



ESCUELA DE INGENIERÍA DE LOS RECURSOS  
NATURALES Y DEL AMBIENTE (EIDENAR)



## Identificación de estrategias agroecológicas para adaptación al cambio climático en el cultivo de café enfocado a productores de la comunidad cafetera de Trujillo, Valle del Cauca

Fra Filippo Casadiego Arevalo

Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Agrícola

Facultad de Ingeniería

Programa académico de Ingeniería Agrícola



Universidad del Valle  
Santiago de Cali, 2023.



ESTRATEGIAS AGROECOLÓGICAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CULTIVO DE CAFÉ ENFOCADO  
A PRODUCTORES DE LA COMUNIDAD CAFETERA DE TRUJILLO, VALLE DEL CAUCA

## **IDENTIFICACIÓN DE ESTRATEGIAS AGROECOLÓGICAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CULTIVO DE CAFÉ ENFOCADO A PRODUCTORES DE LA COMUNIDAD CAFETERA DE TRUJILLO, VALLE DEL CAUCA**

**Autor:**

**Fra Filippo Casadiego Arevalo**

**Código: 201822181**

**Director:**

**Profesor Yesid Carvajal Escobar**

**Ingeniero Agrícola**

**Especialista en Hidrología General y Aplicada**

**Magister en Suelos y Aguas**

**PhD en Hidráulica y Medio Ambiente**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Agrícola**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE  
(EIDENAR)**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**SANTIAGO DE CALI**

**SEPTIEMBRE, 2023**

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN.....                                                                                                                                        | 1  |
| 2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....                                                                                                            | 3  |
| 3. JUSTIFICACIÓN.....                                                                                                                                       | 5  |
| 4. OBJETIVOS.....                                                                                                                                           | 7  |
| 4.1. OBJETIVO GENERAL.....                                                                                                                                  | 7  |
| 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                                                                                            | 7  |
| 5. MARCO DE REFERENCIA .....                                                                                                                                | 8  |
| 5.1. MARCO CONCEPTUAL.....                                                                                                                                  | 8  |
| 5.2. MARCO CONTEXTUAL .....                                                                                                                                 | 10 |
| 5.2.1. Antecedentes históricos de la agricultura industrial .....                                                                                           | 10 |
| 5.2.2. El CC y la VC y sus efectos en la agricultura .....                                                                                                  | 11 |
| 5.2.3. Antecedentes de la caficultura colombiana y la situación de Trujillo.....                                                                            | 13 |
| 5.3. ESTUDIOS RECIENTES.....                                                                                                                                | 14 |
| 5.4. MARCO TEÓRICO .....                                                                                                                                    | 17 |
| 5.4.1. ¿Qué es la agroecología y como soluciona a la crisis de la agricultura industrial y el CC? .....                                                     | 17 |
| 5.4.2. Principios técnicos y sociales de la agroecología. ....                                                                                              | 18 |
| 5.4.3. Estrategias técnicas y sociales de la agroecología para la conversión de sistemas agrícolas convencionales en socio-agroecosistemas sostenibles..... | 19 |
| 5.4.4. Los beneficios del sistema alimentario agroecológico frente al sistema alimentario industrial ante factores socioambientales:.....                   | 20 |
| 6. METODOLOGÍA.....                                                                                                                                         | 22 |
| 6.1. DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....                                                                                                  | 22 |
| 6.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE FINCAS .....                                                                                                                 | 22 |
| 6.3. DIAGRAMA DE ÁRBOL METODOLÓGICO.....                                                                                                                    | 24 |
| 6.4. ACTIVIDADES GENERALES PARA EL INICIO DE ESTA INVESTIGACIÓN .....                                                                                       | 25 |
| 6.4.1. Visitas a la zona de estudio.....                                                                                                                    | 25 |

|        |                                                                                        |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.4.2. | Firma de la política de privacidad de la Universidad del Valle .....                   | 26 |
| 6.5.   | ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1 .....                               | 26 |
| 6.6.   | ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2 .....                               | 27 |
| 6.7.   | ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL OBJETIVO ESPECÍFICO 3 .....                               | 29 |
| 7.     | RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                                           | 31 |
| 7.1.   | RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL OBJETIVO 1 .....                                            | 31 |
| 7.2.   | RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL OBJETIVO 2 .....                                            | 36 |
| 7.3.   | RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL OBJETIVO 3 .....                                             | 40 |
| 7.4.1. | Agroforestería .....                                                                   | 40 |
| 7.4.2. | Adaptación basada en Comunidades .....                                                 | 42 |
| 7.4.3. | Diversificación de cultivos .....                                                      | 43 |
| 7.4.4. | Eficiencia en el uso de los bienes naturales principalmente agua, atmósfera y suelo 44 |    |
| 8.     | CONCLUSIONES .....                                                                     | 50 |
| 9.     | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                       | 52 |
| 10.    | ANEXOS ..... ¡Error! Marcador no definido.                                             |    |

## LISTADO DE TABLAS

|          |                                                                                                                                                                          |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. | Estudio de antecedentes recientes. Elaboración propia .....                                                                                                              | 14 |
| Tabla 2. | Principios técnicos de la agroecología. Adaptado de Wezel et al., 2020. ....                                                                                             | 18 |
| Tabla 3. | Estrategias agroecológicas para la conversión de sistemas convencionales en agroecosistemas sostenibles. Elaboración propia .....                                        | 19 |
| Tabla 4. | Beneficios del sistema alimentario agroecológico campesino frente al industrial. Nota. Adaptado de Altieri y Nicholls, 2015. ....                                        | 20 |
| Tabla 5. | Fincas seleccionadas en la investigación. Fuente: Elaboración propia. ....                                                                                               | 23 |
| Tabla 6. | Salidas al municipio de Trujillo con las actividades realizadas, descripción y resultados obtenidos a partir de esta. Fuente: Elaboración propia. ....                   | 25 |
| Tabla 7. | Criterios que se tuvieron en cuenta para medir el riesgo de cada indicador de resiliencia y su calificación de 1 a 5. Nota. Adaptado de Altieri y Nicholls. (2013). .... | 27 |
| Tabla 8. | Descripción de los criterios de evaluación para diagnosticar el grado agroecológico de los sistemas productores de café en Trujillo. Elaboración propia. ....            | 28 |

|                                                                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 9. Resultados de la encuesta nacional de caracterización socioeconómica y ambiental de los hogares cafeteros. Adaptado de FNC (2021). .....                                                            | 31 |
| Tabla 10. Resultados de la encuesta socioeconómica de los hogares cafeteros de Trujillo realizada al jefe encargado del comité de la Federación de Cafeteros del municipio. Fuente: Elaboración propia ..... | 32 |
| Tabla 11. Resultados encuesta socioeconómica a los propietarios de las 4 fincas estudiadas en esta investigación. Fuente: elaboración propia.....                                                            | 32 |
| Tabla 12. Cambios esperados en la precipitación y temperatura anual en los municipios que podrían verse mayormente afectados por el CC entre el periodo 2030-2050. Adaptado de CIAT & CVC, 2014. ....        | 34 |
| Tabla 13. Indicadores tipo semáforo para las 4 fincas. Nota. Adaptado de Altieri y Nicholls. (2013). ....                                                                                                    | 36 |
| Tabla 14. Calificación por finca para cada indicador. Elaboración propia. ....                                                                                                                               | 36 |
| Tabla 15. Resultados del diagnóstico del grado agroecológico de los sistemas de producción estudiados. Finca Buenos Aires Elaboración propia. ....                                                           | 38 |
| Tabla 16. Beneficios de implementar practicas agroecológicas en la finca modelo Buenos Aires. Fuente, Elaboración propia.....                                                                                | 39 |
| Tabla 17. Litros de biogás por kg de peso producidos según animal o fuente de biomasa. Fuente: Elaboración propia.....                                                                                       | 46 |
| Tabla 18. Cantidad de litros de biogás requeridos al día. Fuente: Elaboración propia .....                                                                                                                   | 47 |
| Tabla 19. Cantidad necesaria y Carga total solido-agua según fuente de biomasa. Fuente: Elaboración propia .....                                                                                             | 47 |
| Tabla 20. Dimensiones necesarias para el biodigestor. Fuente: Elaboración propia. ....                                                                                                                       | 48 |

## LISTADO DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Pérdida de aptitud de los cultivos de café en los municipios del norte del Valle del Cauca en contraste con los índices de PMD. Extraído de CIAT & CVC (2014). ....          | 14 |
| Figura 2. Localización de la zona de estudio Trujillo, Valle del Cauca. Fuente: Elaboración propia. ....                                                                               | 22 |
| Figura 3. Ubicación geográfica de las fincas de la investigación. Fuente: Elaboración propia...23                                                                                      |    |
| Figura 4. Resumen de la metodología. Fuente: Elaboración propia.....                                                                                                                   | 24 |
| Figura 5. a. Aptitud Climática actual, b. Futura 2030s c. Futura 2050s. Escenarios A2 (más caluroso) en las áreas productoras de café en Colombia. Extraído de López et al., 2018..... | 34 |

Figura 6. Pérdida de aptitud del cultivo de café en el Valle del Cauca prevista para el 2050 en su variedad arábica con respecto a las condiciones climáticas favorables para el cultivo en el año 2014. Tomado de CIAT & CVC, 2014.....35

Figura 7. Resultados del diagnóstico del grado de resiliencia de los sistemas de producción estudiados. A. Finca La Luisa, B. Finca Las Margaritas, C. Finca La Espartana. D. Finca Buenos Aires. Elaboración propia.....37

Figura 8. Beneficios ambientales y económicos de los árboles en las fincas cafeteras. Fuente: Farfán (2014). .....42

Figura 9. Evolución de la materia orgánica en el suelo, fuente: de Román et al., 2013 .....45

Figura 10. Línea temporal de la historia de las variedades del café en Colombia. Adaptado de Cadena & Bustamante, 2006; Flórez et al., 2016. .... ¡Error! Marcador no definido.

### LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Política de privacidad de la universidad del valle ..... ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 2. Encuesta de Caracterización de la comunidad de productores de Trujillo Valle del Cauca..... ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 3. Encuesta impactos del cambio climático en el cultivo de café ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 4. Encuesta a expertos realizada ..... ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 5. Expertos que fueron categorizados por nombre, profesión y estudios relacionados con agroecología ..... ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 6. Resultados encuesta socioeconómica fincas a las 4 fincas de la investigación... ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 7. Registro fotográfico de observaciones en las fincas ..... ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 8. Fotografías de beneficios de emplear practicas agroecologicas en la finca Buenos Aires ..... ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 9. Resultados de la encuesta a expertos de estrategias de adaptación al CC con enfoque agroecológico..... ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 10. Metodología Campesino a Campesino..... ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 11. Cálculos y metodología de la propuesta de diseño de un biodigestor estandarizado para zonas de producción de café ..... ¡Error! Marcador no definido.

## DE ABREVIATURAS

| Abreviatura | Significado                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------------------|
| AC          | Agricultura Convencional                                     |
| AbC         | Adaptación basada en Comunidades                             |
| AFCC        | Agricultura Familiar Campesina y Comunitaria                 |
| CC          | Cambio Climático                                             |
| Centicafé   | Centro Nacional de Investigaciones del Café                  |
| CG          | Calentamiento Global                                         |
| CIAT        | Centro Internacional de Agricultura Tropical                 |
| CVC         | Corporación autónoma regional del Valle del Cauca            |
| DNP         | Departamento Nacional de Planeación                          |
| EI          | Efecto Invernadero                                           |
| ENOS        | Fenómeno del Niño Oscilación del Sur                         |
| GEI         | Gases de Efecto Invernadero                                  |
| IDEAM       | Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales |
| OMM         | Organización Meteorológica Mundial                           |
| PIB         | Producto Interno Bruto                                       |
| PMD         | Pobreza Multidimensional                                     |
| RAE         | Real Academia Española                                       |
| RV          | Revolución Verde                                             |
| MCG         | Modelos de Circulación Global                                |
| SA          | Sistemas Agroecológicos                                      |
| UAF         | Unidades Agrícolas Familiares                                |
| VC          | Variabilidad Climática                                       |
| VCC         | Vulnerabilidad al Cambio Climático                           |



ESTRATEGIAS AGROECOLÓGICAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CULTIVO DE CAFÉ ENFOCADO  
A PRODUCTORES DE LA COMUNIDAD CAFETERA DE TRUJILLO, VALLE DEL CAUCA

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del evaluador**

---

**Firma del evaluador**

Santiago de Cali, 2023

### **Dedicatoria y Agradecimientos,**

Este trabajo de grado va dedicado a todas las personas que hicieron parte de mi proceso, al colegio Agrotécnico Mixto que me motivó a escoger la carrera de Ingeniería Agrícola. Asimismo, agradezco a Belén de los Andaquíes, municipio ubicado al sur del departamento del Caquetá, Colombia, en la región amazónica del país, que en medio de un ambiente tropical lleno de personas cálidas y trabajadoras me mostró la supremacía de la naturaleza para transformar las vidas de las personas, tal y como lo hizo con la mía.

Del mismo modo, doy gracias a los miembros de mi familia, a mi nona Ady Bermúdez quiero agradecerle por su amor maternal desde el día en que nací, por brindarme su apoyo incondicional y paciencia para formarme como un hombre con valores y principios. A mi papá Benjamín Casadiego, por sus consejos llenos de sabiduría y amor, por su confianza en mis capacidades y por permitirme soñar de manera ilimitada para alcanzar mis sueños. A mi tía Angie Arevalo por su amistad, cariño, abrazos y consejos en momentos difíciles. Y finalmente, a mi mamá Yesenia Arevalo por aceptar el cambio que representa en la vida de una mujer joven dar a luz a un niño, por cuidar de mí y haberme mostrado por primera vez el amor. A todas las personas que se involucraron económica y afectivamente en mi proyecto de vida: nona, papá, abue, mamá, tía y hermano, gracias por todo.

Al profesor Yesid Carvajal Escobar, agradecerle por su amistad y sabiduría, por confiar en mí y por darme los elementos para aprender a humanizar la Ingeniería Agrícola, comprender que más allá de la búsqueda de la eficiencia en la producción de alimentos “producir con menos”, es un conocimiento científico que puede trascender a las sociedades campesinas vulnerables y contribuir en la disminución de la desigualdad social, el hambre y la pobreza rural.

A Juan Camilo Triana por su paciencia, su acompañamiento durante este trabajo de grado y por mostrarme la importancia de dar segundas oportunidades, para permitir que las personas ofrezcan una mejor versión de sí mismas.

