolección de agua son un punto de partida fundamental para facilitar la adopción del riego en el futuro. En línea con esta medida, si bien una fecha temprana de siembra no es viable debido a condiciones climáticas desfavorables, compensar estas condiciones con riego puede ser factible, sobre todo si se introducen especies con un consumo más eficiente del agua. Esto sugiere que ambas medidas, la

recolección de agua y el riego, deben ser implementadas de manera complementaria, y que ambas requieren revisar la diversidad de especies de cultivos mejor adaptadas a condiciones cada vez más secas para maximizar el impacto de su implementación.

Con respecto a los sistemas agroforestales, estas prácticas se presentan como una solución práctica promisoría para mitigar los impactos del cambio climático en los cultivos y el ganado mediante la incorporación y manejo adecuado de árboles. Este tipo de prácticas integradas del uso de la tierra, en sus diversas variantes, ya sean sistemas silvopastoriles con cercas vivas, árboles dispersos, bancos forrajeros o proteicos; sistemas agrosilvícolas como cortinas rompevientos; y sistemas agrosilvopastoriles como huertos caseros, contribuyen a incrementar la multifuncionalidad de los sistemas ganaderos. Esto permite convertir la ganadería en una actividad sostenible y generadora de bienes demandados por la población, tales como carne, leche, madera y frutas, y a la vez proporcionar servicios ambientales, como la protección de fuentes hídricas, reducción de la evapotranspiración, prevención de la erosión, provisión de forrajes y sombra, rehabilitación de la fertilidad del suelo y conservación de la biodiversidad que son clave para la adaptación climática.

A escala de paisaje, se enfatiza la restauración y conservación de la cobertura arbórea y la vegetación natural en puntos hidrológicos clave para regular el ciclo del agua y los nutrientes. Asimismo, es fundamental promover la protección de áreas protegidas, parches de bosque y vegetación natural en zonas altas para ayudar a prevenir la erosión de los suelos en las laderas. Para lograr estos objetivos, es necesario incrementar los esfuerzos de las instituciones públicas en la protección de estas áreas. Además, se debe fortalecer las campañas de educación y conciencia sobre el uso sostenible de los recursos naturales, poniendo especial énfasis en la gestión del agua, los suelos y la biodiversidad.

La implementación efectiva de estas medidas requiere de un entorno propicio que facilite su escalamiento y adopción. En este sentido, es crucial abordar factores socioeconómicos como la tenencia de la tierra, la alta tasa de dependencia rural, el acceso a servicios de extensión rural y crédito, el fortalecimiento de los marcos regulatorios existentes y el desarrollo de mecanismos efectivos de aplicación y seguimiento.

### **3.3.3. Propuesta de intervención desagregada por grupos de fincas**

A continuación, se muestra una síntesis de las principales características de los grupos de fincas identificados en base al análisis de conglomerados y correspondencias. Del análisis de la propuesta general, identificamos las medidas de resiliencia a escala de finca más apropiadas para cada grupo (Figura 18).

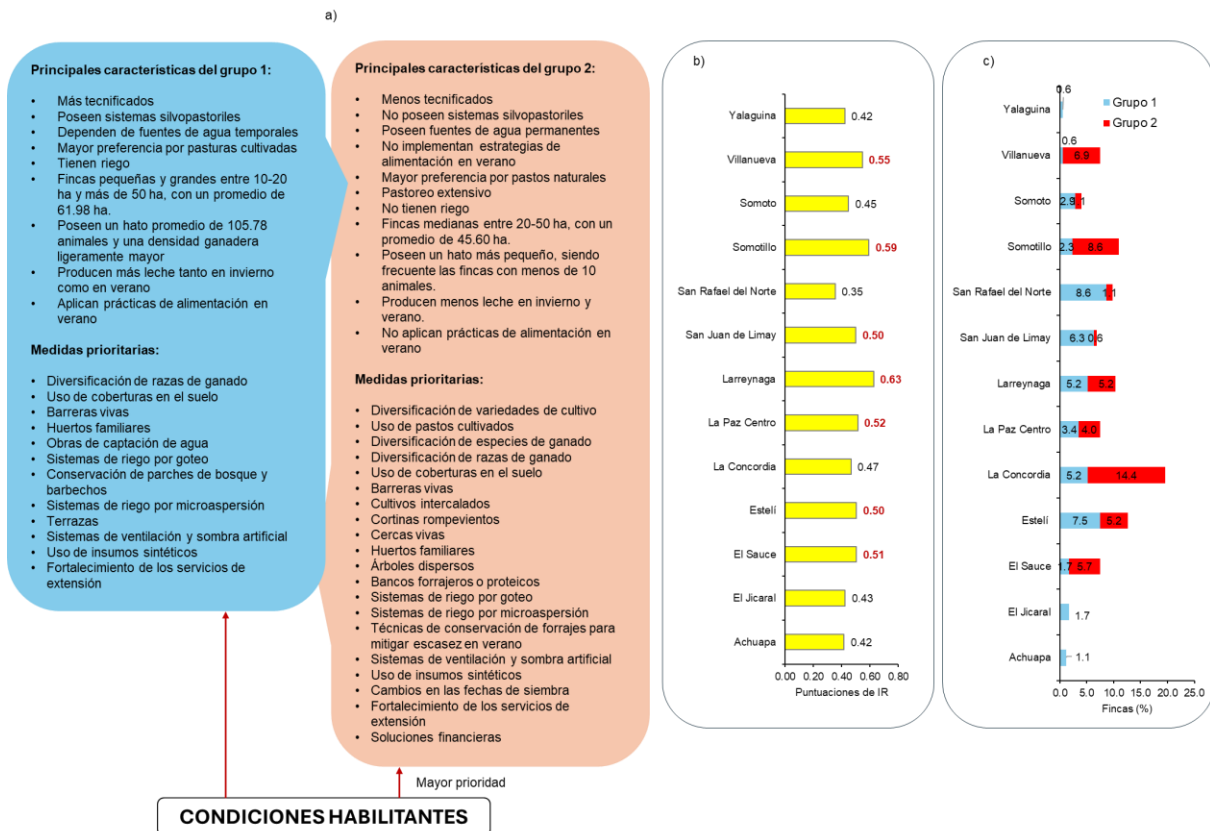


Figura 18. (a) Síntesis de principales características y medidas de resiliencia prioritarias para los grupos<sup>10</sup> de fincas identificados, (b) Puntuaciones del índice de riesgo climático en la línea de base y puntos críticos del paisaje identificados en color rojo, (c) Porcentaje de fincas por grupo presentes en los municipios con respecto al paisaje.

Por una parte, en La Concordia, Somotillo, Villanueva y El Sauce, donde se concentran principalmente las fincas del grupo 2 con respecto al grupo 1, es necesario implementar una mayor cantidad de medidas, como la diversificación productiva, el manejo de la cobertura arbórea, el acceso a financiamiento, las tecnologías de riego y la producción de forrajes. Por otra parte, las fincas del grupo 1, que tienen una mayor presencia en San Rafael del Norte, San Juan de Limay y Estelí, requieren principalmente medidas relacionadas con la gestión del agua y la mejora genética del hato bovino para minimizar el riesgo en el corto plazo.

Enfatizamos que la propuesta debe priorizar las fincas del grupo 2, ubicadas en los municipios con mayor riesgo climático, y que, por lo tanto, representan los puntos críticos de riesgo del paisaje: Larreynaga (0.63), Somotillo (0.59), Villanueva (0.55), La Paz Centro (0.52), El Sauce (0.51), Estelí (0.50) y San Juan de Limay (0.50) (Figura 19b). Estos municipios concentran el 27.0 % y 36.2 % del total de fincas de los grupos 1 y 2 respectivamente (Figura 18c).

<sup>10</sup> Los grupos se refieren a los tipos de fincas identificadas en el análisis. Las fincas del grupo 1 se caracterizan por la implementación de sistemas silvopastoriles y buenas prácticas de manejo y uso del agua. En cambio, las fincas del grupo 2 implementan sistemas ganaderos convencionales.

## 4. Discusión

### 4.1. Cambios en el régimen de lluvias

Los resultados del estudio sugieren que la gestión del agua será cada vez más compleja en las próximas décadas para las fincas del paisaje, agravando uno de los principales problemas en la región. Diversas proyecciones realizadas a escala regional y local a través de múltiples modelos climáticos advierten que la región experimentará disminuciones en la precipitación media anual, y que se intensificarán progresivamente en magnitud del forzamiento radiativo durante el siglo XXI (Almazroui *et al.*, 2021; Depsky & Pons, 2020; Imbach *et al.*, 2018; Leupolz-Rist *et al.*, 2017; van der Hoek *et al.*, 2021; Hidalgo *et al.*, 2013), lo cual coincide con nuestros resultados. Si bien se estima que estas reducciones serán relativamente uniformes en Centroamérica (Depsky & Pons, 2020), diversos estudios enfatizan que Nicaragua será uno de los países más afectados (Hidalgo *et al.*, 2013; Neelin *et al.*, 2006; Stewart *et al.*, 2022).