## RESUMEN:

La agroecología es considerada una transdisciplina que involucra campos como la filosofía, la antropología y el estudio de las ciencias agrarias y sociales. Una de sus aplicaciones sirve para adaptar cultivos como el café al cambio climático a través del incremento de la biodiversidad y resiliencia socioecológica de los sistemas productivos, brindando a estos múltiples beneficios sociales, económicos, y ambientales como establecer la soberanía alimentaria y energética del sistema, diversificar ingresos, disminuir el uso de agrotóxicos y fertilizantes químicos, entre otros.

En esta investigación se identificaron estrategias de adaptación al cambio climático desde la agroecología, enfocado en 4 fincas de medianos productores de café del municipio de Trujillo, Valle del Cauca, Colombia, teniendo en cuenta los futuros escenarios climáticos proyectados para el periodo 2030-2050.

Dentro de las actividades planeadas se revisaron fuentes bibliográficas, entrevistas, encuestas, observaciones *in situ* e intercambios de saberes con la comunidad, lo cual permitió identificar varias estrategias de adaptación al CC tales como: agroforestería, adaptación basada en comunidades, diversificación de cultivos, eficiencia en el uso de los bienes naturales principalmente agua, suelo y aire.

Así mismo, este documento se hizo en el marco del proyecto **“Fortalecimiento de la competitividad de los cafés especiales del centro del Valle- CAFIINNOVA”** en el cual el grupo IREHISA (Grupo de Investigación de los Recursos Hídricos y Suelos) participó en el eje de transformación y productividad, con el propósito de comprender la importancia e impacto de la climatología y tipo de suelos en la producción de café.

**Palabras clave:** Agroecología, Adaptación al cambio climático, Café, Variabilidad climática, Resiliencia socioecológica, Sustentabilidad, Estrategias agroecológicas

## ABSTRACT:

Agroecology is considered a transdiscipline that involves fields such as philosophy, anthropology, and the study of agrarian and social sciences. One of its applications serves to adapt crops such as coffee to climate change through the increase in biodiversity and socio-ecological resilience of productive systems, providing these with multiple social, economic, and environmental benefits such as establishing food and energy sovereignty of the system, diversifying income, reduce the use of pesticides and chemical fertilizers, among others.

In this research, strategies for adaptation to climate change were identified from agroecology, focused on 4 farms of medium-sized coffee producers in the municipality of Trujillo, Valle del Cauca, Colombia, considering the future climate scenarios projected for the period 2030-2050.

Within the planned activities, bibliographic sources, interviews, surveys, in situ observations and knowledge exchanges with the community were reviewed, which identified various adaptation

strategies to CC such as: agroforestry, community-based adaptation, crop diversification, efficiency in the use of natural capital, mainly water, air and soil.

Likewise, this document was made within the framework of the project “Strengthening the competitiveness of specialty coffees in the Valle del Cauca department center - CAFIINNOVA” in which the IREHISA group (Water and Soil Resources Research Group) participated in the transformation and productivity, with the purpose of understanding the importance and impact of climate and soil type on coffee production.

**Keywords:** Agroecology, Adaptation to climate change, Coffee plant agriculture, Climate variability, Sustainability, Socioecological resilience

## 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC) en el siglo XXI está ocasionando efectos negativos que afectan directamente a los seres vivos y sus ecosistemas socioecológicos, debido al incremento de la escasez de agua potable, disminución de la biodiversidad, cambios de aptitud de cultivos, inundaciones, entre otros (IPCC, 2021; Konapala et al., 2020; Li et al., 2022; Oad et al., 2023; Schewe et al., 2014). Dichos efectos son causados principalmente por cambios en las variables climáticas como la temperatura media, precipitación anual, incremento de las horas de brillo solar, velocidad del viento, entre otros (IPCC, 2021; Konapala et al., 2020; Li et al., 2022; Oad et al., 2023; Schewe et al., 2014).

A su vez, uno de los sectores precursores del calentamiento global es la agricultura industrial, responsable de entre el 23-30% de las contribuciones de GEI (Altieri & Nicholls, 2012; IPCC, 2021). Este modelo de enfoque extractivista hacia recursos naturales en la actualidad ha sido poco eficiente para contrarrestar los impactos del CC y la VC, viéndose perjudicado en la mayoría de sus cultivos (Altieri & Nicholls, 2012; Gliessman, 2000; Koohafkan et al., 2012).

Como consecuencia de las afectaciones que ha sufrido la agricultura industrial, ha surgido la necesidad de replantear los sistemas productivos que son dependientes de insumos agrícolas por otros más sostenibles y que sean duraderos a largo plazo como los sistemas agroecológicos (Altieri, 2002, 2004; Gliessman, 2000), dado que este tipo de agroecosistemas presentan principios ecológicos, económicos y sociales (Giraldo & Rosset, 2021; Wezel et al., 2020), orientados a disminuir la dependencia de insumos agrícolas (Lin, 2011; Perfecto et al., 2014), aumentar el crecimiento económico de las fincas (Nilsson et al., 2022) y adaptar cultivos como el café al CC y la VC (Cassamo et al., 2023; Fonseca Carreño, 2021; Gomes et al., 2020a; Quandt et al., 2023; Turbay et al., 2014).

El café (*Coffea Arabica*) es uno de los cultivos más sensibles a cambios en las variables climáticas como la precipitación, horas de brillo solar, temperatura media, entre otras (Chalchissa et al., 2022; DaMatta & Cochicho Ramalho, 2006; Fernandes et al., 2021; Morales et al., 2022). Algunos de los principales impactos son: pérdidas en la floración, secado prematuro del fruto y cambios en la aptitud del cultivo (Bilen et al., 2023; Guerrero-Carrera et al., 2020; Pham et al., 2019). Esta situación hará migrar el cultivo a zonas de mayor altitud (Schroth et al., 2009; Zullo et al., 2011).

A nivel mundial los principales países productores de café son Brasil, Vietnam y Colombia, en sus variedades Arábica y Robusta (Bonka, 2023; Orús, 2023). En el caso de Colombia, se cultiva únicamente la especie *Arabica* y las variedades más sembradas son *Típica*, *Borbón*, *Maragogipe*, *Tabi*, *Caturra*, *Castillo*, *Colombia* y *Cenicafé 1* (Flórez et al., 2016; FNC, 2023; Lopez & Alvarez-Herrera, 2017).

El café colombiano es reconocido mundialmente por su acidez y calidad de grano, puesto que el país cuenta con climas, suelos y rangos de alturas ideales para obtener cafés con estas características especiales (Gómez et al., 1991; López, 2017; Ocampo et al., 2017). Además, este cultivo tiene una gran importancia en la economía de la nación, dado que representa el 13% PIB agrícola del país (Cadena & Bustamante, 2006; FNC, 2016).

Igualmente, en el departamento del Valle del Cauca se cultiva la especie *Arábica* en fincas constituidas por comunidades campesinas, indígenas y afrodescendientes, en un total de 39 municipios que albergan aproximadamente 22,000 familias en 51,000 hectáreas (FNC, 2023a), que exportan anualmente cerca de 850,000 sacos de café (Noguera, 2017). Entre las principales características del café especial que se cultiva en esta región se encuentran: aroma intenso, acidez y cuerpo medio, notas de sabor dulces y olor a frutos rojos (FNC, 2023a).

Esta investigación se realizó en Trujillo, que es uno de los municipios más productores de café en el departamento del Valle Cauca (Gutiérrez & Rosero, 2019). Este actualmente cuenta con temperaturas promedio de 21° C, precipitaciones superiores a los 1,800 mm al año, suelos con acidez moderada y rangos de altura de entre 1,200-2,000 msnm (Gutiérrez & Rosero, 2019; Patiño-González et al., 2006), condiciones óptimas para la producción de *C. Arabica* (Gómez et al., 1991; Jaramillo-Robledo, 2005). Sin embargo, existen proyecciones basadas en modelos de circulación global (MCG) que señalan que estas condiciones ideales cambiarán a partir del 2030 como resultado de los incrementos en la temperatura media y precipitación anual, entre otras, generando pérdidas de aptitud en el cultivo de café y afectando así las condiciones de vida de los productores de Trujillo (CIAT & CVC, 2014; García. et al., 2018).

Dada la vulnerabilidad del municipio de Trujillo al CC y la VC y la relevancia económica que este cultivo representa para esta comunidad, es importante generar estrategias que permitan sostener la producción de café ante los fenómenos extremos esperados para el municipio, disminuir la dependencia de agrotóxicos y diversificar los ingresos ante posibles fluctuaciones en el precio del café.

Asimismo, esta investigación se hizo en el marco del proyecto **“Fortalecimiento de la competitividad de los cafés especiales del centro del Valle- CAFIINNOVA”** liderado por la Universidad del Valle. Este proyecto conto con el apoyo con varios grupos de investigación tales como IREHISA (Grupo de Investigación de los Recursos Hídricos y Suelos), que participó en el eje de transformación y productividad, con el propósito de comprender la importancia e impacto de la climatología y tipo de suelos en la producción de café. Además, esta investigación propone la agroecología como la mejor solución al CC, por sus diferentes beneficios y soluciones a largo plazo que son sustentables y sostenibles para los agricultores del municipio de Trujillo.

## 2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Varias investigaciones (FAO, 2017; IPCC, 2021; Ramalho et al., 2014; Schroth et al., 2009) han señalado que el CC es el mayor desafío al que se enfrentan los monocultivos en términos de adaptación, debido a que los índices climáticos extremos se han vuelto más frecuentes y severos en las últimas décadas. De hecho, se estima que en la actualidad el CC ha disminuido los rendimientos globales en un 3.8, 5.5% en cultivos de maíz y trigo respectivamente (Altieri & Nicholls, 2017).

Por otro lado, los efectos asociados a la VC ocasionados por el fenómeno del ENOS también generan cambios en las condiciones climáticas predominantes en periodos de tiempo corto en el océano pacífico y zonas cercanas al cinturón ecuatorial (Alzate et al., 2015). Varios estudios (Canchala et al., 2022; Carvajal Escobar, 2012; Cerón et al., 2021a; Quintero-Angel et al., 2012; Sedano Cruz & Carvajal Escobar, 2013) han expuesto que como consecuencia de la ocurrencia de ENOS en la costa pacífica de Colombia y otras regiones del país, se generan efectos tales como el aumento de la sequía, disminución de la humedad relativa, incrementos en la precipitación e inundaciones, entre otros.

El café se encuentra en peligro por ser un cultivo susceptible al CC y a la VC (Jaramillo et al., 2009; Ramirez-Villegas et al., 2012), dado que demanda de climas estables para su correcto desarrollo y calidad en producción (Chalchissa et al., 2022; DaMatta & Cochicho Ramalho, 2006; Fernandes et al., 2021; Morales et al., 2022). Ya se han elaborado modelos predictivos que estiman que en el mundo como consecuencia del CC para el 2050, se presentará una disminución más del 50% de las zonas aptas para la producción de café (Baca et al., 2014; Bunn et al., 2015; Davis et al., 2012).

Una de las principales plagas que afectan al café es la *Hemileia vastatrix* o la roya (Burgiel & Muir, 2010; Silva et al., 2006). Este hongo causa lesiones de color rojizo en la parte inferior de las hojas, disminuyendo su área fotosintética (Koutouleas et al., 2019; Talhinhos et al., 2017). Cuando se presentan ataques severos provoca pérdidas foliares, hecho que ocasiona pérdidas económicas para los agricultores (Cerdeira et al., 2017). Según Parada-Molina et al. (2020) el CC incrementará los efectos y la distribución altitudinal de *H. vastatrix*, dado que este hongo se desarrolla a mayor velocidad en condiciones de mayor temperatura y precipitación.

Asimismo, otra de las consecuencias más preocupantes del CC sobre el café, es que el cultivo tendrá que emigrar a zonas más altas (Schroth et al., 2009; Zullo et al., 2011), pero tal expansión puede amenazar áreas protegidas y/o bosques, que brindan importantes servicios ecosistémicos como: regulación del clima, hábitat de aves migratorias y amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales (Läderach et al., 2013).

Los cambios de aptitud del cultivo, el incremento de plagas y enfermedades y las pérdidas de producción que se esperan como consecuencia del CC afectarán de manera significativa al sector rural y la economía de Colombia en la producción de café; producto insignia y patrimonio histórico de la nación (López, 2017). En Colombia el café se cultiva hace al menos un siglo (Cadena & Bustamante, 2006; Flórez et al., 2016; López, 2017), entre los principales departamentos productores de café en el país se destacan: Huila, Antioquia, Tolima, Caldas y Valle del Cauca, entre otros (FNC, 2021a).

El municipio de Trujillo es uno de los mayores productores de café del departamento del Valle del Cauca (CIAT & CVC, 2014). Sin embargo, también es uno de los más vulnerables al CC y la VC (CIAT & CVC, 2014; País, 2018); En dicha zona se ha proyectado que durante el periodo 2030-2050, se producirá un aumento de la temperatura anual de hasta 2.2° C e incrementos de la precipitación anual de hasta 11% por encima de los rangos actuales en RCP 8.5 (CIAT & CVC, 2014).

Dada la situación anterior, se identificó la necesidad de realizar modificaciones en los sistemas de producción de café del municipio de Trujillo, Valle del Cauca, debido a que los existentes muestran baja capacidad de adaptación, una población socioeconómicamente vulnerable y poca seguridad y soberanía alimentaria ante los efectos asociados al CC y VC, tales como, pérdidas de rendimiento en la producción y cambios de aptitud del cultivo (CIAT & CVC, 2014).

Por lo tanto, la pregunta de investigación planteada en este documento fue **¿Cómo mejorar desde la agroecología la capacidad de adaptación de los sistemas productivos de café de Trujillo, Valle del Cauca ante los escenarios de CC previstos para el cultivo?**

Responder esta pregunta permitirá brindar estrategias que permitan disminuir los impactos del cambio climático sobre esta comunidad, considerando que los inevitables escenarios de incremento de temperatura media y la precipitación anual, afectaran la producción de café y considerando que esta es la principal actividad socioeconómica del municipio, se deben priorizar e implementar acciones preventivas a corto y largo plazo, para prevenir afectaciones económicas a los caficultores.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La agricultura industrial en su afán de generar un alto índice de productividad y desarrollo económico ha desencadenado una crisis socioecológica y agrícola a nivel global evidenciada en una mayor incidencia de plagas y enfermedades, pérdida de la biodiversidad, contaminación de del agua y hábitats naturales, entre otros (Rosset, 2001; Villalobos & Engelmann, 1995). Dichos efectos se han producido por la mecanización intensiva, extensión de la frontera agrícola, abuso de los agroquímicos, deforestación, erosión de suelo, entre otros (Rosset, 2001; Villalobos & Engelmann, 1995). Aunado a ello, los efectos del CC y de la VC generarán condiciones de incertidumbre y reducirán el crecimiento económico, dificultando los esfuerzos por reducir la pobreza y afectando la seguridad alimentaria (IPCC, 2007; Konapala et al., 2020; Li et al., 2022; Oad et al., 2023; Schewe et al., 2014).

Lo anterior sucede debido a que las variedades comerciales empleadas en la agricultura industrial requieren condiciones específicas de monocultivo para obtener su máximo rendimiento, son altamente dependientes de insumos agrícolas y corren el riesgo de que ante un evento climático extremo se pierda todo el cultivo (Mooney, 1979 citado en López et al., 2021; Pengue, 2009; Vargas et al., 2015).

Ante la amenaza que representa el CC para la agricultura (Baca et al., 2014; Bunn et al., 2015; Davis et al., 2012) en diferentes regiones del mundo gobiernos, corrientes científicas, grupos campesinos y movimientos sociales han dado origen a estrategias de adaptación al CC con enfoque agroecológico (Lipper et al., 2022; Mairura et al., 2021; Nachmany et al., 2019; Pathak, 2022), las cuales son técnicas y metodologías que permiten producir alimentos de una forma sostenible, resaltando los conocimientos y saberes tradicionales de las comunidades agrícolas campesinas que durante décadas se han adaptado a los efectos del clima (Altieri & Nicholls, 2017; Cassamo et al., 2023; Fonseca Carreño, 2021; Gomes et al., 2020; Quandt et al., 2023; Turbay et al., 2014).

Así pues, los sistemas agroecológicos campesinos conforman una gran variedad de sistemas agrícolas comunitarios que ofrecen modelos que promueven la diversidad biológica, sostienen el rendimiento sin agroquímicos, tienen en cuenta la conservación de la integridad ecológica y hacen un aporte a la seguridad y soberanía alimentaria nacional (Altieri, 2002, 2004; Altieri & Toledo, 2011; Giraldo, 2022; Sánchez de Prager, 2018). Lo que representa una opción viable para adaptar cultivos sensibles al CC como el café.

Dada la vulnerabilidad del café al CC y VC, así como su gran relevancia económica y cultural de este cultivo en Colombia (López, 2017), es importante investigar e implementar estudios que contribuyan a el cumplimiento del objetivo 13 (acción por el clima) de los Objetivos del Desarrollo Sostenible propuestos por la ONU para el país (Chavarro et al., 2017; ONU, 2016). De manera que esta propuesta brinda conocimiento a los agricultores de la zona de estudio que les permitirá adaptar sus cultivos al CC, minimizar las emisiones de GEI a la atmósfera y mantener un alto índice de producción ante cambios en las condiciones ambientales, reducir el hambre, la pobreza y los impactos del clima (Altieri & Nicholls, 2013; Chavarro et al., 2017; Fonseca Carreño, 2021; IPCC, 2021; Nicholls et al., 2015).

La región cafetera del departamento Valle del Cauca está comprendida por municipios como Sevilla, El Águila, El Cairo, Riofrío, Trujillo, entre otros (CIAT & CVC, 2014). Particularmente el

municipio de Trujillo, Valle del Cauca, enfoca su economía principalmente en cultivos como café, banano y plátano, sin embargo, esta comunidad también es considerada una buena productora de frutas como mora, aguacate y lulo (Gutiérrez & Rosero, 2019).

Esta diversidad representa una oportunidad para implementar prácticas agroecológicas como agroforestería, reciclaje de nutrientes, diversificación de cultivos, entre otras, dado que estas técnicas brindan beneficios tales como generar microclimas que disminuyen hasta 4° la temperatura interna del sistema (Jezeer et al., 2019; Koutouleas, et al., 2022), establecer corredores biológicos como aves, mamíferos e insectos que sirven como polinizadores y controladores biológicos de plagas como la broca (Lin et al., 2008; Perfecto et al., 2005, 2014), aumentar el crecimiento económico de las fincas mediante la diversificación de ingresos (Nilsson et al., 2022), brindar servicios ecosistémicos como filtrar el agua y el aire, estabilizar el suelo durante las lluvias intensas, almacenar carbono y reponer los nutrientes del suelo, entre otros (Farfán, 2014).

Por lo tanto, para lograr la investigación, diseño e implementación de este tipo de estrategias que permitan la adaptación al CC es necesario que la ingeniería tenga un componente de conciencia y compromiso social mediante la incorporación de criterios que involucren dimensiones ambientales, económicas y sociales en los procesos de planificación y gestión de la agricultura y el recurso hídrico (Fox et al., 2017).

A partir de lo anterior se pueden establecer sistemas productivos de café más eficientes, sustentables, resilientes y con menor dependencia de insumos en el municipio de Trujillo, Valle del Cauca. Además del CC y la VC, el incremento del costo de los alimentos, la escasez de tierra y agua potable y el aumento de los costos de energía también representan grandes retos para la agricultura y en particular para los productores de café de municipio (Altieri & Nicholls, 2012; CIAT & CVC, 2014).

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Identificar estrategias agroecológicas de adaptación al cambio climático para el cultivo del café en productores de Trujillo, Valle del Cauca.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar los posibles impactos del cambio climático y la variabilidad climática sobre la comunidad cafetera de Trujillo a partir de revisiones bibliográficas, entrevistas y encuestas.
- Investigar sobre los beneficios de implementar prácticas agroecológicas en cultivos de café como estrategia para disminuir los impactos del CC en el municipio de Trujillo, Valle del Cauca.
- Proponer estrategias de adaptación al CC con enfoque agroecológico para aumentar la resiliencia del cultivo de café frente a la VC y CC en el municipio de Trujillo, Valle del Cauca.

## 5. MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo se incluyeron los conceptos, antecedentes históricos, estudios recientes y consideraciones teóricas que sustentan y exponen la necesidad un producir alimentos a través un modelo más sostenible, resiliente al CC, biodiverso, de baja dependencia de insumos y alta diversidad de ingresos como la agroecología, propuesta en este documento como la mejor solución ante los escenarios de CC proyectados para el municipio de Trujillo.

### 5.1. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se presenta un listado de conceptos clave que se consideran necesarios definir para comprender mejor las alternativas propuestas en este documento:

- **Agricultura convencional:** Agricultura con enfoque extractivista centrada en el uso del monocultivo como medio de producción (Altieri et al., 1999), donde la tendencia natural hacia la complejidad se detiene utilizando productos agroquímicos (Savory, 1988, citado en Altieri et al., 1999).
- **Adaptación al cambio climático:** Hace referencia a las acciones y medidas orientadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas socio-ecológicos ante los efectos reales o esperados del CC (IPCC, 2021).
- **Agricultura familiar, campesina y comunitaria:** Se define como el sistema de producción y organización gestionado y operado por mujeres, hombres, familias, y comunidades campesinas, indígenas y afrodescendientes, que conviven en los territorios rurales del país, donde se trabaja de forma conjunta entre los miembros de cada comunidad (MinAgricultura, 2017)
- **Agricultura industrial:** Es un tipo de agricultura que al igual que la agricultura convencional se basa en aumentar los niveles de producción haciendo un uso extractivo de los recursos naturales como el agua y el suelo y su modelo productivo es el monocultivo (Ferguson et al., 2009; Sevilla-Guzmán et al., 2000).
- **Cafés especiales:** Son cafés diferenciados por características de origen, preparación y/o sostenibilidad en su producción (FNC, 2023b).
- **Cambio Climático:** Según IPCC (2007) CC es la variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos.
- **Capacidad adaptativa:** Es la capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad climática y los eventos extremos), moderar los daños potenciales, tomar ventaja de las oportunidades y enfrentar las consecuencias (Magrin, 2015).
- **Compostaje:** un proceso de transformación de materia orgánica con el que se obtiene material biológicamente activo, para ello se requiere de presencia de microorganismos, los cuales, cuando cuentan con buena presencia de oxígeno degradan la materia orgánica hasta convertirla en un abono de excelente calidad (De Bertoldi, 2010).
- **Extractivismo:** Es un modelo económico basado en la explotación y venta de recursos naturales como minería, agricultura y petróleo (OCMAL, 2023).

- **Faros agroecológicos:** Fincas modelo en las que se implementan sistemas con criterios agroecológicos exitosos y sustentables que pueden ser usadas para procesos de capacitación y multiplicación (Infante, 2015).
- **fenómeno de El Niño Oscilación del Sur:** Es un fenómeno océano-atmosférico de VC que consiste en un calentamiento o enfriamiento anormal de las aguas superficiales del pacífico sudamericano, entre otras regiones, especialmente frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia (Poveda Jaramillo & Mesa Sanchez, 1996).
- **Gases de efecto invernadero:** Son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes (Galli et al., 2022). Los principales GEI precursores del calentamiento global son: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre (Galli et al., 2022; IPCC, 2021).
- **Interdisciplina:** Es la planificación conjunta y ejecución de proyectos a través de varias disciplinas (García, 2013). Asimismo, la interdisciplina se logra cuando varias disciplinas se conectan para hacer más fácil el trabajo que cada una desempeña, trabajando de manera conjunta en la solución de un problema (Ostos-Ortiz & Aparicio-Gómez, 2020).
- **Monocultivo:** Sistema de producción agraria que consiste en cultivar en una gran extensión de terreno una sola especie (Altieri et al., 1999).
- **Multitudes Agroecológicas:** Término que busca la multiplicidad de ámbitos articulados para la agricultura y que se refiere a muchas parcelas pequeñas y muchas familias en muchos territorios produciendo y comiendo de forma agroecológica (Giraldo, 2022).
- **Resiliencia socio-ecológica:** Es la capacidad de un sistema social de lidiar y/o recuperarse de un cambio ambiental (Altieri & Nicholls, 2012). Para esto es importante comprender que un sistema agroecológico es un proceso coevolutivo entre grupos étnicos interactuando con la naturaleza (Altieri & Nicholls, 2012, 2013; Escalera & Ruiz, 2011).
- **Sistemas agroforestales:** Asociación de cultivos agrícolas con plantas perennes leñosas como árboles maderables (Samanta, 2005).
- **Soberanía alimentaria:** La soberanía alimentaria es el derecho de los pueblos, de sus países o estados a definir su política agraria y alimentaria, donde no se vean afectados por mercados desleales frente a países terceros (Vía Campesina, 2003).
- **Soberanía energética:** Es el derecho que tiene la población rural, a generar energía suficiente para todas sus operaciones teniendo en cuenta los límites ecológicos a partir de fuentes sostenibles (Perez-Cassarino & Bezerra, 2016).
- **Soberanía tecnológica:** Se refiere a la capacidad de lograr la soberanía alimentaria y energética a partir de la optimización de los diseños de fincas basados en la diversidad biológica agrícola (Perez-Cassarino & Bezerra, 2016).
- **Sustentabilidad:** La sustentabilidad busca generar un balance entre los sistemas natural y social, es decir, que el hombre pueda convivir en el planeta indefinidamente, sin comprometer el futuro de este (coexistencia) (Bell & Morse, 2008; Clayton & Radcliffe, 2018; Gutierrez et al., 2008; Harrington, 1992).

- **Transdisciplina:** Es la expansión del enfoque interdisciplinario hacia la participación (Ruiz-Rosado, 2006). Trascender disciplinas significa que no es suficiente solucionar un problema a partir de varias disciplinas conectadas entre sí, sino que también es necesaria la acción participativa para modificar estructuras y resolver sus problemáticas socioeconómicas (Kumar, 2002; Ruiz-Rosado, 2006).
- **Variabilidad climática:** Término que corresponde a las fluctuaciones del clima en periodos cortos que a través de los años y desde épocas remotas se han presentado en diversas escalas de tiempo y espacio (Alzate et al., 2015).

## 5.2. MARCO CONTEXTUAL

En este ítem se explican algunos antecedentes históricos que exponen las diferentes dificultades que ha enfrentado la agricultura y que actualmente exigen generar modificaciones en la manera en cómo se producen los alimentos.

### 5.2.1. *Antecedentes históricos de la agricultura industrial*

La revolución verde (RV), es un término acuñado en 1968 por William Gaud, quien lo definió como un conjunto de prácticas y mejoras tecnológicas basadas en el monocultivo como modelo de producción, que tuvo su auge entre los años 1940 a 1970 y causó una revolución total en el sector agrícola (Martínez-Centeno & Huerta Sobalvarro, 2018; Patel, 2013).

Asimismo, el objetivo principal la RV fue aumentar el rendimiento en la producción por unidad de superficie de alimentos como arroz, maíz y trigo mediante el uso de agrotóxicos, semillas híbridas mejoradas, fertilizantes químicos, maquinaria agrícola y sistemas de riego (Láñez, 2007; Patel, 2013; Salomon & Muzlera, 2021), situación que simplificó considerablemente los sistemas productivos e hicieron más dependientes de la matriz energética sustentada en combustibles fósiles (Ceccon, 2009; Láñez, 2007.; Martínez-Centeno & Huerta Sobalvarro, 2018; Patel, 2013; Sarandón & Flores, 2014).

La Fundaciones Rockefeller y Ford fueron las compañías precursoras de la RV cuando en conjunto con el Ministerio de Agricultura de México financiaron el Programa de Agricultura, para el cual fue contratado un joven biólogo llamado Norman Borlaug en 1944 (Dowie, 2002; Patel, 2013). Fue así como estas compañías empezaron a extender sus programas agrícolas por todo América Latina y posteriormente en Asia durante la segunda mitad del siglo XX, creando diferentes institutos internacionales que fomentaron la investigación y la adopción de variedades de semillas de alto rendimiento genéticamente modificadas, como el Instituto Internacional de Investigación del Arroz (IRRI), en Filipinas, y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en Colombia (Ceccon, 2009; Picado, 2021).