Al observar que los cambios son más pronunciados durante la estación húmeda, especialmente en el trimestre comprendido por los meses de julio, agosto y septiembre, es muy probable que para los próximos años el paisaje experimente un aumento en la duración e intensidad de la sequía que se percibe en la canícula, que tiene lugar precisamente en estos meses. Teniendo en cuenta que durante este periodo la magnitud típica de la reducción en las precipitaciones es aproximadamente del 40 % (Curtis, 2002), la adición de esta nueva variabilidad posiblemente incrementará la severidad de este fenómeno en términos de intensidad y duración. Estos resultados concuerdan con la tendencia detectada por Anderson *et al.* (2019), quienes utilizando un conjunto de datos de precipitación diarios de 1981 a 2018, identificaron patrones crecientes y estadísticamente significativos que indican un alargamiento del periodo canicular de hasta 20 días en el CSC, lo cual implica una fecha de finalización más tardía y un regreso retrasado de condiciones húmedas, lo cual afectará las estrategias de siembra y el rendimiento de los cultivos. Stewart *et al.* (2022), indican que este fenómeno se debe principalmente a la disminución de las precipitaciones en la región (especialmente en el mes de julio), con cambios más grandes y significativos al este de Nicaragua y Honduras.

En cuanto a los cambios en el patrón de precipitación, se evidencia una alteración durante la época de transición de húmeda a seca, observándose incrementos que son atípicos al patrón histórico para el CSN. Es probable que este comportamiento sea una señal de cambios en la fecha de finalización de la estación húmeda en la región, lo que puede estar impulsado por diversos factores. Por una parte, una mayor evaporación de los océanos en condiciones más cálidas generará más vapor de agua disponible para la precipitación, afectando principalmente las regiones que reciben los vientos alisios del este en esta época del año, sin embargo, también es probable la influencia de una temporada ciclónica tropical más larga e intensa en el futuro (Aguilar *et al.*, 2005). Independientemente de la causa, estos eventos serán esencialmente episodios cortos y de alta intensidad de lluvias que estarán intercalados con condiciones cada vez más intensas de sequía (Anderson *et al.*, 2019). Como consecuencia, el impacto de estos cambios sumado a una posible alteración de los calendarios agrícolas, podría ser especialmente perjudicial para la producción de algunos alimentos básicos en el CS que se siembran en postrera y apante, como el maíz, el sorgo y el frijol, ya que al ser cultivos que dependen de un patrón de precipitación más estable que se presenta regularmente a partir del mes de agosto (Van der Zee *et al.*, 2012), son altamente sensibles a eventos extremos (Tucker *et al.*, 2010; Heslop-Thomas *et al.*, 2008).

## 4.2. Cambios en el régimen de temperaturas

Los cambios calculados son consistentes con tendencias históricas observadas (p. ej. Aguilar *et al.*, 2005; Hidalgo *et al.*, 2017) y con diversos modelos climáticos globales y regionales que proyectan para mediados de siglo un clima más cálido y seco en Centroamérica debido a un aumento medio de la temperatura de al menos 2°C bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Hannah *et al.*, 2017; Colorado-Ruiz *et al.* 2018; Vichot-Llano *et al.*, 2020; Imbach *et al.*, 2012; Imbach *et al.*, 2018; Almazroui *et al.*, 2021; Hidalgo, 2021). Estas tendencias sugieren que, a finales de siglo, la región podría mostrar un calentamiento mayor de entre 3°C y 7°C bajo estos mismos escenarios (Lyra *et al.*, 2017; Hidalgo *et al.*, 2013).

Estos hallazgos son alarmantes, ya que aun sin cambios significativos en las precipitaciones, este aumento de la temperatura desempeña un papel importante a la hora de impulsar una mayor evapotranspiración potencial y, por lo tanto, incrementar aún más la demanda de agua de los ecosistemas, lo cual genera suelos más secos, reducción de la escorrentía y fortalecimiento de futuras sequías (Hidalgo, 2021; Pascale *et al.*, 2021). Un ejemplo de ello es la sequía que afectó a las islas del Caribe entre 2013 y 2016, la cual no fue resultado de un déficit de precipitación, sino una consecuencia directa de una evapotranspiración excepcionalmente alta debido a temperaturas más cálidas (Herrera *et al.*, 2018). Asimismo, a escala regional, temperaturas más altas en la superficie de los océanos circundantes, junto con condiciones terrestres más secas, pueden inducir una reducción de las precipitaciones debido a una menor convección, lo cual agrava la intensidad de una sequía meteorológica (Pascale *et al.*, 2021). Diversos modelos indican que la probabilidad de que ocurran estos eventos continuará aumentando en el futuro a medida que incrementa el calentamiento, variando su tasa según el escenario climático específico (Pascale *et al.*, 2021).

Si se enfatizan los potenciales impactos sobre los sistemas ganaderos, condiciones más cálidas y secas provocarían estrés por calor que afecta el comportamiento y las variaciones metabólicas del ganado y su bienestar, lo cual debilita la nutrición, reduce la ingesta de alimentos, la producción de leche y carne, la fertilidad e incrementa la susceptibilidad a plagas y enfermedades. Esto conlleva un incremento en la tasa de mortalidad en el hato (Rojas-Downing *et al.*, 2017). También afecta en gran medida el rendimiento de los cultivos y forrajes. Si bien condiciones más cálidas favorecen el crecimiento de plantas C4 como el maíz, sorgo, caña de azúcar y los pastos (Godde *et al.*, 2021), también incrementan la lignina y los componentes de la pared celular de estos cultivos, lo que afecta la digestibilidad y las tasas de degradación ruminal, con lo cual se disminuye la disponibilidad de nutrientes para el ganado (Thornton *et al.*, 2009).

La combinación de estos factores agudizará la inestabilidad en el suministro y calidad de alimentos, lo que es preocupante para los sistemas ganaderos que se basan en el pastoreo extensivo, como los dos grupos de fincas identificados en este estudio, donde la gestión del forraje, especialmente para el grupo 2, representa un desafío importante para el manejo, tanto del tamaño del hato como de la intensidad del pastoreo (Godde *et al.*, 2020).

En la agricultura, el impacto combinado de las altas temperaturas, reducción del régimen de lluvia e incremento de la evapotranspiración no solo provocarán condiciones más áridas que limitarán la producción y adaptabilidad de cultivos y forrajes, sino también que incrementarán la salinidad del suelo. Esto desfavorece severamente el potencial de producción de las tierras agrícolas (Godde *et al.*, 2021), lo cual intensifica los problemas de pobreza, inseguridad alimentaria, desempleo y migración rural que afectan gravemente la región (Jaramillo *et al.*, 2020).

Lo antes expuesto sugiere que los cambios previstos en las precipitaciones y temperaturas de la región pueden desencadenar y exacerbar una serie de problemas que afectan a los sistemas agroalimentarios del paisaje, desde la producción agrícola y pecuaria hasta el consumo humano, y que tendrán mayores consecuencias durante los meses de julio, agosto y septiembre que exhibirán las condiciones más extremas en el futuro.

### **4.3. Análisis de la cadena de impacto**

Los resultados de la cadena de impacto complementados con la caracterización de los aspectos socioeconómicos del paisaje, sugieren que el riesgo climático definido en este tipo de regiones no puede entenderse sin considerar las complejas interacciones entre los factores socioeconómicos asociados al componente de vulnerabilidad y exposición, ya que incluso en un escenario sin el estrés adicional ocasionado por los factores de peligro, el paisaje experimenta una serie de múltiples factores de riesgo que se ven amplificados por los efectos del cambio climático, impulsando la complejidad del riesgo y limitando la capacidad de las fincas para gestionar recursos y construir resiliencia climática (Simpson *et al.*, 2021; Fetzek, 2009; Gotlieb *et al.*, 2019).

Por ejemplo, si bien la mayoría de las fincas ganaderas dispone de fuentes de agua permanentes, los resultados de los factores de peligro esquematizados en la cadena de impacto indican un cambio en los patrones climáticos futuros que afectaría el balance climático en el paisaje y generar condiciones de déficit hídrico asociadas a un ambiente más árido. En el corto plazo, es probable que los municipios con déficit hídrico actual, como San Juan de Limay, sean los más afectados; lo cual aumentará la presión sobre los recursos hídricos locales (Godde *et al.*, 2021) y por lo tanto, generará un impacto en los niveles de pobreza, seguridad alimentaria y bienestar económico de las familias rurales (Hidalgo *et al.*, 2019).

Con respecto al componente de vulnerabilidad, Bouroncle *et al.* (2017) identificaron en algunos países de Centroamérica niveles y patrones espaciales de vulnerabilidad similares a nuestro estudio, figurando los municipios cercanos a la región pacífico como los más vulnerables. El estudio sugiere que, si bien el apoyo financiero y la asistencia técnica pueden contribuir a reducir la vulnerabilidad, puede que no sean medidas suficientes para garantizar oportunidades de mejoramiento de los medios de vida; situación similar encontrada en el presente estudio. Asimismo, se identifica que una alta tasa de dependencia demográfica rural requiere de dos intervenciones relevantes para contribuir a la adaptación: (i) la reducción de distancias a áreas urbanas o más densamente pobladas, y (ii) la generación de opciones de empleo no agrícola.