Aunque las prácticas y mejoras tecnológicas desarrolladas durante la RV trajeron importantes beneficios, como el aumento de la producción mundial, así como reducir la desnutrición entre otros (FAO, 1996; Láñez, 2007). También trajo problemas que exacerbaban el hambre y la pobreza en el mundo. Entre las principales problemáticas se destacan:

- **Escasez de agua y energía:** Las practicas extractivas desarrolladas en esta época pocos años más tarde aumentaron la escasez de recursos naturales, como el agua y el suelo (Altieri & Nicholls, 2012; Martinez-Centeno & Huerta Sobalvarro, 2018).
- **Pérdida de la capacidad productiva de los suelos:** Debido a la erosión, degradación, salinización, desertificación, baja reposición de nutrientes y poca eficiencia en el uso de fertilizantes (Sarandón & Sarandón, 1993, citado en (Sarandón & Flores, 2014).
- **Aumento de la desigualdad social:** Los paquetes tecnológicos desarrollados incluían semillas mejoradas, fertilizantes químicos, pesticidas, maquinaria, sistemas de riego e insumos con altos costos que solo podían ser adquiridos por los más ricos y dejando afectados a pequeños productores (Dowie, 2002; Patel, 2013).
- **El aumento de la susceptibilidad a plagas y enfermedades:** El hecho de establecer monocultivos altamente dependientes de combustibles fósiles, ocasiono un incremento desproporcionado en la aparición de plagas y enfermedades (Mooney, 1979, citado en López et al., 2021).
- **Pérdida de la biodiversidad y de la capacidad productiva de los agroecosistemas:** Lo que provocó mayores riesgos y vulnerabilidades ambientales ante el uso de insecticidas y fertilizantes químicos, que posteriormente provocaron problemas de salud (Gliessman et al., 2006; Patel, 2013).
- **La pérdida de importancia de los cultivos de subsistencia producidos fundamentalmente por la AFCC:** Esto debido a la creciente demanda de variedades comerciales por parte de los mercados mundiales, restando importancia a la calidad nutricional de los alimentos que se consumen (IICA et al., 1971).
- **Concentró el rendimiento de la producción en unas pocas variedades de cultivos:** El sistema agrícola creado por la RV generó una dependencia de pocas variedades y la diversidad agrícola fue erosionada y dominada por el monocultivo de unas pocas especies altamente dependientes de agrotóxicos (GRAIN, 2012).

Por otro lado, el CC amenaza la producción de alimentos, especialmente a los monocultivos genéticamente homogéneos los cuales cubren el 80 % de la tierra cultivable del mundo (Altieri & Nicholls, 2012). Los anterior ha generado que los principales institutos y centros que estudian la agricultura del mundo acepten que para superar la crisis de la revolución verde es necesario hacer cambios significativos en la manera como se produce (Giraldo & Rosset, 2016).

Entre algunas de las consideraciones que debe tener en cuenta la agricultura del siglo XXI para superar la crisis de la agricultura industrial se encuentran: 1. Disminuir la desigualdad social, 2. No depender del uso de combustibles fósiles e insumos agrícolas, 3. Hacer un uso eficiente de los recursos naturales, 4. Ser resilientes al CC, 5. Incrementar y proteger la biodiversidad de plantas y animales, 6. Presentar un bajo impacto ambiental e incrementar la eficiencia en el flujo energético de los agroecosistemas (ETC Group, 2009; Gliessman et al., 2006; Koohafkan et al., 2012).

### 5.2.2. El CC y la VC y sus efectos en la agricultura

Como consecuencia de la actividad humana la temperatura media de la superficie terrestre es 1.1 °C más alta en comparación con el promedio de esta variable en épocas preindustriales (1850-1900) y se han presentado los valores más altos en los últimos 7 años (WMO, 2022). Del

mismo modo, el CC está aumentando la frecuencia e intensidad de varios fenómenos meteorológicos extremos y eventos relacionados con el clima, lo que resulta en graves daños en los sistemas socio-ecológicos y pone en peligro la salud humana el acceso al agua, la calidad del aire y la producción de alimentos (Adger et al., 2005; Battisti & Naylor, 2009; IPCC, 2021; Konapala et al., 2020; Oad et al., 2023; Schewe et al., 2014).

Uno de los principales precursores del calentamiento global es el sector agrícola, entre las operaciones agrícolas que más contribuyen al CC se encuentra la mecanización basada en combustibles, quema de residuos agrícolas y combustibles fósiles, deforestación y la interrupción humana de la dinámica natural del ciclo del agua para fines agrícolas como reservorios (Abbass et al., 1971; Haddeland et al., 2014; Huang et al., 2017).

Con respecto al CC en Colombia según el IDEAM (2023) la temperatura aumentará entre 1 y 4 ° C y se generará una variación significativa en la precipitación (entre el 15-30 %) para el período 2070-2090, algunas de las zonas y sectores más sensibles al cambio climático en Colombia serán: zonas costeras e insulares como la región del pacífico colombiano, ecosistemas de alta montaña y disponibilidad del recurso hídrico entre otros (IDEAM, 2023), en donde se ubican cultivos como el café.

De manera similar, un estudio llevado a cabo por Benavides & Rocha, (2012) que se realizó con la finalidad de identificar indicadores de CC en Colombia a partir de 470 estaciones meteorológicas representativas en todo el país, se evidencio tasa lineal de calentamiento para el periodo 1980-2011 fue de 0.198 °C (Benavides & Rocha, 2012). Además, Garcia et al., (2018) encontraron que hacia el año 2050 se observarán valores máximos de temperatura de 2.5 ° C, mientras que para el año 2030 se presentarán de la mitad de dicho valor.

Asimismo, el café es uno de los cultivos más importantes en la economía del departamento del Valle del Cauca y de acuerdo con la OIC (Organización Internacional del Café) se proyectan grandes retos como consecuencia del CC y VC, pues estos cambios en los factores ambientales (precipitación, humedad y temperatura) afectarán notablemente la fenología, etapas de crecimiento del grano, además, se propiciará el desarrollo de plagas y enfermedades (Camargo, 2010; Panhuysen & Pierrot, 2014; Porter & Semenov, 2005).

En la zona cafetera del centro del Valle del Cauca, se han proyectado en escenarios A2 (más caluroso), aumentos de precipitación mayores a 20 mm de lluvia y un incremento en la temperatura media de 0.97 ° C y para el 2050, se esperan aumentos en la precipitación máxima mayores a 31 mm e incrementos en la temperatura promedio de 1.73 ° C (García. et al., 2018). Igualmente, se espera una afectación en un total de 16,546 hectáreas en términos de aptitud del cultivo en la zona cafetera de los municipios de Trujillo, Dagua, Caicedonia y Jamundí a partir del 2030 y en el 2050 se esperan pérdidas de aptitud en el cultivo de café de hasta el 21.5% del área total sembrada en la actualidad (Ocampo-López et al., 2017).

Por otro lado, la VC como es el caso del fenómeno ENOS afecta la presión del nivel del mar, la temperatura de la superficie del océano, la precipitación anual y los vientos alrededor del mundo y tiene efectos climáticos en todo el planeta, la fase cálida y fría de ENOS se conocen como El Niño y La Niña respectivamente (Bastianin et al., 2016). En Colombia El Niño trae una disminución de las precipitaciones y se relaciona con la sequía, mientras que La Niña aumenta la precipitación y se caracteriza por periodos largos de lluvias (Bejarano-Salcedo et al., 2020;

IDEAM, 2015). Estas perturbaciones climáticas en Colombia generan efectos socioeconómicos particulares especialmente en las regiones Andina, Caribe y Pacífica (Bejarano-Salcedo et al., 2020; IDEAM, 2015).

Varias investigaciones (Ávila et al., 2019; Cerón et al., 2020, 2021b; Poveda Jaramillo & Mesa Sanchez, 1996) han demostrado la influencia del fenómeno ENOS en diferentes regiones de Pacífico sur, en Colombia y en el Valle del Cauca encontrando, por un lado, que La Niña aumenta los riesgos de inundaciones y deslizamientos (Enciso et al., 2016; Poveda, 2004), y por otro lado, que El Niño genera disminuciones en la precipitación, en los caudales medios mensuales de los ríos, en la humedad del suelo y en la actividad vegetal (Poveda et al., 2000, 2001).

Asimismo, Benavides & Rocha (2012) señalaron que, ante fenómenos de El Niño fuertes en el país, se han presentado notables incrementos en la temperatura media anual (de los diez años más calientes durante el periodo 1960- 2011, ocho estuvieron bajo la influencia de EL Niño). Por otro lado, cuando se presentan fenómenos de La Niña, las temperaturas medias disminuyen; los años más fríos en el país, durante el periodo 1995 a 2011, estuvieron bajo la influencia de La Niña (1996, 1999, 2000, 2008, 2010 y 2011).

Entre algunos de los impactos del ENOS en su fase cálida en la región del pacifico colombiano se puede destacar la sequía derivada del Niño 2015-2016, periodo durante el cual se vio perjudicada la exportación de café, papa y arroz. De acuerdo con una estimación de la FNC (2016), El Niño, en 2016 causó afectaciones en 600,000 de las 900,000 hectáreas cultivadas de café valor que correspondía al 63.5% de la producción total de café colombiano, según la agremiación. Al menos 50,000 hectáreas de papa se perdieron, lo que puso en riesgo la inversión de 200 millones de dólares de este cultivo. Otros cultivos también afectados fueron la caña de azúcar, la palma de aceite, el algodón y el cacao que sumarían un total de 2 millones de hectáreas (Martínez et al., 2017; RCN Radio, 2016).

A diferencia del El Niño, La Niña ha efectuado aumentos significativos en los precios de los alimentos perecederos como carnes, frutas y verduras, en la región del pacifico entre el periodo 1950- 2018 (Bejarano-Salcedo et al., 2020). En los años en los que se presentó La Niña, la inflación de este tipo de alimentos fue de 111% en el primer semestre del año a diferencia de los años sin La Niña, donde la inflación de alimentos perecederos se dividió en 56% durante el primer semestre y 44% durante el segundo (Bejarano-Salcedo et al., 2020).

### **5.2.3. Antecedentes de la caficultura colombiana y la situación de Trujillo.**

En la Encuesta Nacional de Caracterización Socioeconómica y Ambiental de los Hogares Cafeteros (ENHC, 2018, citado en FNC, 2021). La situación actual de la caficultura colombiana es desalentadora, el trabajo desafiante de la agricultura, la volatilidad de los precios del café y el atractivo de la vida urbana por parte de los jóvenes cafeteros son algunas las principales precursoras de que el campo se estén evidenciando bajos ingresos, desplazamiento del campo a la ciudad, altos índices de pobreza, poca mano de obra, entre otros (Baum et al., 2019; FNC, 2021b).

Además, el conflicto armado en los años noventa, dejó múltiples cicatrices en el tejido social de Trujillo e incrementó los índices de pobreza; Esta masacre dejó cientos de mujeres viudas, con

cuatro o cinco niños pobres y sin fuentes de empleo (Centro Nacional de Memoria Histórica, 2008; Montero, 2019). De ahí que de acuerdo con un estudio adelantado por CIAT & CVC (2014) sobre la vulnerabilidad al cambio climático del cultivo del café en la zona norte del departamento del Valle del Cauca, Trujillo presentará mayores afectaciones por la pérdida de aptitud del cultivo, debido a sus altos índices de pobreza multidimensional (Figura 1).

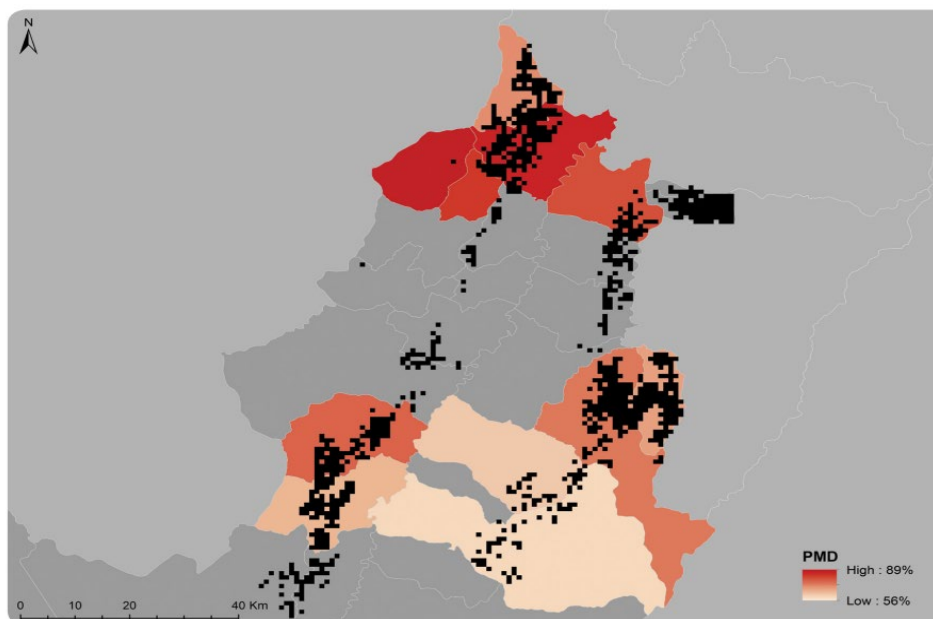


Figura 1. Pérdida de aptitud de los cultivos de café en los municipios del norte del Valle del Cauca en contraste con los índices de PMD. Extraído de CIAT & CVC (2014).

### 5.3. ESTUDIOS RECIENTES

En la Tabla 1 se presentan los principales estudios realizados en los últimos años en países como Colombia, Brasil, Etiopía, Vietnam, entre otros, sobre adaptación al CC sobre el cultivo de café clasificados por año de publicación, título, cita, detalles de la propuesta y ventajas y desventajas que presenta la investigación para este proyecto.

Tabla 1. Estudio de antecedentes recientes. Elaboración propia

| Año  | Título                                                                                                                                      | Cita                   | Propuesta                                                                                                                                                                                                                    | Ventajas                                                                        | Desventajas                        |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 2009 | Hacia una estrategia de adaptación al cambio climático para las comunidades y ecosistemas cafetaleros de la Sierra Madre de Chiapas, México | (Schroth et al., 2009) | Identificar, implementar, evaluar y dar seguimiento a estrategias reducción de vulnerabilidad y de adaptación al cambio climático con potencial para ser aplicadas en las regiones cafetaleras de la Sierra Madre de Chiapas | Se emplean metodologías participativas para la adaptación basada en comunidades | La metodología empleada es extensa |

| Año  | Título                                                                                                       | Cita                       | Propuesta                                                                                                                                     | Ventajas                                                                                                                                                                                                                                                                              | Desventajas                                                                                                                                                                                                                      |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2014 | El impacto del cambio climático en el café Producción en Colombia y Etiopía                                  | (Iscaro, 2014)             | Se compara la situación socioeconómica del café de Colombia y Etiopía por métodos estadísticos.                                               | Se puede conocer el impacto de las plagas de la roya de la hoja y la broca en cada país.                                                                                                                                                                                              | El modelo presenta un análisis estadístico muy general del impacto climático en la producción del café solo teniendo en cuenta variables económicas.                                                                             |
| 2015 | Impactos ambientales y económicos del cultivo certificado café orgánico en Colombia                          | (Ibañez & Blackma, 2015)   | Se analizaron los efectos a nivel de productor de la certificación de café orgánico en el sureste de Colombia.                                | La certificación reduce el uso de las prácticas ambientales negativas y mejora el desempeño ambiental y económico de los agricultores.                                                                                                                                                | Los agricultores relativamente ricos que ya cumplen con los estándares de certificación ecológica comienzan a participar de manera desproporcionada                                                                              |
| 2015 | Hacia una historia de la agroecología en Colombia                                                            | (León-Sicard et al., 2015) | Se habla sobre la historia de la agroecología en Colombia                                                                                     | Principales hechos históricos que dieron origen a la agroecología                                                                                                                                                                                                                     | No habla de estrategias agroecológicas de adaptación al CC                                                                                                                                                                       |
| 2016 | Impacto económico del niño oscilación del sur: evidencia desde el mercado de café colombiano.                | (Bastianin et al., 2016)   | Se muestran los impactos o choques del ENOS en su etapa de El Niño y La Niña en el café.                                                      | Permite dar una explicación a los fenómenos económicos que acompañan la variabilidad climática                                                                                                                                                                                        | Requiere de datos físicoquímicos que en algunos casos no son fáciles de conseguir                                                                                                                                                |
| 2020 | Una revisión de los impactos potenciales del cambio climático en el Cultivo de café y Hongos Micotoxigénicos | (Adhikari et al., 2020)    | Las especies de hongos toxigénicos de <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> , y <i>fusarium</i> se verán afectados por el cambio climático. | Se encontraron resultados de cómo mitigar los efectos del cambio climático como el manejo de la sombra, la selección de cultivares resistentes al clima, el aprovechamiento del germoplasma de café silvestre, el manejo de los nutrientes del suelo y el manejo integrado de plagas. | El aumento de las temperaturas también provocará un aumento general en la producción de micotoxinas, en particular para aquellas más adecuadas para temperaturas más altas, como las aflatoxinas, lo cual es motivo de especial. |
| 2021 | Factores clave para la adaptación al cambio climático de los cafeteros colombianos                           | (Garavito-Calderon, 2021)  | Se propone implementar la agroecología como estrategia de adaptación al CC.                                                                   | Mejora los suelos ya que se disminuye el uso intensivo del mismo y la producción se vuelve sostenible en términos ambientales.                                                                                                                                                        | Se requiere una inversión inicial.<br>Es un proceso a largo plazo.                                                                                                                                                               |

| Año  | Título                                                                                                                                                                                                    | Cita                                | Propuesta                                                                                                                                                                                     | Ventajas                                                                                                                                                                                                       | Desventajas                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2021 | El efecto de la variabilidad climática en el café colombiano Productividad: un enfoque de modelo de panel dinámico.                                                                                       | (Ceballos-Sierra & Dall'Erba, 2021) | Desarrollo de un modelo econométrico que demuestra cómo la VC disminuye la productividad de café en Colombia.                                                                                 | Se tiene en cuenta la naturaleza dinámica del café, es decir, que tiene varios periodos vegetativos que pueden ser afectados por los cambios de clima y error de estos modelos no es muy alto entre 0,01 a 0,1 | Dependiendo de la calidad de los datos el error máximo es el 10%.                                                                                                                                                                                                                   |
| 2021 | Cambio Climático y Calidad del Café: Revisión Sistemática de los Efectos de la Variación Ambiental y de Manejo en los Metabolitos Secundarios y Atributos Sensoriales del Café arábica y Coffea canephora | (Ahmed et al., 2021)                | Se hace una revisión sistemática para sintetizar la evidencia sobre los efectos de los factores ambientales asociados con el cambio climático en el café <i>canephora</i> .                   | Se puede mejorar la calidad del cultivo de un cultivo perenne culturalmente relevante, el café ( <i>Café arábica</i> y <i>Coffea canephora</i> ).                                                              | La floración del café y en general todas sus fases metabólicas se ven afectadas por el aumento de temperatura, esto repercute en pérdidas económicas. Es posible que si no se toman acciones en unos años el café desaparezca de gran parte del territorio por su baja rentabilidad |
| 2022 | El impacto del cambio climático en la producción de café de los pequeños agricultores y sus estrategias de adaptación: una revisión                                                                       | (Jawo et al., 2022)                 | Se proponen estrategias agroecológicas para mitigar el impacto del cambio climático en las áreas aptas para el café, el crecimiento, el rendimiento y la incidencia de plagas y enfermedades. | Se establecen alternativas para adaptación al cambio climático                                                                                                                                                 | Los efectos son más notorios en los pequeños agricultores que tienen poca o ninguna información sobre los fenómenos meteorológicos con recursos y tecnologías.                                                                                                                      |

## 5.4. MARCO TEÓRICO

Según León-Sicard et al. (2015) en Colombia la introducción de la agroecología surge en los años setenta y ochenta del siglo XX, múltiples podrían ser las razones que impulsaron el origen y posterior desarrollo de la agroecología en el país. Entre algunas de las razones que dieron origen a la agroecología en Colombia se destacan: el ascenso de nuevas corrientes ambientalistas, la respuesta a la crisis ambiental causada por la agricultura convencional, la apertura de nuevos mercados ecológicos u orgánicos y algunos apoyos políticos apalancados por visiones éticas de productores y consumidores, entre otros (Gómez-Cardona, 2012; Rivera & Sicard, 2013).

### 5.4.1. *¿Qué es la agroecología y como soluciona a la crisis de la agricultura industrial y el CC?*

La agroecología considerada una transdisciplina, un conjunto de prácticas y saberes tradicionales, una ciencia y un movimiento social y político (Escalera Reyes & Ruiz Ballesteros, 2011; Ruiz-Rosado, 2006). Esta se enfoca en el diseño y manejo agroecosistemas sustentables de alta biodiversidad (Altieri et al., 1999; Sarandón & Flores, 2014; Wezel et al., 2020) y brinda orientación al campesinado de como establecer soberanía en sus territorios mediante metodologías de acción participativa (Altieri & Nicholls, 2012; Altieri & Toledo, 2011; Giraldo, 2022; Giraldo & Rosset, 2021; Sevilla-Guzmán et al., 2000).

Actualmente la agroecología está tomando protagonismo en el panorama mundial pasando de ser ignorada, menospreciada, y excluida por las grandes instituciones que gobiernan la agricultura como una de las alternativas posibles para enfrentar las graves crisis climáticas y sociales generadas por el modelo de la RV por su componente de sustentabilidad (Giraldo & Rosset, 2016). A continuación, se presentan algunas características que posee la agroecología para enfrentar al CC y las consecuencias de la RV como la crisis de la agricultura industrial:

- **Modelos agrícolas independientes del petróleo y de bajo impacto ambiental:** Basados en el uso de los recursos del agroecosistema reemplazando los insumos externos como agrotóxicos, pesticidas entre otros, por reciclaje de nutrientes, una mejor conservación y un uso eficiente de insumos (Perez-Cassarino & Bezerra, 2016; Koohafkan et al., 2012).
- **Agroecosistemas de alta biodiversidad:** Dado que esta aporta dos elementos fundamentales: recursos genéticos y procesos ecológicos, que permiten un control biológico de plagas (Nicholls et al., 2015; Sarandón, 2020; Pretty, 2007).
- **Agroecosistemas con resiliencia socio-ecológica el CC:** Que emplean técnicas ecológicas que disminuyen la temperatura de los agroecosistemas como la agroforestería (DaMatta & Cochicho Ramalho, 2006; Farfan, 2014; Jaramillo & Gomez, 1989), e integran la soberanía alimentaria, tecnológica y energética (Altieri & Toledo, 2011; Perez-Cassarino & Bezerra, 2016).
- **Agroecosistemas multifuncionales:** Los cuales brindan servicios económicos, sociales y ambientales (Altieri, 2000).

- **Sistemas alimentarios locales:** Que priorizan diferentes formas de soberanía del territorio (alimentaria, energética, tecnológica y de insumos) antes que la venta de alimentos en mercados mundiales (Giraldo, 2022).

#### 5.4.2. Principios técnicos y sociales de la agroecología.

En la agroecología existen principios desde el punto de vista técnico-productivo (Wezel et al., 2020) y desde el punto de vista social (Giraldo & Rosset, 2021). De acuerdo con lo anterior, en la Tabla 2, se explican los principios técnico-productivos y sociales de la agroecología:

Tabla 2. Principios técnicos de la agroecología. Adaptado de Wezel et al., 2020.

| Principio                                        | Descripción                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Reciclaje                                        | Preferencialmente usar los recursos locales renovables y cerrar en la medida de lo posible los ciclos de recursos, de nutrientes y biomasa.                                           |
| Reducción de insumos                             | Reducir o eliminar la dependencia de productos comprados e incrementar la autosuficiencia                                                                                             |
| Salud del suelo                                  | Asegurar y mejorar la salud y el funcionamiento del suelo                                                                                                                             |
| Salud animal                                     | Garantizar la salud y el bienestar de los animales                                                                                                                                    |
| Biodiversidad                                    | Mantener y mejorar la diversidad de especies, la diversidad funcional y los recursos genéticos y por lo tanto mantener la biodiversidad global del agroecosistema.                    |
| Sinergias                                        | Mejorar la interacción ecológica positiva, la sinergia, la integración y la complementariedad entre los elementos de los agroecosistemas (animales, cultivos, árboles, suelo y agua). |
| Diversificación económica                        | Diversificar los ingresos en las explotaciones para que los pequeños agricultores tengan mayor independencia financiera                                                               |
| Co-creación de conocimiento                      | Mejorar la creación conjunta y el intercambio horizontal de conocimientos                                                                                                             |
| Valores sociales y dietas                        | Construir sistemas alimentarios basados en la cultura, identidad, tradición, equidad social y de género de las comunidades locales                                                    |
| Justicia                                         | Apoyar medios de vida dignos para todos los actores involucrados en los sistemas alimentarios                                                                                         |
| Conectividad                                     | Asegurar la proximidad y la confianza entre productores y consumidores a través de promoción de redes de distribución justas y cortas.                                                |
| Gobernanza de la tierra y los recursos naturales | Fortalecer los arreglos institucionales para mejorar, incluido el reconocimiento y el apoyo de los agricultores familiares, los pequeños agricultores y los productores campesinos.   |
| Participación                                    | Fomentar la organización social y una mayor participación en la toma de decisiones de productores y consumidores de alimentos                                                         |

Además, de acuerdo con FAO (2018), para que un sistema se considere agroecológico debe tener los 10 elementos de la agroecología, que son: diversidad, co-creación de conocimiento, sinergias, eficiencia, reciclaje, resiliencia, valores humanos y sociales, cultura y tradiciones alimentarias, gobernanza responsable y economía circular y solidaria. Asimismo, desde el punto de vista social la agroecología busca (Giraldo & Rosset, 2021):

- **Cuestionar y transformar estructuras:** La agroecología desafía las estructuras de poder, se enfoca en la lucha por la tierra y la defensa del territorio.
- **Priorizar el uso de los bienes para la comunidad:** La agroecología valora el uso de la producción para consumo propio, promueve el trueque, los mercados locales y las economías solidarias.
- **Fortalecer la organicidad y pensar en procesos colectivos:** La agroecología busca diseños integrados y activa procesos colectivos de resolución de problemas.
- **Construir procesos horizontales:** La agroecología identifica las potencias y las riquezas en el territorio, centrándose en el diálogo de saberes y de vivires.
- **Formar para luchar y transformar:** La agroecología valora el rescate, generación, y socialización de conocimientos autóctonos donde los protagonistas son los campesinos.
- **Actuar desde la espiritualidad:** La agroecología es autónoma, profunda, ontológica y espiritual.

#### 5.4.3. Estrategias técnicas y sociales de la agroecología para la conversión de sistemas agrícolas convencionales en socio-agroecosistemas sostenibles

Existen prácticas que brinda la agroecología para restaurar la biodiversidad agrícola en el tiempo y el espacio que incluyen rotaciones de cultivos, cultivos de cobertura, policultivos, mezclas de cultivo y ganadería y otras estrategias similares. En consecuencia, en la Tabla 3, se añadieron las principales estrategias agroecológicas tras una revisión de fuentes bibliográficas.

Tabla 3. Estrategias agroecológicas para la conversión de sistemas convencionales en agroecosistemas sostenibles. Elaboración propia

| Estrategia                              | Cita                      | Descripción                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Policultivos                            | (Vandermeer et al., 1998) | Sistemas de cultivo de alta complejidad en que dos o más especies son plantadas                                                                                                                                    |
| Sistemas agroforestales                 | (Farfán, 2014)            | Asociación de cultivos de café con árboles maderables                                                                                                                                                              |
| Cultivos de cobertura                   | (Altieri, 2002)           | Uso de plantas leguminosas o especies anuales especies para proteger el suelo                                                                                                                                      |
| Integración animal en el agroecosistema | (Altieri, 2002)           | Agregar especies pecuarias al agroecosistema, lo que permite incrementar la producción de biomasa, hacer un reciclaje óptimo y diversificar las fuentes de ingreso                                                 |
| Uso de abonos orgánicos                 |                           | Los abonos orgánicos disminuyen los costos de producción, contribuyen en la conservación de los suelos, incrementan la actividad biológica, permiten un mayor aporte de nutrientes en forma de biomasa, mejoran la |

|                                                             |                       |                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                             | (Turbay et al., 2014) | estructura del suelo, entre otros.                                                                                                                                                                                             |
| Fertilización adecuada y prácticas culturales               |                       | En general, al realizar una fertilización y prácticas culturales adecuadas, las plantas mejoran las condiciones para soportar una variabilidad climática extrema y el proceso de recuperación ante el estrés climático mejora. |
| Producción escalonada                                       |                       | Se siembra el área destinada para un cultivo lotes en edades fenológicas diferentes, es decir, que cada año se siembra un porcentaje del área total, permitiendo que se pueda cosechar más veces por año                       |
| Agremiación                                                 |                       | La agremiación permite a los agricultores acceder a mercados diferenciados y obtener precios más justos por sus productos                                                                                                      |
| Comercialización diferenciada                               |                       | Busca mejorar el precio de venta del café, a través de la certificación de buenas prácticas, el ingreso a mercados justos y la venta de cafés especiales.                                                                      |
| Participación comunitaria e Integración de la mano familiar |                       | Al incluir a la comunidad y la familia se reducen costos en la producción y una mayor apropiación por el manejo del cultivo.                                                                                                   |

#### 5.4.4. Los beneficios del sistema alimentario agroecológico frente al sistema alimentario industrial ante factores socioambientales:

En la Tabla 4, se presentan los beneficios que ofrecen los sistemas agroecológicos de producción de alimentos frente al sistema agroalimentario industrial.