Si bien ambas intervenciones son fundamentales porque están relacionadas con la migración climática (Bouroncle *et al.*, 2017), niveles de pobreza (Plant 1998; Jamieson 1999) y acceso a recursos y servicios básicos en el sector rural (Jamshidi *et al.*, 2019), por las condiciones de alta tasa de representación rural que existe en el paisaje, se considera prioritario la generación de opciones de empleo no agrícola. En este tipo de regiones, es bastante común que los procesos lentos de relevo generacional y de envejecimiento de los jefes de hogar fomenten el desarrollo del mercado de alquiler, o la cesión o préstamos de las tierras antes de transferirlas a productores más jóvenes (Min *et al.*, 2017), esto desincentiva la participación de los jóvenes en emprendimientos o el desarrollo de innovaciones productivas, lo cual limita considerablemente el desarrollo socioeconómico de los hogares, restringiendo las oportunidades de mejoramiento de los medios de vida, acceso a servicios financieros, las iniciativas de desarrollo agrícola y rural (Geza *et al.*, 2022), y por lo tanto, las opciones de adaptación.

A menudo, este tipo de situaciones se enmarcan en problemas estructurales; en nuestro estudio, un problema definido por factores como la tenencia de la tierra, acceso a servicios de extensión rural y crédito, nivel de ingresos y opciones de empleo que refuerzan la pobreza e incrementan la sensibilidad al cambio climático (Castells-Quintana *et al.*, 2018). En este contexto, es fundamental enfatizar que la promoción de una ruta de resiliencia no depende únicamente de la mejora de las prácticas agropecuarias tradicionales, sino también de la creación de un entorno que mejore los procesos participativos y de toma de decisión a nivel de finca y de paisaje dirigidos a impulsar el desarrollo rural de las familias rurales más allá de estas actividades. Esto permitiría diversificar la economía de los hogares rurales y generar alternativas económicamente viables que fortalezcan factores de capacidad y adaptación, ya que aumentaría significativamente la probabilidad de que las familias incrementen sus activos y mejoren sus medios de vida. Promover políticas inclusivas que consideren necesidades específicas de jóvenes y mujeres rurales a través de programas y proyectos que fomenten la creación de oportunidades de empleo, planes de negocio o emprendimientos son necesarios (Geza *et al.*, 2022).

Por otra parte, si bien los factores de exposición pueden servir como puntos de entrada para identificar medidas que minimicen el riesgo, estas medidas, basadas a menudo en la portabilidad de los elementos expuestos, suelen ser políticamente sensibles; por lo tanto, no factibles en el contexto del paisaje. Sin embargo, la exposición evaluada en relación con un peligro climático específico puede reducirse mediante el manejo o la modificación de los atributos del sistema a través de la construcción de infraestructuras resilientes al clima, ya sean basadas en ingeniería o en ecosistemas (GIZ y EURAC, 2017).

De acuerdo con esta consideración, se integró a la propuesta el uso de medidas como la siembra de nuevas variedades de pastos, forrajes y cultivos, el establecimiento de sistemas de riego, sistemas de ventilación, sombra artificial y un mayor uso de insumos para modificar las características o integrar nuevos componentes al sistema que contribuyan a la gestión del riesgo. Es importante destacar que, debido a su mayor consumo de recursos, este tipo de medidas suelen estar fuera del alcance de pequeños sistemas ganaderos como los del grupo 2, debido a sus limitaciones de capital, mano de obra, acceso a crédito o financiamiento (Bryan *et al.*, 2013). Por lo tanto, estas medidas podrían ser más adecuadas para las fincas del grupo 1.

Para las fincas del grupo 2, las medidas de AbE pueden ser más viables desde el punto de vista práctico, ya que se basan en el manejo sostenible de los recursos existentes (Harvey *et al.*, 2018; Vignola *et al.*, 2015). En algunos municipios específicos, como Larreynaga y Estelí, donde el riesgo está determinado principalmente por los factores de peligro y exposición, la priorización de este tipo de medidas es fundamental. Las AbE permitirían abordar el riesgo de manera integral, lo cual generaría cobeneficios sociales que van más allá de la adaptación al cambio climático, como la creación de nuevas oportunidades de sustento, fuentes de ingresos diversificadas derivadas de la agricultura y la ganadería y la provisión de servicios ambientales. Beneficios que pueden provenir de la diversificación de los sistemas de producción, implementación de sistemas silvopastoriles, establecimiento de huertos familiares y manejo adecuado de la cobertura arbórea en las fincas.

#### **4.4. Consideraciones finales sobre la propuesta de intervención**

Si bien la propuesta de intervención considera una diversidad de medidas, consideramos que un punto de partida fundamental para transitar hacia una mayor resiliencia, especialmente en las fincas del grupo 2, es la gestión del forraje y el manejo de los árboles en las fincas, debido a que son dos factores vinculados a la baja productividad animal y a la degradación de las áreas de pastura y de los ecosistemas en el paisaje (Bendaña, 2012). En este contexto, es

crucial la adopción, dentro del grupo de sistemas agroforestales, técnicas silvopastoriles que consideren siembra de pastos mejorados, arbustos y árboles forrajeros para ampliar la oferta de forraje por unidad de superficie, lo que permitiría lograr varios objetivos, entre los que destacan: restaurar paisajes degradados, mejorar la calidad del hábitat para la biodiversidad y reducir el impacto negativo de condiciones cada vez más áridas sobre los rendimientos, la productividad y el bienestar de los animales.

En este contexto, es importante considerar dentro de la propuesta, la versatilidad ecológica y adaptativa de leguminosas forrajeras en el diseño de los sistemas silvopastoriles; ya que en condiciones cálidas como las del paisaje, pueden contribuir tanto al suministro de forraje de buena calidad, como a la mejora y restauración de los pastizales a través de la FBN (Vendramini *et al.*, 2014), proceso que promueve el crecimiento de gramíneas forrajeras y la sobrevivencia de árboles y arbustos incrementando su población. Los árboles dispersos, cercas vivas y cortavientos serían los diseños sugeridos debido a la mayor interacción entre el trinomio pasto-leñosa-ganado; esto las convierte en las técnicas silvopastoriles más promisorias para promover a nivel de finca en el paisaje.

Por ejemplo, un estudio de caso que documenta la experiencia en trece fincas localizadas en el CSN, reconoce que el uso de pastos mejorados como *Megathyrsus maximus* cv. Mombasa tiene un mayor potencial de capacidad de carga y calidad forrajera en comparación con los pastos nativos (Ej. *Cynodon dactylon* L. Pers), especialmente en época seca, y que el asocio de este tipo de forrajeras con fabáceas leñosas como *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, *Haematoxylon brasiletto* H.Karst y *Erythrina poeppigiana* dispersas en los potreros, logra los mejores índices de productividad ganadera y de forraje, tanto en cantidad como en calidad nutritiva, lo que sugiere un mayor número de interacciones positivas entre los tres componentes (Büschting, 2023). Asimismo, las plantaciones lineales, como las cercas vivas, constituyen una alternativa esencial para controlar el impacto del estrés calórico en los sistemas de pastoreo, contribuyendo al bienestar de los animales (Villanueva *et al.*, 2013).

Estas técnicas silvopastoriles no solo incrementan la productividad, sino que también contribuyen sustancialmente a la conservación de la biodiversidad en zonas altamente deforestadas como el CSN. Al crear hábitats, corredores biológicos y refugios para una amplia gama de especies vegetales y animales, estas prácticas mejoran la complejidad estructural del paisaje y promueven la conectividad ecológica, lo que las convierte en un complemento fundamental de las estrategias de conservación y restauración de paisajes degradados inducidos por la ganadería (Harvey *et al.*, 2004). En este contexto, también es importante destacar la restauración y conservación de bosques riparios, contemplada en la propuesta. Teniendo en cuenta que la mayoría de las fincas disponen de ríos como una de las principales fuentes de agua, esta medida es clave en todas las fincas para mantener el flujo de los ríos y arroyos bajo condiciones irregulares del patrón de lluvias y una mayor evapotranspiración, y sobre todo, para preservar las funciones de hábitat tanto a nivel de finca como de paisaje (Capon *et al.*, 2013).

La adopción de este tipo de medidas provee oportunidades para armonizar la conservación y la intensificación sostenible de los sistemas de producción en el paisaje. Este enfoque es crucial, dado que el 58.7 % del uso de la tierra en la zona, está catalogado como sub y sobre utilizado, lo que permitiría revertir el deterioro de los recursos naturales e incrementar el valor socioeconómico y ambiental de la ganadería. Para que el diseño, gestión y manejo de este tipo de paisajes sea efectivo, se requiere de cambios en las prácticas a nivel de finca que deben ser impulsados por condiciones institucionales, políticas y socioeconómicas que faciliten la adopción, y por lo tanto, la transición hacia una ganadería más resiliente.