*Tabla 4. Beneficios del sistema alimentario agroecológico campesino frente al industrial. Nota. Adaptado de Altieri y Nicholls, 2015.*

| Sistema alimentario industrial                                                                                                                     | Sistema alimentario agroecológico campesino                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Agroexportador de cultivos y productor de biocombustibles; miles de toneladas de alimentos distantes; causante de las principales emisiones de GEI | Producción de alimentos a escala local, regional y/o enfocado a los circuitos de consumo cercanos                                                                    |
| Enfoque en menos de 20 especies de animales y de cultivos                                                                                          | Más de 40 especies de ganado y miles de plantas comestibles                                                                                                          |
| Monocultivos a gran escala                                                                                                                         | Sistemas diversificados a pequeña escala                                                                                                                             |
| Variedades de alto rendimiento, híbridos y transgénicos                                                                                            | 1'900,000 variedades locales y variedades de cultivos locales                                                                                                        |
| Elevada dependencia del petróleo y los insumos agroquímicos                                                                                        | Recursos locales; servicios de los ecosistemas proporcionados por la biodiversidad y la energía solar                                                                |
| Abonos químicos para la nutrición de los cultivos (alimentar a las plantas)                                                                        | La materia orgánica vegetal y de origen animal (alimentar al suelo)                                                                                                  |
| Propuestas de arriba hacia abajo; planes de extensión tecnística; empresas de investigación científica controlada                                  | <i>Campesino a Campesino</i> (agricultor a agricultor); innovaciones locales; el intercambio horizontal y de orientación social a través de los movimientos sociales |

|                                                                                                   |                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Conocimiento reducido de las partes                                                               | Conocimiento holístico de la naturaleza; cosmovisión                                                                                                                      |
| Insertada en paisajes simplificados; no compatible con la conservación de las especies silvestres | Insertado en una matriz compleja de la naturaleza, servicios ecológicos que apoyan los sistemas de producción (es decir, polinización, control biológico de plagas, etc.) |

## 6. METODOLOGÍA

En este capítulo se explicarán las actividades empleadas durante el desarrollo de esta investigación, desde la localización de la zona de estudio hasta la propuesta de estrategias de para adaptar al café ante los escenarios previstos de CC.

### 6.1. DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio de esta investigación se ubica Trujillo, Valle del Cauca, Colombia municipio localizado sobre la vertiente oriental de la Cordillera Occidental de los andes, sus coordenadas geográficas son  $4^{\circ} 13' 1''$  Norte y  $76^{\circ} 19' 1''$  Oeste. Además, la extensión del municipio es de  $221 \text{ km}^2$  y su cabecera se encuentra a 1,260 msnm, a su vez, este presenta una población total de 18,142 habitantes y según un censo oficial del 2005, el 59% se dedican a actividades agrícolas como la caficultura (DANE, 2005; Gutiérrez & Rosero, 2019). En la Figura 2, se presenta la localización geográfica de la zona de estudio.

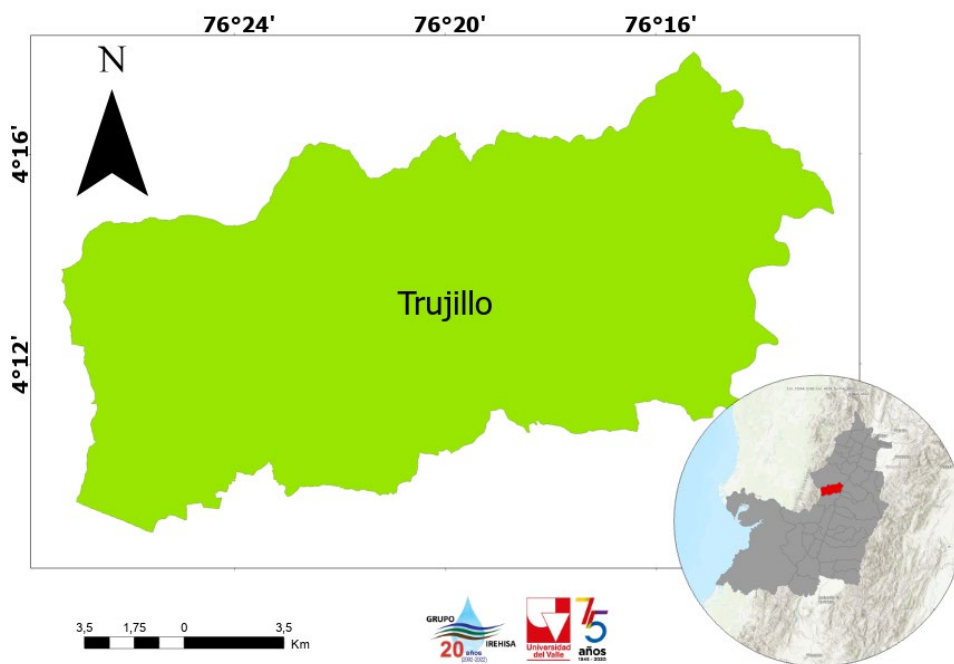


Figura 2. Localización de la zona de estudio Trujillo, Valle del Cauca. Fuente: Elaboración propia.

### 6.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE FINCAS

Para seleccionar las fincas que hicieron parte de esta investigación, se definieron los siguientes criterios, donde, los tres primeros fueron de importancia alta y los dos últimos de importancia media por las limitaciones de recursos económicos en la investigación:

1. Disposición a permitir ingreso a la finca y tomar muestras de suelo.

2. Disposición a atender encuestas y talleres con una duración máxima de 2 horas.
3. Fincas relativamente accesibles físicamente.
4. Caficultores proactivos y participativos.
5. Posibilidad de pernoctación de estudiante y/o investigador.

Teniendo en cuenta lo anterior, se seleccionaron 4 fincas, las cuales se presentan en la Tabla 5, donde se encuentran organizadas por nombre de la finca, tamaño o área, ubicación geográfica y dueño del predio, coordenadas geográficas y altitud. Además, en la Figura 3 se presenta la distribución de las fincas en el mapa del municipio de Trujillo.

Tabla 5. Fincas seleccionadas en la investigación. Fuente: Elaboración propia.

| Nombre de la finca | Área (ha) | Nombre del propietario de la finca | Coordenadas |             | Altitud (msnm) |
|--------------------|-----------|------------------------------------|-------------|-------------|----------------|
|                    |           |                                    | Latitud     | Longitud    |                |
| La Luisa           | 45        | Martha Giraldo                     | 4°14.699'N  | 76°17.703'W | 1,503          |
| La Espartana       | 10        | Miguel Villegas                    | 4° 11.915'N | 76°23.515'W | 1,549          |
| La Margaritas      | 32        | Juan Carlos Ramírez                | 4°14.097'N  | 76°19.152'W | 1,683          |
| Buenos Aires       | 14        | Héctor Fabio Flórez                | 4°13.828'N  | 76°18.663'W | 1,414          |

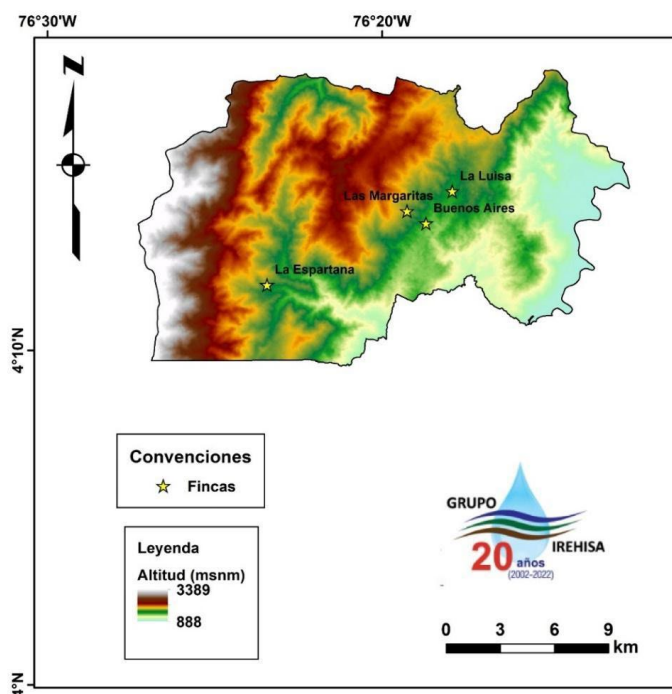


Figura 3. Ubicación geográfica de las fincas de la investigación. Fuente: Elaboración propia.

### 6.3. DIAGRAMA DE ÁRBOL METODOLÓGICO

En la Figura 4, se presentan el resumen de las actividades desarrolladas para el cumplimiento de cada objetivo planteado en esta investigación.

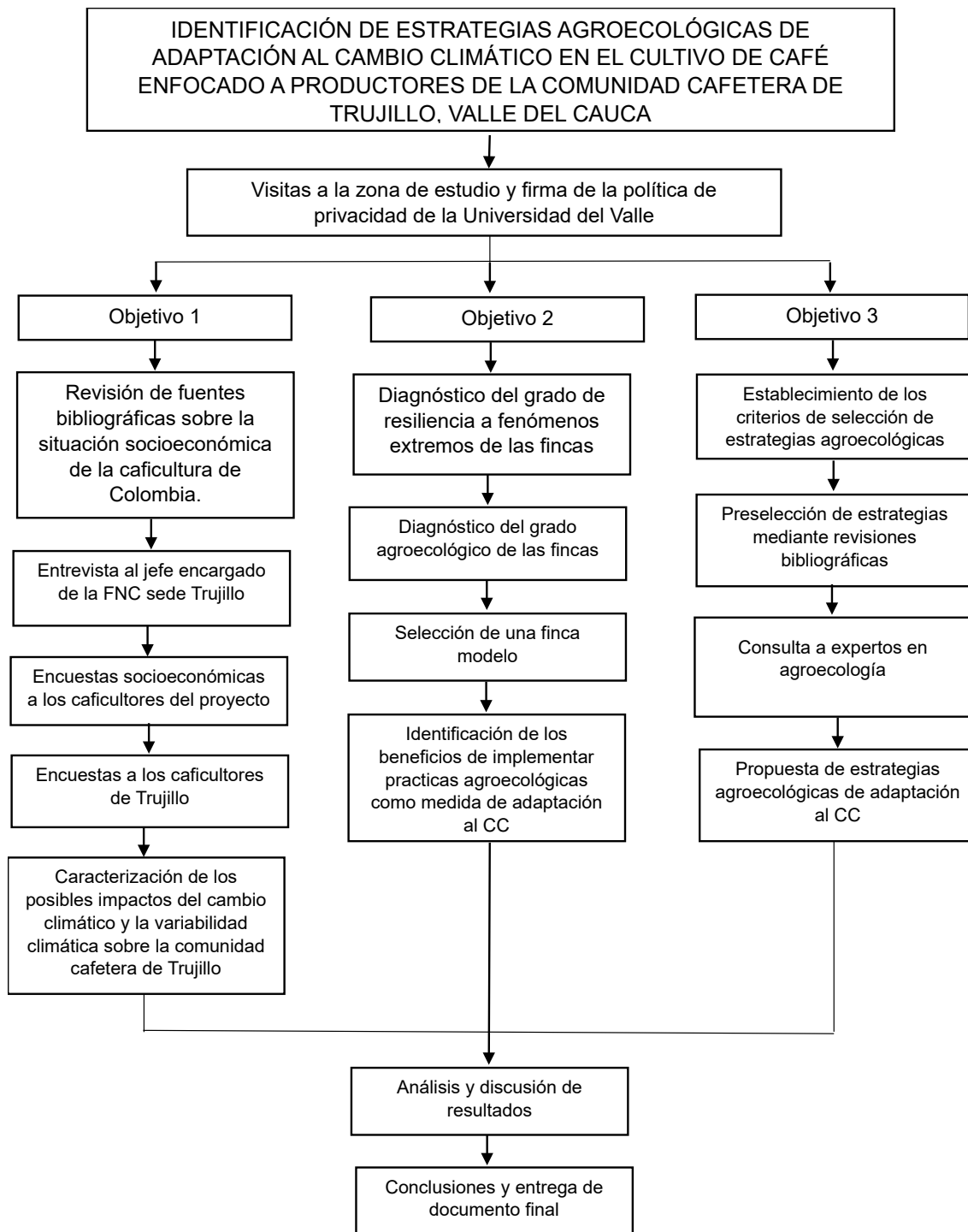


Figura 4. Resumen de la metodología. Fuente: Elaboración propia.

## 6.4. ACTIVIDADES GENERALES PARA EL INICIO DE ESTA INVESTIGACIÓN

### 6.4.1. Visitas a la zona de estudio

En total se realizaron un total de 4 visitas a la zona de estudio para hacer registros fotográficos, entrevistas y encuestas, datos y observaciones necesarias en los objetivos propuestos en este proyecto. En la Tabla 6, se muestran las fechas de visita el objetivo de cada salida, las actividades realizadas y los resultados obtenidos.

Tabla 6. Salidas al municipio de Trujillo con las actividades realizadas, descripción y resultados obtenidos a partir de esta. Fuente: Elaboración propia.

| Salida | Fecha                         | Actividades                                                                                                                                    | Objetivos específicos abordados | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Informe |
|--------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1      | 24, 25 y 26 de Julio del 2022 | Reconocimiento las fincas que hicieron parte del proyecto de investigación                                                                     | 1                               | Se hizo un reconocimiento de los predios, sus procesos productivos y características generales tales como: distancia al casco urbano, condiciones climáticas y principales cultivos observados.                                                                                                   | IE 1*   |
| 2      | 28 y 29 de octubre del 2022   | Entrevistas, encuestas y registros fotográficos en 3 (La Luisa, La Espartana, Las Margaritas) de las 4 fincas visionadas en esta investigación | 1 y 2                           | Evidencias fotográficas, entrevistas y encuestas para los diagnósticos del grado de resiliencia y grado agroecológico de las 4 fincas. Además, se hicieron encuestas a los agricultores y a la FNC para hacer la caracterización socioeconómica de los sistemas de producción de café de Trujillo | IE 2*   |
| 3      | 21 de noviembre del 2022      | Tomar evidencias de la finca Buenos Aires que no se pudieron registrar en la salida 2 por las condiciones climáticas del municipio             | 1                               | Dado que la salida anterior no se pudo tomar evidencias de una de las cuatro fincas visionadas en este proyecto, en esta salida se realizó la visita a la finca Buenos Aires y se tomó registro fotográfico de la misma.                                                                          | IE 3*   |
| 4      | 12 de abril del 2023          | Encuesta a los caficultores para diagnosticar los efectos del cambio climático, registros fotográficos y grabaciones en la finca Buenos Aires. | 1                               | Se realizó una encuesta a los caficultores para diagnosticar del CC en el cultivo de café y se tomó registro fotográfico y grabaciones de un sistema de reciclaje de nutrientes en la finca Buenos Aires.                                                                                         | IE 4*   |

\*NOTA, IE= informe ejecutivo entregado a los directivos del proyecto y Objetivos específicos abordados= son los objetivos específicos de esta investigación que se abordaron en cada salida.