Este estudio permitió identificar algunas de estas condiciones o factores habilitantes, que enmarcan en el concepto de gobernanza colaborativa, entendida como una forma de toma de decisión en la que las instituciones del sector público, en este caso, las vinculadas al sector ganadero y desarrollo rural de la región, involucran directamente a las partes interesadas, como instituciones privadas, organizaciones de productores y ganaderos en un proceso de toma de decisiones, con el objetivo de diseñar o implementar políticas y gestionar arreglos institucionales que faciliten la adopción y escalamiento de las medidas, que permitan tanto la gestión del riesgo como el desarrollo de los hogares rurales (Ansell y Gash, 2007). Con relación a estas condiciones se consideran los siguientes aspectos:

**La tenencia segura de la tierra:** Es un elemento fundamental para facilitar la planificación de la adaptación al cambio climático. El IPCC reconoce que este factor puede obstaculizar la adaptación e intensificar las vulnerabilidades con un nivel de confianza medio (Shukla *et al.*, 2019). Por lo tanto, dentro del entorno habilitante, consideramos prioritario fortalecer las estructuras locales de gobernanza de la tierra en las fincas del paisaje para incrementar el valor de este recurso para los productores, no solo desde un punto de vista económico, sino también desde una perspectiva social y cultural (Murken & Gornott, 2022). Atender este factor podría incentivar la inversión a largo plazo en medios de vida, promover la adopción de prácticas agrícolas mejoradas como el manejo de árboles, e incrementar la capacidad de los productores para utilizar sus tierras como garantía para acceder a productos financieros (Mitchell y McEvoy, 2019).

**Opciones de empleo no agrícola:** Para muchos hogares rurales, la agricultura y la ganadería per se no representan en el corto plazo una vía para superar el umbral de pobreza y adaptarse al clima, lo que les hace depender cada vez más de fuentes de ingreso no agrícola que impulsan la migración (Hellin & Fisher, 2019). En este contexto, resulta fundamental promover políticas inclusivas que fomenten la transformación de los medios de vida locales mediante la identificación de alternativas de desarrollo económico y social que se puedan implementar desde las fincas. Estas iniciativas pueden generar un doble beneficio: mayor productividad y adaptación al cambio climático, gracias al aumento del nivel de activos y la creación de nuevas vías de subsistencia. La incorporación de este tipo de transformaciones requerirá de un enfoque innovador y abierto que permita ampliar nuestra comprensión de las realidades locales que enfrentan los productores y de los cambios necesarios para impulsar estos cambios a través de modelos de negocio rural diversificados (O'Brien, 2011).

**Comunicación y difusión del valor de las medidas de resiliencia:** Resulta crucial comunicar el valor económico de los beneficios que generan las medidas AbE. Un obstáculo importante para la promoción y escalamiento de este tipo de medidas radica en la dificultad para capturar y cuantificar adecuadamente el valor económico y ambiental de sus beneficios. Por lo tanto, se hace necesario fortalecer la estrategia de transferencia de conocimiento mediante un análisis que permita dilucidar los beneficios de las AbE en la reducción del riesgo climático, evaluar su impacto en el flujo de ingresos agrícolas y no agrícolas, las necesidades de inversión y financiamiento, así como aspectos clave como las probabilidades de incumplimiento de pagos, potenciales reducciones de primas de seguros, tasas de interés y otras políticas de incentivos (Pacay *et al.*, 2023).

**Fortalecimiento de los servicios de extensión rural:** Fortalecer el acceso a servicios de extensión rural como la asistencia técnica y la capacitación agropecuaria es fundamental para fomentar un uso más amplio de nuevas prácticas y brindar el apoyo técnico necesario para adaptarlas a los diversos contextos socioeconómicos y agroecológicos. Para lograrlo, se requiere masificar la implementación de escuelas de campo y programas de extensión participativos que promuevan el intercambio de conocimientos y experiencias sobre prácticas de adaptación efectivas (Braun y Duveskog, 2011; Vignola *et al.*, 2010). Además, la integración

de herramientas digitales puede potenciar significativamente estos servicios. Plataformas en línea, aplicaciones móviles y redes sociales pueden facilitar el acceso a información actualizada, capacitaciones virtuales y asesoramiento técnico en tiempo real, ampliando el alcance y efectividad de los programas de extensión. De esta manera, el uso de herramientas digitales no solo puede complementar los métodos tradicionales de extensión, sino que también mejorar el acceso al conocimiento y la capacidad de respuesta de las familias rurales.

**Servicios climáticos:** El acceso a servicios climáticos es crucial para la toma de decisiones informadas, tanto a nivel de finca como de paisaje. Estos servicios permiten a los productores comprender y gestionar respuestas tempranas antes los riesgos asociados a las amenazas climáticas identificadas, como las sequías (Tall *et al.*, 2018). Para maximizar su impacto, se requieren mecanismos eficientes de acceso y entrega, junto con productos adaptados a las necesidades específicas de los usuarios. Estos productos deben impulsar cambios en las decisiones, habilidades, comportamientos y prácticas agrícolas, conduciendo a una mejora en los medios de vida de las familias rurales (Tall & Ji, 2013). Tanto los servicios de extensión rural y como climáticos, deben ser factores complementarios en el marco del entorno habilitante, ya que mientras éste último proporciona la información, los servicios de extensión rural proveen las habilidades prácticas para interpretarla y utilizarla en los procesos de toma de decisión en la finca.

**Acceso a crédito y financiamiento:** La mayoría de los productores enfrentan limitaciones en el acceso a crédito o financiamiento, lo que restringe su capacidad para hacer frente de manera adecuada a los riesgos del cambio climático. Por lo tanto, resulta fundamental brindar soluciones financieras accesibles para ampliar y fortalecer la planificación de medidas de resiliencia. Esto se puede lograr, por ejemplo, a través del acceso a tasas de interés bajas y del fortalecimiento de las capacidades internas de las entidades financieras y asociaciones de productores que apoyan la adaptación al cambio climático de los productores organizados (Ojo *et al.*, 2021; Pacay *et al.*, 2023).

Si bien el marco legal no fue explícitamente considerado en la cadena de impacto, es un elemento de análisis fundamental que está estrechamente relacionado con la adopción de las medidas propuestas. A pesar de la existencia de un marco regulatorio para la protección de áreas protegidas, bosques, cuerpos de agua y biodiversidad, su influencia es limitada y, en algunos casos, puede ser desconocida o ignorada por los productores, quienes podrían optar por aprovechar los recursos de la tierra dentro o adyacentes a sus fincas, deteriorándolos en el proceso (Harvey *et al.*, 2017). Por lo tanto, como parte esencial del marco de gobernanza, recomendamos fortalecer los marcos regulatorios existentes y desarrollar mecanismos efectivos de aplicación y seguimiento para garantizar la protección de los recursos naturales y promover las medidas propuestas a través de comités locales o municipales. Esta acción requiere una amplia colaboración entre diversos actores, incluidas las instituciones pertinentes, las comunidades rurales y el sector privado, para asegurar una implementación adecuada y una comprensión más amplia de la importancia de este factor para fortalecer la planificación de la resiliencia climática a escala de paisaje.

#### **4.5. Implicaciones para la investigación y la práctica**

De nuestros hallazgos se derivan importantes niveles de incertidumbre sobre la magnitud y el alcance de los efectos e impactos del cambio climático en el paisaje, debido a que los factores de peligro pueden interactuar con factores ecológicos y socioeconómicos inherentes del paisajes, lo que desencadena otros riesgos en una proliferación de interacciones (Simpson *et al.*, 2021). Si bien la información obtenida en este estudio puede orientar una propuesta de intervención para minimizar el riesgo climático identificado, nuestros resultados se centran principalmente en una aproximación para comprender su complejidad en el corto plazo. Por lo tanto, es necesario incorporar nuevos conocimientos sobre los factores de riesgo que

interactúan en este tipo de paisajes para actualizar y fundamentar regularmente la toma de decisiones a mediano y largo plazo, considerando la necesidad de nuevas medidas y oportunidades para crear resiliencia. En este marco, en el cuadro 5 sugerimos las siguientes líneas de investigación agrupadas por ejes de trabajo para comprender más a fondo estas interacciones, e integrar este conocimiento en la evaluación continua de políticas y prácticas sostenibles a través de una agenda de investigación regional.

Cuadro 4. Líneas de investigación sugeridas para la evaluación, adaptación mitigación del impacto del cambio climático en el Corredor Seco de Nicaragua.