#### **6.4.2. Firma de la política de privacidad de la Universidad del Valle**

Es importante aclarar que antes de hacer cualquier encuesta, entrevista o fotografía, cada caficultor encuestado firmó la política de tratamiento de datos de la Universidad del Valle, en la cual se le garantiza a las personas que participaron en dichas actividades que la información suministrada por estas para contribuir con esta investigación fue utilizada sólo para fines académicos y que tienen derecho a conocer, actualizar, rectificar, suprimir la información y revocar la autorización otorgada (ver Anexo 1).

### **6.5. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1**

**Actividad 1.** Revisión de fuentes bibliográficas sobre la situación socioeconómica de la caficultura colombiana.

Se realizó la revisión de diferentes referencias bibliográficas, documentos e informes. Para ello, fue necesario crear una estrategia de búsqueda y selección de bibliografía de alto impacto que permitiera tener datos confiables, relevantes y recientes, para lo cual se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de elección:

- Buscadores académicos especializados como ScienceDirect, Scopus, Scielo, SpringerLink y Google Scholar, y Sitios web de diferentes organizaciones académicas (Universidades e institutos) como la biblioteca digital de la Universidad del Valle y centros de investigación reconocidos en la región en el área del café y la climatología.
- Se consultó información reciente que no tuviera más de 5 años de haber sido publicada para garantizar que el contenido de esta investigación tuviera información actualizada sobre cada temática tratada y con ideas y aportes novedosos.
- Se empleó una estrategia de búsqueda en la que se filtró información por título y contenido a partir de términos y frases clave como: Adaptación, Agroecología, Café, Cambio climático, Caracterización socioeconómica, Colombia, Diagnóstico, Estrategias Agroecológicas, Faro Agroecológico, Identificación, Resiliencia, Revisión sistemática, Sistemas productivos de Café, Trujillo, Valle del Cauca, Variabilidad climática.

**Actividad 2.** Entrevista al jefe encargado de la Federación Nacional de Cafeteros sede Trujillo.

Se hizo una visita a la sede central de la Federación Nacional de Cafetero del municipio de Trujillo y se solicitó una breve entrevista con el jefe encargado de la sede para conocer información general sobre de las condiciones socioeconómicas de los caficultores de la zona.

**Actividad 3.** Encuesta socioeconómica a los caficultores del proyecto

Se realizó una encuesta para conocer los principales indicadores económicos, como: los ingresos de los caficultores, tamaño del predio, principal actividad económica del agricultor, cantidad de la producción, tipo de café que se cultiva, cuantos miembros de su familia dependen de la caficultura, si cuentan con alguna marca de café, entre otros (ver Anexo 2).

**Actividad 4.** Encuesta a los caficultores para conocer los principales impactos del CC y la VC sobre el café.

Se le consultó a los caficultores de Trujillo mediante una encuesta que respondió a los siguientes interrogantes (ver Anexo 3):

- ¿Qué concepción tenían los productores de café del municipio sobre CC?
- ¿Cómo el cambio climático ha afectado a su región?
- ¿De qué manera el cambio climático ha impactado su región en los últimos 30 años?
- ¿Qué variables considera climáticas consideran que afectan al café y cómo lo hacen?
- ¿Cuáles efectos estos esperan a futuro que el cambio climático produzca sobre el cultivo de café?

## 6.6. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2

**Actividad 1.** Diagnóstico del grado de resiliencia ante eventos climáticos extremos.

Se realizó un diagnóstico del grado de resiliencia ante eventos climáticos extremos, para lo cual, se replicó la metodología propuesta por Altieri & Nicholls (2013), que elaboraron un marco conceptual y metodológico donde se describen los principios y mecanismos necesarios para explicar la resiliencia socio-ecológica de un agroecosistema a partir de indicadores a nivel paisajístico y a nivel del sistema de producción. Dichos indicadores pueden observarse en la Tabla 7, en la que se plasmaron los criterios que se tuvieron en cuenta para determinar la vulnerabilidad a factores climáticos extremos categorizados en alto, medio y bajo y los puntajes correspondientes a estas clases en una escala de 1 a 5.

*Tabla 7. Criterios que se tuvieron en cuenta para medir el riesgo de cada indicador de resiliencia y su calificación de 1 a 5. Nota. Adaptado de Altieri y Nicholls. (2013).*

| Indicador                      | Riesgo Alto (1-2) *                                                     | Riesgo medio (3-4) *                                                                        | Riesgo bajo (5) *                                              |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Pendiente</b>               | Inclinación >45%                                                        | Inclinación entre 20-45%                                                                    | inclinación <20%                                               |
| <b>Exposición</b>              | Baja o pobre vegetación                                                 | vegetación media                                                                            | vegetación alta                                                |
| <b>Diversidad paisajística</b> | Predominio de un mismo tipo de zona en todo el sistema (plana o ladera) | Predominio de un tipo de zona sobre las demás 60% plana y 40% ladera o viceversa.           | Alta diversidad de zonas planas y de ladera                    |
| <b>Proximidad bosques</b>      | a<br>Bosque muy lejano a la finca                                       | Bosque cercano a la finca                                                                   | Existen bosques o cerros protectores colindan con la finca.    |
| <b>Cortinas Rompevientos</b>   | Hay muy pocas o no hay cercas vivas o cortinas rompevientos             | Hay cercas vivas o cortinas rompevientos, pero no suponen una buena protección ante vientos | Había cercas vivas estratégicamente ubicadas en toda la finca. |

|                                         |                                                                                       |                                                                         |                                                                                                               |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Prácticas de Conservación Suelos</b> | No se evidencio ninguna práctica de conservación de suelos para evitar su degradación | Había al menos una práctica de conservación de suelos                   | Prácticas como barreras vivas o muertas, terrazas, etc.                                                       |
| <b>Diversidad de plantas</b>            | Principalmente en el sistema era monocultivo                                          | Había asociación de entre 2 a 3 cultivos                                | Se observó una alta diversidad de plantas no solo para producción sino también para el autoconsumo del predio |
| <b>Cobertura de suelos</b>              | El suelo estaba descubierto en más del 60% de la finca                                | Existían plantas rastreras que evitaban la exposición directa del suelo | Alta cobertura de suelos, cultivos asociados y plantas rastreras.                                             |
| <b>Profundidad de raíces</b>            | Se presentaban más de 10 plantas de café volcadas por hectárea                        | Se presentaban entre 1-10 plantas volcadas por hectárea                 | No se evidencio volcamiento de plantas de café                                                                |
| <b>Infiltración</b>                     | Suelo con muchas zonas encharcadas                                                    | Encharcamiento en pequeñas franjas o zonas; no en todo el terreno       | No se evidencio encharcamiento en el suelo                                                                    |

## Actividad 2. Diagnóstico del grado agroecológico de las fincas.

Para esta actividad se hizo una entrevista a los agricultores sobre el grado agroecológico de las fincas de esta investigación con el propósito de determinar cuántos de los 10 elementos propuestos por FAO (2019) y respaldados por Wezel et al., 2020 cumplió cada finca, que son: diversidad, co-creación de conocimiento, sinergias, eficiencia, reciclaje, resiliencia, valores humanos y sociales, cultura y tradiciones alimentarias, gobernanza responsable y economía circular y solidaria. Para ello se realizó un recorrido por cada finca con el acompañamiento del dueño o mayordomo del terreno, que iba exponiendo los diferentes procesos llevados a cabo en su sistema productivo.

En la Tabla 8 se muestran los criterios que se tuvieron en cuenta para la determinación de los rangos los cuales se clasificaron en muy alto, alto, medio y bajo o nulo grado agroecológico.

*Tabla 8. Descripción de los criterios de evaluación para diagnosticar el grado agroecológico de los sistemas productores de café en Trujillo. Elaboración propia.*

| Grado Agroecológico | Cantidad de elementos técnico-productivos que posee (sobre 10*) | Descripción de la calificación                                                                                                                                       |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Muy Alto</b>     | Mayor o igual a 9                                               | El agroecosistema cumplió con todos o casi todos los elementos técnico-productivos, es decir, que presenta un porcentaje del 90% o mayor de los mismos y goza de los |

|                    |             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    |             | beneficios ecológicos y productivos de la agroecología tales como biodiversidad funcional, adaptación al CC, soberanía alimentaria y energética, diversificación de ingresos, sinergias, bajo o nulo uso de agrotóxicos, ciclado de nutrientes, eficiencia en la producción entre otros.                                                                                                                                                 |
| <b>Alto</b>        | 8           | El sistema presenta un alto grado agroecológico, que puede ser mejorado con el uso de algunas técnicas ecológicas y productivas, probablemente orientadas en mejorar la soberanía energética del sistema.                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Medio</b>       | Entre 5 y 8 | El sistema presenta un grado agroecológico medio. Se adapta al CC, presenta seguridad alimentaria pero no alcanza la soberanía. Asimismo, posee diversidad de cultivos, ciclado de nutrientes, pero aún tiene una dependencia media de fertilizantes y agrotóxicos y una baja diversificación de ingresos.                                                                                                                               |
| <b>Bajo o nulo</b> | menor a 5   | El sistema tiene un bajo grado agroecológico, dado que la cantidad de elementos que posee es inferior a 5, esto podría significar baja adaptación al cambio climático y que aún presenta alta dependencia de agrotóxicos y fertilización química, baja biodiversidad, poca eficiencia en la producción, degradación de suelos y nula diversificación de ingresos. En el caso de que la calificación sea 0 el sistema no es agroecológico |

*\*Nota: la calificación máxima es 10 que corresponde a los elementos técnicos de los sistemas agroecológicos tomados de FAO (2019).*

### **Actividad 3.** Selección de una finca modelo.

Finalmente, a partir de las actividades 1 y 2, se seleccionó una finca modelo que cumpliera los siguientes criterios:

- Obtener un alto puntaje en el diagnóstico del grado agroecológico
- Mostrar una alta calificación de resiliencia socioecológica ante el CC y la VC
- Presentar procesos agroecológicos como reciclaje de nutrientes, producción de energías limpias, policultivos, diversificación económica de ingresos de la finca, entre otros.

## **6.7. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL OBJETIVO ESPECÍFICO 3**

**Actividad 1.** Establecimiento de criterios de selección de las estrategias agroecológicas de adaptación al CC y VC

Las estrategias agroecológicas propuestas como parte de esta investigación obedecieron a los criterios que según Koochafkan et al. (2012), se deben tener en cuenta cuando se plantean técnicas desde el punto de vista agroecológico, las cuales son:

- Promover el uso de variedades de semillas nativas, criollas y acriolladas
- Evitar el uso de agrotóxicos y otras tecnologías que impactan de manera negativa al medio ambiente y la salud humana

- Hacer un uso eficiente de los recursos (nutrientes, agua, energía, etc.),
- Reducir el uso de energías no renovables y la dependencia de los insumos externos por los agricultores
- Fomentar capital social a través del reconocimiento de la identidad cultural, emplear metodologías participativas y redes de agricultores
- Disminuir la huella ecológica de las prácticas convencionales de producción
- Promover las prácticas que mejoran la disponibilidad de agua limpia, el secuestro de carbono y la conservación de la biodiversidad, suelo y agua, etc.
- Aumentar la capacidad adaptativa basada en fortalecer la habilidad de los sistemas socio-ecológicos de responder adecuadamente a los cambios
- Fortalecer la capacidad de adaptación y resiliencia de los sistemas de producción
- Reconocimiento y conservación dinámica de los sistemas de patrimonio agrícola que permiten una cohesión social.

### **Actividad 2.** Preselección de estrategias agroecológicas.

Para la preselección de estrategias agroecológicas se realizó la revisión de diferentes referencias bibliográficas, documentos e informes. Para ello, fue necesario crear una estrategia de búsqueda y selección de bibliografía de alto impacto que permitiera tener datos confiables, relevantes y recientes, para lo cual se tuvieron en cuenta los mismos criterios de la actividad 1 del objetivo 1.

### **Actividad 3.** Consulta a expertos en agroecología.

Para la selección de estrategias que cumplieran los criterios agroecológicos, los principios técnicos y sociales de la agroecología, se consultó a expertos en agroecología mediante una encuesta con el propósito de conocer su opinión sobre algunas de las estrategias agroecológicas propuestas encontradas en esta investigación (ver Anexo 4)

El criterio que se tuvo en cuenta para la selección de cada experto fue que éste hubiera alcanzado un nivel de estudios académicos de posgrado en agroecología y/o poseer un faro agroecológico y para la búsqueda de dichos expertos, se consultaron diferentes universidades con carreras de pregrado, posgrados o grupos de investigación enfocados o relacionadas al campo de la agroecología, encontrando una lista de 30 expertos, que fueron categorizados por nombre, profesión y estudios relacionados con agroecología (ver Anexo 5).

La encuesta se envió vía correo electrónico y se dividió en dos partes o secciones. En la primera, se solicitaron datos básicos como nombre completo, correo electrónico, estudios relacionados con la agroecología o temas afines y máximo grado de estudios alcanzados en la materia. En la segunda, se dio una breve introducción para que cada experto pudiera conocer algunas consideraciones de clima y medio ambiente de Trujillo, el objetivo de la investigación, las proyecciones climáticas y el riesgo que estas presentan para el cultivo de café del municipio a partir año 2030 hasta el 2050, al igual que consideraciones socioeconómicas que resaltan la importancia de este trabajo de grado para dar alternativas a la comunidad para disminuir los impactos del CC y la VC.

Finalmente, a cada experto se le solicitó que organizara por grado de prioridad algunas estrategias que se identificaron tras una revisión de fuentes bibliográficas y se le consultó si las consideraba suficientes para lograr la adaptación del café CC y, si era posible que recomendara otras, las cuales fueron integradas en la propuesta final.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se hizo el análisis y la discusión de los resultados obtenidos tras emplear la metodología propuesta en esta investigación.