Eje de trabajo	Líneas de investigación
Agricultura y ganadería	<p>Cambios en calendarios agrícolas: Evaluar la magnitud y consecuencia de los cambios en los calendarios agrícolas como resultado de las alteraciones en el régimen de lluvias, así como las posibles opciones de ajuste para reducir el impacto de estos cambios sobre la productividad agrícola y ganadera.</p> <p>Parásitos externos y temperaturas: Evaluar el efecto en la distribución, incidencia y severidad de parásitos externos como resultado del incremento de las temperaturas.</p> <p>Diversificación productiva en fincas ganaderas: Identificar opciones de diversificación productiva en las fincas ganaderas.</p> <p>Enriquecimiento y conservación de forrajes: Validar técnicas de enriquecimiento y conservación de forrajes para utilizar en la época seca acorde a los recursos y características de las fincas.</p> <p>Intensificación sostenible de fincas ganaderas: Evaluar estrategias para la intensificación sostenible de las fincas ganaderas que permitan reducir el nivel de exposición, y a la vez, mantener o incrementar los niveles de productividad.</p> <p>Estrés calórico y adaptación racial en ganado: Analizar los efectos del estrés calórico sobre los diferentes grupos raciales presentes en los hatos para seleccionar los cruces con mejor capacidad de adaptación a condiciones más cálidas.</p> <p>Producción y calidad de forrajes bajo altas temperaturas: Analizar el efecto de las altas temperaturas sobre la producción y calidad de especies forrajeras gramíneas y leguminosas.</p> <p>Especies y variedades adaptadas a condiciones secas: Evaluar la adaptabilidad de especies y variedades de cultivos y pastos a condiciones más secas.</p>
Tecnología y monitoreo	<p>Teledetección y monitoreo de cobertura forestal: Incorporar el uso de herramientas de teledetección para monitorear los cambios en la cobertura forestal de las fincas e identificar puntos críticos de restauración de paisajes.</p>
Economía y gobernanza	<p>Servicios de extensión y climáticos: Analizar el impacto de los servicios de extensión rural y climáticos en la capacidad de respuesta de las familias rurales.</p> <p>Servicios financieros y gobernanza de la tierra: Evaluar el impacto de los servicios financieros y del fortalecimiento de la gobernanza de la tierra para mejorar la capacidad de respuesta de las familias rurales.</p> <p>Empleo no agrícola y resiliencia: Evaluar el impacto potencial de las opciones de empleo no agrícola en el mejoramiento de los medios de vida de las familias rurales y de su nivel de resiliencia al cambio climático.</p>

## **5. Conclusiones**

Si bien la mayoría de los municipios se sitúan en un nivel de riesgo intermedio bajo las condiciones actuales, la proyección del índice bajo escenarios futuros sugiere un incremento notable en la severidad del riesgo, impulsado por variaciones climáticas de lluvia y temperatura que amenazan con intensificar las condiciones de sequía, y por ende, comprometer la seguridad hídrica, alimentaria y la productividad agropecuaria de las fincas, lo cual podría exacerbarse por los problemas socioeconómicos y ambientales que afectan inherentemente a la región.

Los factores de vulnerabilidad que determinan la propensión de los trece municipios a verse afectados negativamente por las condiciones climáticas están vinculados con la densidad ganadera y la población rural, asociados a los subcomponentes de sensibilidad ecológica y socioeconómica, respectivamente, y la falta de sistemas de riego, relacionada con la capacidad de adaptación. En sitios con mayor vulnerabilidad, se observan factores adicionales como el ITH, la falta de servicios de extensión rural y de créditos, la presencia de fuentes de agua temporales, cobertura arbórea y prevalencia de fincas con prácticas convencionales.

Existen factores de gobernanza que juegan un rol protagónico en la adopción y escalamiento de las medidas de resiliencia climática en paisajes ganaderos del CSN. Los resultados de esta propuesta enfatizan en que la planificación de la resiliencia climática requiere abordar de manera simultánea factores ambientales, socioeconómicos y legales para que la implementación del plan sea efectiva.

De acuerdo con las características de las fincas y en los resultados del índice de riesgo climático generados a nivel de municipio, este estudio ha permitido identificar tanto sitios críticos como grupos de fincas donde se necesitan medidas prioritarias. Si bien estas medidas a escala de finca podrían ser promisorias para reducir el riesgo, se enfatiza en que su efectividad depende del marco de gobernanza identificado para impulsar la resiliencia climática de los hogares rurales, más allá del alcance de medidas incrementales en los sistemas productivos.

El enfoque metodológico de riesgo climático y de cadena de impacto es viable y eficiente para analizar el paisaje del CSN, siempre y cuando se utilice datos e información disponibles local. Este enfoque no solo busca informar la toma de decisiones e identificar prioridades para la planificación de la resiliencia climática a escala de finca y paisaje, sino que también permite identificar las condiciones habilitantes necesarias para catalizar la adopción y escalamiento de la propuesta de intervención y fomentar el desarrollo rural más allá de las fuentes de ingreso agrícola.

## **6. Agradecimientos**

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y a la Cooperación Suiza en América Central (COSUDE) que han financiado la elaboración de este trabajo a través del proyecto “Adaptación de la agricultura al cambio climático a través de la cosecha de agua en Nicaragua.”

## 7. Bibliografía

- Acosta, A., Díaz, T. (2014). *Lineamientos de Política para el Desarrollo Sostenible del Sector Ganadero*. FAO.
- Adger, W. N., Brown, I., & Surminski, S. (2018). Advances in risk assessment for climate change adaptation policy. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 376(2121), 20180106. <https://doi.org/10.1098/rsta.2018.0106>
- Aguilar, E., Peterson, T. C., Obando, P. R., Frutos, R., Retana, J. A., Solera, M., Soley, J., García, I. G., Araujo, R. M., Santos, A. R., Valle, V. E., Brunet, M., Aguilar, L., Álvarez, L., Bautista, M., Castañón, C., Herrera, L., Ruano, E., Sinay, J. J., ... Mayorga, R. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 110(D23). <https://doi.org/10.1029/2005JD006119>
- Almazroui, M., Islam, M. N., Saeed, F., Saeed, S., Ismail, M., Ehsan, M. A., Diallo, I., O'Brien, E., Ashfaq, M., Martínez-Castro, D., Cavazos, T., Cerezo-Mota, R., Tippet, M. K., Gutowski, W. J., Alfaro, E. J., Hidalgo, H. G., Vichot-Llano, A., Campbell, J. D., Kamil, S., ... Barlow, M. (2021). Projected Changes in Temperature and Precipitation Over the United States, Central America, and the Caribbean in CMIP6 GCMs. *Earth Systems and Environment* 5(1), 1-24. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00199-5>
- Anderson, T. G., Anchukaitis, K. J., Pons, D., & Taylor, M. (2019). Multiscale trends and precipitation extremes in the Central American Midsummer Drought. *Environmental Research Letters* 14(12), 124016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5023>
- Andrews, T. M., Simpson, N. P., Mach, K. J., & Trisos, C. H. (2023). Risk from responses to a changing climate. *Climate Risk Management* 39, 100487. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2023.100487>
- Ansell, C., & Gash, A. (2008). Collaborative Governance in Theory and Practice. *Journal of Public Administration Research and Theory* 18(4), 543-571. <https://doi.org/10.1093/jopart/mum032>
- Antwi-Agyei, P., & Stringer, L. C. (2021). Improving the effectiveness of agricultural extension services in supporting farmers to adapt to climate change: Insights from northeastern Ghana. *Climate Risk Management* 32, 100304. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100304>
- Batung, E. S., Mohammed, K., Kansanga, M. M., Nyantakyi-Frimpong, H., & Luginaah, I. (2023). Credit access and perceived climate change resilience of smallholder farmers in semi-arid northern Ghana. *Environment, Development and Sustainability* 25(1), 321-350. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02056-x>
- Beguiría, S., y Vicente-Serrano, SM. (2023). *\_SPEI: Calculation of the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index\_*. R package version 1.8.1 <https://CRAN.R-project.org/package=SPEI>
- Bendaña, G. (2012). *Agua, agricultura y seguridad alimentaria en las zonas secas de Nicaragua*. Autor. [https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/13/13437461885650/agua\\_agricultura\\_y\\_san\\_en\\_las\\_zonas\\_secas\\_-\\_quillermo\\_bendaa\\_garca.pdf](https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/13/13437461885650/agua_agricultura_y_san_en_las_zonas_secas_-_quillermo_bendaa_garca.pdf)
- Bouroncle, C., Imbach, P., Rodríguez-Sánchez, B., Medellín, C., Martínez-Valle, A., & Läderach, P. (2017). Mapping climate change adaptive capacity and vulnerability of smallholder agricultural livelihoods in Central America: Ranking and descriptive approaches to support adaptation

- strategies. *Climatic Change* 141(1), 123-137. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1792-0>
- Braun, A., & Duveskog, D. (2011). *The Farmer Field School approach—History, global assessment and success stories*. Background paper for the IFAD Rural poverty report.
- Bryan, E., Ringler, C., Okoba, B., Roncoli, C., Silvestri, S., & Herrero, M. (2013). Adapting agriculture to climate change in Kenya: Household strategies and determinants. *Journal of Environmental Management* 114, 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.036>
- Büschting, W. (2023). *Productividad de pastos en los sistemas silvopastoriles en el corredor seco del norte de Nicaragua*. [Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie)]. <https://geocatie.maps.arcgis.com/sharing/rest/content/items/6b8de36fbaf4462aeea880f4638f21c8/data>
- Canu, F., Wretling, P., Audia, I., Tobar, D. & Andrade, H. (2018). Estrategia de desarrollo bajo en carbono (LCDS) para el sector ganadero de Nicaragua. *Managua: DESIGNafd*. <https://unepdtu.org/wp-content/uploads/2018/01/nicaragua-livestock-spanish-final.pdf>
- Capon, S. J., Chambers, L. E., Mac Nally, R., Naiman, R. J., Davies, P., Marshall, N., Pittock, J., Reid, M., Capon, T., Douglas, M., Catford, J., Baldwin, D. S., Stewardson, M., Roberts, J., Parsons, M., & Williams, S. E. (2013). *Riparian Ecosystems in the 21st Century: Hotspots for Climate Change Adaptation? Ecosystems*, 16(3), 359-381. <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9656-1>
- Castells-Quintana, D., Lopez-Uribe, M. del P., & McDermott, T. K. J. (2018). Adaptation to climate change: A review through a development economics lens. *World Development*, 104, 183-196. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.11.016>
- Censo Nacional Agropecuario (Cenagro). (2012). *IV Censo Nacional Agropecuario*. MAGFOR e INIDE
- Chávez, M., y Mendoza, F. (2000) *Análisis de la sensibilidad de las zonas de vida de Holdridge en Nicaragua en función del cambio climático*. Ingeniería tesis, Universidad Nacional Agraria, UNA.
- Colorado-Ruiz, G., Cavazos, T., Salinas, J. *et al.* (2018). Climate change projections from Coupled Model Intercomparison Project phase 5 multi-model weighted ensembles for Mexico, the North American monsoon, and the mid-summer drought region. *Int J Climatol* 38(15):5699–5716. <https://doi.org/10.1002/joc.5773>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). (2010). *Nicaragua efectos del cambio climático sobre la agricultura*. Cepal
- Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store, (2021). *CMIP6 climate projections. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)*. <https://doi.org/10.24381/cds.c866074c> (Accessed on 01-04-2024)
- Curtis, S. (2002). Interannual variability of the bimodal distribution of summertime rainfall over Central America and tropical storm activity in the far-eastern Pacific. *Climate Research* 22(2), 141-146. <https://doi.org/10.3354/cr022141>
- Depsky, N., & Pons, D. (2020). Meteorological droughts are projected to worsen in Central America's dry corridor throughout the 21st century. *Environmental Research Letters* 16(1), 014001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc5e2>

- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C.W. *InfoStat versión 2020*. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dixon, J., Gulliver, A., Gibbon, D., & Hall, M. (2001). *Farming systems and poverty: improving farmers' livelihoods in a changing world*. World Bank Group.
- Ekine-Dzivenu, C. C., Mrode, R., Oyieng, E., Komwihangilo, D., Lyatuu, E., Msuta, G., Ojango, J. M. K., & Okeyo, A. M. (2020). Evaluating the impact of heat stress as measured by temperature-humidity index (THI) on test-day milk yield of small holder dairy cattle in a sub-Saharan African climate. *Livestock Science* 242, 104314. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104314>
- Farr, T. G., & Kobrick, M. (2000). Shuttle radar topography mission produces a wealth of data. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 81(48), 583-585. <https://doi.org/10.1029/EO081i048p00583>
- Fick, S.E., & Hijmans, R.J. (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12): 4302-4315.
- Food and Agricultural Organization (FAO). (2015). *Disaster Risk Programme to Strengthen Resilience in the Dry Corridor in Central America*. <https://www.fao.org/3/i5018e/i5018e.pdf>
- Fotheringham, S.A., Brunson, C., Charlton, M. (2002). *Geographically Weighted Regression: the analysis of spatially varying relationships*. John Wiley & Sons.
- Fotheringham, S.A., Charlton, M., Brunson, C. (1998). Geographically weighted regression: a natural evolution of the expansion method for spatial data analysis. *Environment and Planning A* 30(11), 1905–1927.
- Geza, W., Ngidi, M. S. C., Slotow, R., & Mabhaudhi, T. (2022). The Dynamics of Youth Employment and Empowerment in Agriculture and Rural Development in South Africa: A Scoping Review. *Sustainability* 14(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/su14095041>
- Girvetz, E. H., & Zganjar, C. (2014). Dissecting indices of aridity for assessing the impacts of global climate change. *Climatic Change* 126(3), 469-483. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1218-9>
- GIZ y EURAC. (2017). *Suplemento de Riesgo del Libro de la Vulnerabilidad. Guía sobre cómo aplicar el enfoque del Libro de la Vulnerabilidad con el nuevo concepto de riesgo climático del IE5 del IPCC*. GIZ.
- GIZ, EURAC & UNU-EHS. (2018). *Evaluación de Riesgo Climático para la Adaptación basada en Ecosistemas –Una guía para planificadores y practicantes*, Bonn. GIZ.
- Godde, C. M., Boone, R. B., Ash, A. J., Waha, K., Sloat, L. L., Thornton, P. K., & Herrero, M. (2020). Global rangeland production systems and livelihoods at threat under climate change and variability. *Environmental Research Letters*, 15(4), 044021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7395>
- Godde, C. M., Mason-D'Croz, D., Mayberry, D. E., Thornton, P. K., & Herrero, M. (2021). Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence. *Global Food Security*, 28, 100488. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100488>
- Gómez, B. J., & Urbina, E. J. (2020). *Estado fitosanitario de las pasturas en tres fincas de la comarca panamericana del municipio de Camoapa, Boaco en el periodo de septiembre a diciembre*



2019 [Engineer, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/4198/>

- Gotlieb, Y., Pérez-Briceño, P. M., Hidalgo, H., & Alfaro, E. (2019). The Central American Dry Corridor: A consensus statement and its background. *Revista Yu'am* 3(5), 42-51.
- Graterol, E., Pulver, E., Jaramillo, S., Urioste, S., Labarta, R., Arana, J., Reyes, B., Obando, M., y Moreno, C. (2019). Estrategia de diversificación y aumento de la productividad agropecuaria en el corredor seco de Nicaragua con base en la gestión integral del recurso hídrico. BID
- Greenacre, M. (1984). *The Theory and Applications of Correspondence Analysis*. XF2006254320.
- Hahn, G. L., Gaughan, J. B., Mader, T. L., & Eigenberg, R. A. (2009). Thermal indices and their applications for livestock environments. *Livestock energetics and thermal environment management* (pp. 113-130). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Handley, T. E., Kay-Lambkin, F. J., Inder, K. J., Lewin, T. J., Attia, J. R., Fuller, J., Perkins, D., Coleman, C., Weaver, N., & Kelly, B. J. (2014). Self-reported contacts for mental health problems by rural residents: Predicted service needs, facilitators and barriers. *BMC Psychiatry*, 14(1), 249. <https://doi.org/10.1186/s12888-014-0249-0>
- Hannah, L., Donatti, C. I., Harvey, C. A., Alfaro, E., Rodríguez, D. A., Bouroncle, C., Castellanos, E., Díaz, F., Fung, E., Hidalgo, H. G., Imbach, P., Läderach, P., Landrum, J. P., & Solano, A. L. (2017). Regional modeling of climate change impacts on smallholder agriculture and ecosystems in Central America. *Climatic Change* 141(1), 29-45. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1867-y>
- Hargreaves, G. H. (1994). Defining and Using Reference Evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 120(6), 1132-1139. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1994\)120:6\(1132\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1994)120:6(1132))
- Harvey, C. A., Martínez-Rodríguez, M. R., Cárdenas, J. M., Avelino, J., Rapidel, B., Vignola, R., Donatti, C. I., & Vilchez-Mendoza, S. (2017). The use of Ecosystem-based Adaptation practices by smallholder farmers in Central America. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 246, 279-290. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.018>
- Harvey, C. A., Saborio-Rodríguez, M., Martínez-Rodríguez, M. R., Viguera, B., Chain-Guadarrama, A., Vignola, R., & Alpizar, F. (2018). Climate change impacts and adaptation among smallholder farmers in Central America. *Agriculture & Food Security* 7(1), 57. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0209-x>
- Harvey, C., Tucker, N., & Estrada, A. (2004). Live Fences, Isolated Trees, and Windbreaks: Tools for Conserving Biodiversity in Fragmented Tropical Landscapes. *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes* (pp. 261-289).
- Hellin, J., & Fisher, E. (2019). Climate-Smart Agriculture and Non-Agricultural Livelihood Transformation. *Climate* 7(4), article 4. <https://doi.org/10.3390/cli7040048>
- Herrera, D., Ault, T., Fasullo, J., Coats, S., Carrillo, C., Cook, B., & Williams, A. (2018). Exacerbation of the 2013-2016 Pan-Caribbean Drought by Anthropogenic Warming. *Geophys Res Lett.* 16, 45(19):10619-10626. <https://doi.org/10.1029/2018GL079408>
- Heslop-Thomas, C., Bailey, W., Amarakoon, D., Chen, A., Rawlins, S., Chadee, D., Crosbourne, R., Owino, A., Polson, K., & Rhoden, C. (2008). Vulnerability to Dengue Fever in Jamaica. *Climate*



Change and Vulnerability and Adaptation. Routledge.

- Hidalgo, H. G. (2021). Climate Variability and Change in Central America: What Does It Mean for Water Managers? *Frontiers in Water*, 2. <https://doi.org/10.3389/frwa.2020.632739>
- Hidalgo, H. G., Alfaro, E. J., Amador, J. A., & Bastidas, Á. (2019). Precursors of quasi-decadal dry-spells in the Central America Dry Corridor. *Climate Dynamics* 53(3), 1307-1322. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04638->
- Hidalgo, H. G., Amador, J. A., Alfaro, E. J., & Quesada, B. (2013). Hydrological climate change projections for Central America. *Journal of Hydrology* 495, 94-112. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.05.004>
- Huber, J., Madurga-Lopez, I., Murray, U., McKeown, P. C., Pacillo, G., Laderach, P., & Spillane, C. (2023). Climate-related migration and the climate-security-migration nexus in the Central American Dry Corridor. *Climatic Change* 176(6), 79. <https://doi.org/10.1007/s10584-023-03549-6>
- Imbach, P., Chou, S. C., Lyra, A., Rodrigues, D., Rodriguez, D., Latinovic, D., Siqueira, G., Silva, A., Garofolo, L., & Georgiou, S. (2018). Future climate change scenarios in Central America at high spatial resolution. *PLOS ONE* 13(4), e0193570. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193570>
- Imbach, P., Molina, L., Locatelli, B., Roupsard, O., Mahé, G., Neilson, R., Corrales, L., Scholze, M., & Ciais, P. (2012). Modeling Potential Equilibrium States of Vegetation and Terrestrial Water Cycle of Mesoamerica under Climate Change Scenarios. *Journal of Hydrometeorology* 13(2), 665-680. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-11-023.1>
- Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER). (2005). *Atlas Climático de Nicaragua*. Ineter. <https://webserver2.ineter.gob.ni/mapas/Nicaragua/clima/atlas/index.html>
- Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER). (2018). *Cobertura y uso actual de la tierra al 2018*. Ineter. <https://servidormapas.ineter.gob.ni/AtlasNacionalSuelo/>
- Instituto Nacional de Información de Desarrollo (Inide). (2022). *Anuario estadístico*. Inide.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
- Jamieson, M. (1999). Poverty among the Indigenous Peoples of Nicaragua. *Inter-American Development Bank*.
- Jamshidi, O., Asadi, A., Kalantari, K., Azadi, H., & Scheffran, J. (2019). Vulnerability to climate change of smallholder farmers in the Hamadan province, Iran. *Climate Risk Management*, 23, 146-159. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.06.002>
- Jaramillo, S., Graterol, E., & Pulver, E. (2020). Sustainable Transformation of Rainfed to Irrigated Agriculture Through Water Harvesting and Smart Crop Management Practices. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.437086>

- Jung, C.-G., Lee, D.-R., & Moon, J.-W. (2016). Comparison of the Penman-Monteith method and regional calibration of the Hargreaves equation for actual evapotranspiration using SWAT-simulated results in the Seolma-cheon basin, South Korea. *Hydrological Sciences Journal* 61(4), 793-800. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.943231>
- Kalimba, U. B., & Culas, R. J. (2020). Climate Change and Farmers' Adaptation: Extension and Capacity Building of Smallholder Farmers in Sub-Saharan Africa. En V. Venkatramanan, S. Shah, & R. Prasad (Eds.), *Global Climate Change and Environmental Policy: Agriculture Perspectives* (pp. 379-410). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-9570-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-13-9570-3_13)
- Kreft, S., Eckstein, D., y Melchior, I. (2016). Índice de riesgo climático global 2017: ¿Quién sufre más por los fenómenos meteorológicos extremos? Eventos de pérdidas relacionados con el clima en 2014 y de 1995 a 2014. 2016. <https://www.germanwatch.org/sites/default/files/publication/16411.pdf>
- Leupolz-Rist, R., Cantarero, S. & Toruño, C. (2017). *Cambio climático en el sector ganadero de Nicaragua*. Managua: FUNDIDES.
- Locatelli, B., Evans, V., Wardell, A., Andrade, A., & Vignola, R. (2011). Forests and Climate Change in Latin America: Linking Adaptation and Mitigation. *Forests* 2(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/f2010431>
- Lyra, A., Imbach, P., Rodriguez, D., Chou, S. C., Georgiou, S., & Garofolo, L. (2017). Projections of climate change impacts on central America tropical rainforest. *Climatic Change* 141(1), 93-105. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1790-2>
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (Marena). (2019). *Causas de las deforestación y degradación forestal en Nicaragua*. Marena.
- Mitchell, D., & McEvoy, D. (2019). *Land tenure and climate vulnerability. United Nations Humans Settlement Programme (UN-Habitat)*. <https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-06/un-habitat-gltn-land-and-climate-vulnerability-19-00693-web.pdf>
- Murken, L., & Gornott, C. (2022). The importance of different land tenure systems for farmers' response to climate change: A systematic review. *Climate Risk Management* 35, 100419. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100419>
- National Research Council (NRC). (1971). *A guide to environmental research on animals*. Natl. Acad. Sci.
- Neelin, J. D., Münnich, M., Su, H., Meyerson, J. E., & Holloway, C. E. (2006). Tropical drying trends in global warming models and observations. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(16), 6110-6115. <https://doi.org/10.1073/pnas.0601798103>
- O'Brien, K. (2011). Responding to environmental change: A new age for human geography? *Progress in Human Geography* 35(4), 542-549. <https://doi.org/10.1177/0309132510377573>
- Ojo, T. O., Adetoro, A. A., Ogundeji, A. A., & Belle, J. A. (2021). Quantifying the determinants of climate change adaptation strategies and farmers' access to credit in South Africa. *Science of The Total Environment* 792, 148499. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148499>
- Organización Internacional del Trabajo (OIT) (2022). *Corredor seco, empleo y migración*. OIT. <https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/---sro->

- Organización Internacional para las Migraciones (OIM). (2019). *Glosario de la OIM sobre migración*. OIM. <https://publications.iom.int/system/files/pdf/iml-34-glossary-es.pdf>
- Orgaz, C. (2019, mayo 15). ¿Qué es el Corredor Seco y por qué está ligado a la pobreza extrema en casi toda Centroamérica? BBC News Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-48186820>
- Pacay Tot, E. F., Madrigal, R., & Evia, P. (2023). *Evidencias de la integración del enfoque “Adaptación basada en Ecosistemas” -AbE- en productos financieros y de seguros comerciales*. Catie. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/12618>
- Pascale, S., Kapnick, S. B., Delworth, T. L., Hidalgo, H. G., & Cooke, W. F. (2021). Natural variability vs forced signal in the 2015–2019 Central American drought. *Climatic Change* 168(3), 16. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03228-4>
- Peralta, R.O., Carrazón Alocén, J., Zelaya Elvir, C.A. (2012). *Buenas prácticas para la seguridad alimentaria y la gestión de riesgo*. FAO. [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/faoweb/honduras/docs/buenas\\_practicas\\_para\\_la\\_SAN.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/faoweb/honduras/docs/buenas_practicas_para_la_SAN.pdf)
- Petutschnig, L., Rome, E., Lückerath, D., Milde, K., Gerger Swartling, Å., Aall, C., Meyer, M., Jordá, G., Gobert, J., Englund, M., André, K., Bour, M., Attoh, E. M. N. A. N., Dale, B., Renner, K., Cauchy, A., Reuschel, S., Rudolf, F., Agulles, M., ... Kienberger, S. (2023). Research advancements for impact chain based climate risk and vulnerability assessments. *Frontiers in Climate* 5. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fclim.2023.1095631>
- Plant, R. (1998). *Indigenous Peoples and Poverty Reduction: A Case Study of Guatemala*. Inter-American Development Bank.
- R Core Team. (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T., & Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management* 16, 145-163. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>
- Schneiderbauer, S., Pedoth, L., Zhang, D., & Zebisch, M. (2013). Assessing adaptive capacity within regional climate change vulnerability studies-An Alpine example. *Natural Hazards* 67(3), 1059-1073. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9919-0>
- Shukla, P. R., Skea, J., Calvo Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H. O., Roberts, D. C., ... & Huntley, E. (2019). IPCC, 2019: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Simpson, N. P., Mach, K. J., Constable, A., Hess, J., Hogarth, R., Howden, M., Lawrence, J., Lempert, R. J., Muccione, V., Mackey, B., New, M. G., O'Neill, B., Otto, F., Pörtner, H.-O., Reisinger, A., Roberts, D., Schmidt, D. N., Seneviratne, S., Strongin, S., ... Trisos, C. H. (2021). A framework for complex climate change risk assessment. *One Earth* 4(4), 489-501. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.03.005>

- Solera, E. (2021). *Caracterización del Corredor Seco del Triángulo Norte de Centroamérica. Habitat para la humanidad*. <https://www.habitat.org/sites/default/files/documents/Caracterización%20del%20Corredor%20Seco%20del%20Triángulo%20Norte%20de%20Centroamérica%20-%20Resumen%20Ejecutivo.pdf>
- Stagge, J. H., Tallaksen, L. M., Gudmundsson, L., Van Loon, A. F., & Stahl, K. (2015). Candidate Distributions for Climatological Drought Indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology* 35(13), 4027-4040. <https://doi.org/10.1002/joc.4267>
- Stewart, I. T., Maurer, E. P., Stahl, K., & Joseph, K. (2022). Recent evidence for warmer and drier growing seasons in climate sensitive regions of Central America from multiple global datasets. *International Journal of Climatology* 42(3), 1399-1417. <https://doi.org/10.1002/joc.7310>
- Tall, A., & Ji, N. (2013). *Developing a methodology to evaluate climate services for farmers in Africa and South Asia workshop report*. <https://hdl.handle.net/10568/3344>
- Tall, A., Coulibaly, J. Y., & Diop, M. (2018). Do climate services make a difference? A review of evaluation methodologies and practices to assess the value of climate information services for farmers: Implications for Africa. *Climate Services* 11, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2018.06.001>
- Teweldebirhan Tsige, D., Uddameri, V., Forghanparast, F., Hernandez, E. A., & Ekwaro-Osire, S. (2019). Comparison of Meteorological- and Agriculture-Related Drought Indicators across Ethiopia. *Water* 11(11), article 11. <https://doi.org/10.3390/w11112218>
- Thornton, P. K., van de Steeg, J., Notenbaert, A., & Herrero, M. (2009). The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems* 101(3), 113-127. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.05.002>
- Tirivarombo, S., Osupile, D., & Eliasson, P. (2018). Drought monitoring and analysis: Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Standardised Precipitation Index (SPI). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 106, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.07.001>
- Tobar-López, D., Bonin, M., Andrade, H. J., Pulido, A., & Ibrahim, M. (2019). Deforestation processes in the livestock territory of La Vía Láctea, Matagalpa, Nicaragua. *Journal of Land Use Science* 14(3), 225-241. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2019.1671907>
- Tucker, C. M., Eakin, H., & Castellanos, E. J. (2010). Perceptions of risk and adaptation: Coffee producers, market shocks, and extreme weather in Central America and Mexico. *Global Environmental Change* 20(1), 23-32. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.07.006>
- Vammen, K., & Peña, E. (2022). Water and climate: Global environmental sustainability and the current state in a developing country, Nicaragua. *Frontiers in Water* 4. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frwa.2022.975102>
- Van der Hoek, R., Mena, M., Rodríguez, J., García, A., Enciso, K., Díaz, M., Burkart, S. (2021). *Amenazas, impactos del cambio climático y opciones de adaptación para los sistemas de ganadería bovina en Nicaragua*. Alianza de Bioersity Internacional y CIAT.
- Van der Zee, A., Van der Zee, J., Meyrat, A., Poveda, C., & Picado, L. (2012). *Estudio de*

*caracterización del Corredor Seco Centroamericano.* FAO.

- Vendramini, J., Dubeux Jr, J., & Silveira, M. (2014). Nutrient cycling in tropical pasture ecosystems. *Brazilian Journal of Agricultural Sciences* 9. <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i2a3730>
- Vichot-Llano, A., Martinez-Castro, D., Bezanilla-Morlot, A., CentellaArtola, A., & Giorgi, F. (2020). Projected changes in precipitation and temperature regimes over the Caribbean and Central America using a multiparameter ensemble of RegCM4. *Int J Clim.* <https://doi.org/10.1002/joc.6811>
- Vignola, R., Harvey, C. A., Bautista-Solis, P., Avelino, J., Rapidel, B., Donatti, C., & Martinez, R. (2015). Ecosystem-based adaptation for smallholder farmers: Definitions, opportunities and constraints. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 211, 126-132. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.05.013>
- Vignola, R., Koellner, T., Scholz, R. W., & McDaniels, T. L. (2010). Decision-making by farmers regarding ecosystem services: Factors affecting soil conservation efforts in Costa Rica. *Land Use Policy* 27(4), 1132-1142. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.03.003>
- Villanueva, C., Argeñal Vega, P., Ibrahim, M. A., & Casasola Coto, F. (2013). *Contribución de las cercas vivas en el control del estrés calórico en sistemas intensivos de producción de leche en trópico de bajura.* <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7826>
- Yan, J., Yang, Z., Li, Z., Li, X., Xin, L., & Sun, L. (2016). Drivers of cropland abandonment in mountainous areas: A household decision model on farming scale in Southwest China. *Land Use Policy* 57, 459-469. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.06.014>
- Yin, D., Li, Q., Li, X., & Zhu, R. (2022). Annual water deficit in response to climate variabilities across the globe. *Environmental Research Letters* 17(5), 054021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac5d9b>

## **8. Anexos**

### **8.1. Material complementario**

MC1: Encuesta a jefes de hogar y base de datos.

[https://drive.google.com/drive/folders/1Srvju1uJyMJ7Q8vnl17wUUtMiffOFVvk?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1Srvju1uJyMJ7Q8vnl17wUUtMiffOFVvk?usp=drive_link)

MC2: Archivos shapefile utilizados para la descripción biofísica.

[https://drive.google.com/drive/folders/15z-5LkyBi2LxIW6JhsS\\_PfZVVThK9CWi?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/15z-5LkyBi2LxIW6JhsS_PfZVVThK9CWi?usp=drive_link)

MC3: Scripts utilizados para descargar y procesar los datos climáticos y calcular las anomalías de precipitación y temperatura.

[https://drive.google.com/drive/folders/1Rh\\_EIAwB1mzI5cB6-kqFd8xh0y6DMNVM?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1Rh_EIAwB1mzI5cB6-kqFd8xh0y6DMNVM?usp=drive_link)

MC4: Archivos raster de precipitación y temperatura históricos y futuros (incluyendo anomalías) para cada escenario.

[https://drive.google.com/drive/folders/1nmzTSQsr4PnfKcBiAqjQoHx1NtkOQF9l?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1nmzTSQsr4PnfKcBiAqjQoHx1NtkOQF9l?usp=drive_link)

MC5: Script y archivos utilizados para realizar el cálculo del índice de temperatura y humedad para las áreas de pasto del paisaje.

[https://drive.google.com/drive/folders/1rRxIAFLsKN9GsfmymSY5prwL6auTIRq?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1rRxIAFLsKN9GsfmymSY5prwL6auTIRq?usp=drive_link)

MC6: Datos y scripts utilizados para generar mapas de anomalías y de índices de peligro, vulnerabilidad, exposición y riesgo climático.

[https://drive.google.com/drive/folders/1O\\_EISZ2aMngW\\_TpoDv4JeqX4E7yV0eYL?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1O_EISZ2aMngW_TpoDv4JeqX4E7yV0eYL?usp=drive_link)

MC7: Cuadros y figuras con datos zonales de las condiciones climáticas históricas y futuras, incluyendo los resultados de las anomalías para los trece municipios.

[https://drive.google.com/drive/folders/1QEm5NtGZ61OLN5LqbQFFAHbszT4Zv-Bp?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1QEm5NtGZ61OLN5LqbQFFAHbszT4Zv-Bp?usp=drive_link)

MC8: Proceso de cálculo de los indicadores e índices de riesgo.

[https://drive.google.com/drive/folders/13WWPWO9M2G90mi4lfUoAwSNnR\\_A-5Q2?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/13WWPWO9M2G90mi4lfUoAwSNnR_A-5Q2?usp=drive_link)

MC9: Datos del CENAGRO (en formato .sav) y anuario estadístico poblacional de INIDE (2022).

[https://drive.google.com/drive/folders/1F3O6cykcmK7Vgru6RAD0rF6K6lh8HXJn?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1F3O6cykcmK7Vgru6RAD0rF6K6lh8HXJn?usp=drive_link)

## **8.2. Equipo central del estudio**

Ing. René Jarquín – Ingeniero agrónomo, especialista en edafología, producción de cultivos, formulación y evaluación de proyectos. [rene.jarquin@catie.ac.cr](mailto:rene.jarquin@catie.ac.cr)

Ing. MSc. Ney Ríos – Especialista en recursos hídricos y modelación hidrológica en la Unidad de Cuencas, Seguridad Hídrica y Suelos del CATIE. [ney.rios@catie.ac.cr](mailto:ney.rios@catie.ac.cr)

Dr. Cristobal Villanueva Najarro – Especialista en ganadería, sistemas silvopastoriles y cambio climático en el Programa de Ganadería y Manejo del Ambiente del CATIE. [cvillanu@catie.ac.cr](mailto:cvillanu@catie.ac.cr)

Ing. MSc. Francisco Casasola Soto – Especialista en ganadería en el Programa de Ganadería y Manejo del Ambiente del CATIE. [fcasasol@catie.ac.cr](mailto:fcasasol@catie.ac.cr)

Dr. Pablo Imbach – Especialista en modelación y cambio climático en la Unidad de Acción Climática del CATIE. [pablo.imbach@catie.ac.cr](mailto:pablo.imbach@catie.ac.cr)

Ing. Bayardo Quintero – Coordinador del proyecto “Adaptación de la agricultura al cambio climático a través de la cosecha de agua en Nicaragua” ejecutado por el CATIE. [bayardo.quintero@catie.ac.cr](mailto:bayardo.quintero@catie.ac.cr)

MSc. Luisa Gámez Ulloa – Especialista de Monitoreo Proyecto Cosecha de Agua en Nicaragua. [luisa.gamez@catie.ac.cr](mailto:luisa.gamez@catie.ac.cr)