### 7.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL OBJETIVO 1

Inicialmente, se investigó sobre la situación socioeconómica de la caficultura en Colombia, encontrando que según FNC (2021) En el año 2018 se realizó la Encuesta Nacional de Caracterización Socioeconómica y Ambiental de los Hogares Cafeteros (ENHC-2018, citado en FNC, 2021) en la que se tuvieron en cuenta un total de 2477 productores, considerados representativos de 545.279 hogares cafeteros. Dicha encuesta se diseñó para que sus resultados fueran representativos para las cinco regiones productoras de café de Colombia entre las cuales se incluyen los departamentos del Huila, Antioquia, Valle del Cauca, entre otros. En consecuencia, en la Tabla 9, se organizaron los principales hallazgos de la encuesta.

*Tabla 9. Resultados de la encuesta nacional de caracterización socioeconómica y ambiental de los hogares cafeteros. Adaptado de FNC (2021).*

| Hallazgo                                       | Descripción                                                                                                       |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Distribución de los tamaños en cultivos</b> | Micro 51.4%, pequeños 45.1%, medianos 2.6% y grandes 2.9%                                                         |
| <b>edad de los productores cafeteros</b>       | La edad promedio de los productores cafeteros fue de 52 años en el año 2018                                       |
| <b>Tasa de alfabetismo</b>                     | Se encontró una tasa de analfabetismo del 91%                                                                     |
| <b>Ingresos insuficientes</b>                  | El 60% de los hogares encuestados declararon que sus ingresos solo les alcanzaban para cubrir sus gastos mínimos. |
| <b>Años de estudio</b>                         | Registraron en promedio 4.9 años de estudios                                                                      |

Por otro lado, durante la entrevista al jefe encargado del comité de la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), se consulto acerca de la situación socioeconómica actual de los hogares cafeteros del municipio de Trujillo, obteniendo los resultados de la Tabla 10. Finalmente, los resultados de la encuesta a las 4 fincas que hicieron parte de esta investigación y los resultados fueron se pueden apreciar en la Tabla 11 (ver Anexo 6).

Tabla 10. Resultados de la encuesta socioeconómica de los hogares cafeteros de Trujillo realizada al jefe encargado del comité de la Federación de Cafeteros del municipio. Fuente: Elaboración propia

| Hallazgo                                               | Descripción                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Familias dedicadas a la caficultura en Trujillo</b> | De acuerdo con la entrevista hay 1000 familias dedicadas a la caficultura en el municipio.                                                  |
| <b>Tamaño promedio de los predios</b>                  | El 95% de los caficultores son pequeños productores, es decir que poseen menos de 5 hectáreas, la mayoría de entre 1.5-2 hectáreas de café. |
| <b>Predios de gran escala</b>                          | En el municipio, hay solo 3 fincas cafeteras de más de 40 hectáreas                                                                         |
| <b>Principal fuente económica del municipio</b>        | La economía está enmarcada mayoritariamente en el cultivo de café.                                                                          |
| <b>Ingresos</b>                                        | Los ingresos de los caficultores en promedio son de entre 1 y 2 SMMLV.                                                                      |
| <b>Mano de obra</b>                                    | En la actualidad hay poca mano de obra para labores de recolección de café, lo que dificulta la producción.                                 |

Tabla 11. Resultados encuesta socioeconómica a los propietarios de las 4 fincas estudiadas en esta investigación. Fuente: elaboración propia

| Hallazgo                                          | Descripción                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ingresos de los propietarios de las fincas</b> | Los ingresos de los propietarios en su mayoría oscilaron entre 2 y 3 SMMLV para el año 2022.                                          |
| <b>Tamaño de las fincas</b>                       | Los dueños de los predios se consideran medianos productores, dado que el tamaño de sus fincas fue de entre 10 a 40 hectáreas.        |
| <b>Nivel académico</b>                            | La mayoría de los propietarios de las fincas son profesionales universitarios.                                                        |
| <b>Producción de café (kg/ha por cosecha)</b>     | Las producciones de estas fincas van desde los 725 hasta 1,500 kilogramos/ha de café por cosecha.                                     |
| <b>Principales variedades cultivadas</b>          | Las principales variedades de café encontradas fueron: Geisha, Tabi, Maragogipe, Borbón amarillo rojo, Castillo Supremo y Cenicafé 1. |
| <b>Principal tipo de comercio</b>                 | El tipo de comercio del café es principalmente mediante mercados directos con cooperativas o asociaciones.                            |
| <b>Valor agregado al café</b>                     | Dos de las fincas contaban con su propia marca de café especial.                                                                      |
| <b>Acceso a las fincas</b>                        | Las 4 fincas consultadas eran de fácil acceso.                                                                                        |

A partir de las Tablas 9, 10 y 11 se evidencia que, en el municipio de Trujillo, hay diversas problemáticas socioeconómicas en la producción de café. Asimismo, de acuerdo con CIAT & CVC (2014) en un estudio sobre la vulnerabilidad al CC en los municipios del Valle del Cauca, se encontró que Trujillo es uno de los más sensibles al CC debido a que posee un índice de pobreza multidimensional (IPM) cercano a 80%; Valor que refleja carencias en términos de bienestar y condiciones de vida dignas. Asimismo, se registró un porcentaje de necesidades básicas insatisfechas del 20%; el cual se considera alto dado que en los municipios cafeteros del norte del Valle este valor varía en un rango de 13–31%.

Por otra parte, en cuanto a los resultados obtenidos en las 4 fincas de esta investigación se obtuvo que la mayoría de los propietarios eran medianos productores y que sus fincas no son su principal fuente económica de ingresos. Esto como consecuencia de que algunos contaban con otras fuentes de ingreso en el sector comercial como panaderías, ventas de fertilizantes, odontologías, etcétera.

Además, durante la entrevista con los dueños de las fincas, estos expresaron que el café no les resulta tan rentable como en otras épocas, tal y como lo mencionó Juan Carlos Ramírez, propietario de la finca de cafetera Las Margaritas, que con respecto productividad del café en la actualidad expresó: “El café hoy en día no es un cultivo de subsistencia, el cultivo cubre los gastos de sostenimiento de la finca, pero no proporciona mayores ganancias”.

Dicha problemática es preocupante, ya que pone en riesgo en mayor proporción a los pequeños productores, que de acuerdo con la entrevista a la FNC representan 95% de las fincas cafeteras del municipio de Trujillo. Asimismo, a partir del año 2030 la situación empeorará. Pese a las investigaciones en fitomejoramiento adelantadas por Cenicafé para crear variedades especiales de *C. arábica*, el CC representa un nuevo paradigma para el cultivo (Cadena Gómez & Bustamante, 2006; Flórez et al., 2016; Davis et al., 2012), dado que afecta directamente a la especie arábica en general en todas sus variedades por su alta dependencia de un clima estable para dar un máximo rendimiento (Jaramillo-Robledo, 2005; Ramírez-Builes et al., 2012).

Desde el punto de vista de la agroecología las problemáticas anteriores pueden ser abordadas desde la diversificación de ingresos, establecer la soberanía alimentaria, energética y tecnológica de la finca y generación de mercados locales mediante acuerdos entre agricultores. Para ello es necesario asociar el café con otras especies que permitan un mayor crecimiento económico de las fincas, acceder a mercados diversos, lograr una menor dependencia de insumos agrícolas, promover la venta directa de productos sin intermediarios, producir alimento para la finca y generar energías y tecnologías de bajo o nulo impacto ambiental para finca.

Posteriormente, sobre los impactos esperados del CC en Colombia, se halló que de acuerdo con Ocampo et al. (2017), el café colombiano para el año 2017, aun no se había visto fuertemente perjudicado por el CC. Sin embargo, señalaron que dichas condiciones presentarán cambios desde el 2030, generando afectaciones superiores al 10% en 187 mil hectáreas y 312 mil hectáreas en el año 2050 (Ocampo et al., 2017) (Figura 5).

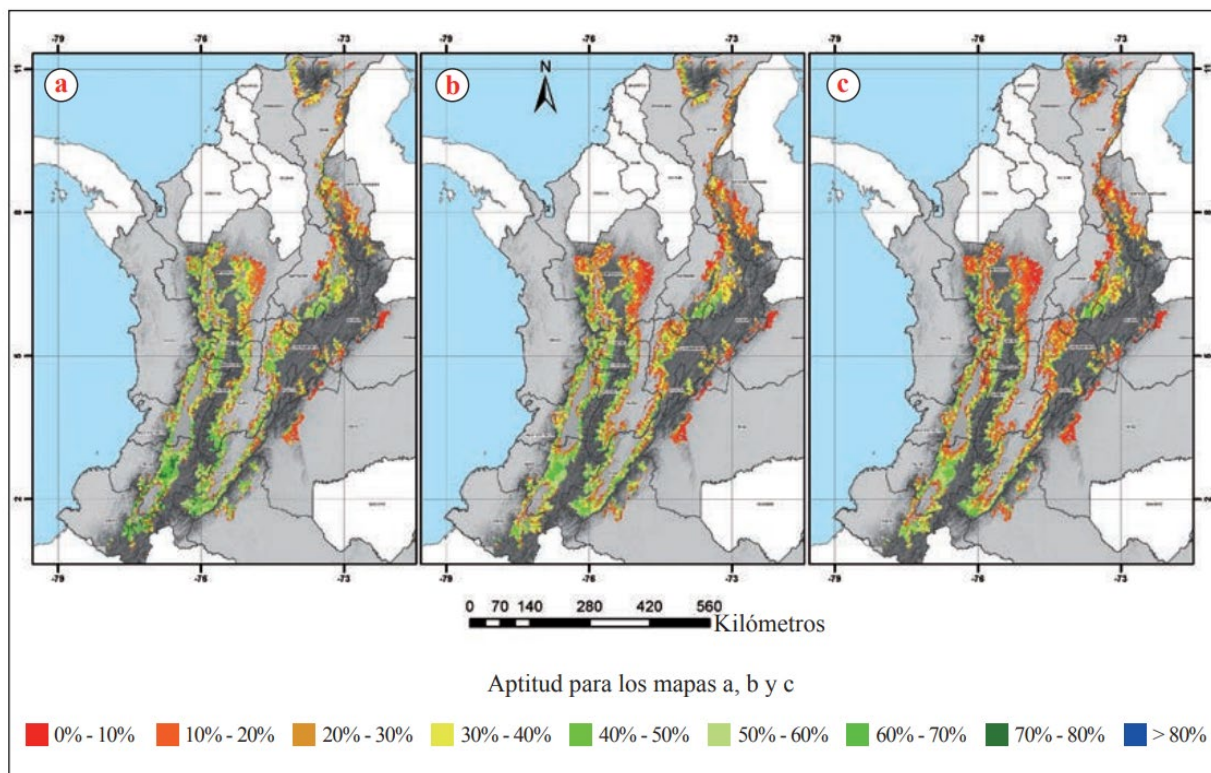


Figura 5. a. Aptitud Climática actual, b. Futura 2030s c. Futura 2050s. Escenarios A2 (más caluroso) en las áreas productoras de café en Colombia. Extraído de López et al. (2018).

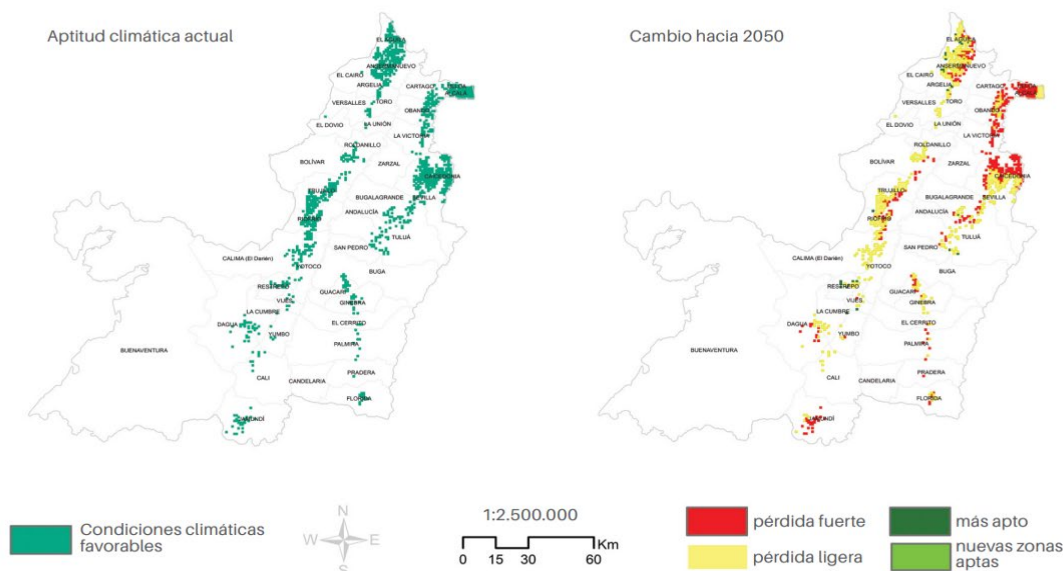
Asimismo, otro estudio enfocado específicamente los municipios del Valle del Cauca, llevado a cabo por CIAT & CVC (2014), mostró los impactos esperados en el municipio de Trujillo, Valle del Cauca en variables como la precipitación media y temperatura anual frente a escenarios RCP 2.6, 4.5, 8.5 (escenarios de bajas, medias y altas emisiones de GEI, respectivamente), resultados que pueden ser vistos en la Tabla 12.

Tabla 12. Cambios esperados en la precipitación y temperatura anual en los municipios que podrían verse mayormente afectados por el CC entre el periodo 2030-2050. Adaptado de CIAT & CVC, 2014.

| Municipio | Cambios en la precipitación anual (%) |         |         |         |         |         | Cambios en la temperatura anual (°C) |         |         |         |         |         |
|-----------|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|           | 2030s                                 |         |         | 2050s   |         |         | 2030s                                |         |         | 2050s   |         |         |
|           | RCP 2.6                               | RCP 4.5 | RCP 8.5 | RCP 2.6 | RCP 4.5 | RCP 8.5 | RCP 2.6                              | RCP 4.5 | RCP 8.5 | RCP 2.6 | RCP 4.5 | RCP 8.5 |
| Trujillo  | 8.43                                  | 7.99    | 8.42    | 11.78   | 8.81    | 10.75   | 1.23                                 | 1.29    | 1.52    | 1.39    | 1.7     | 2.35    |

De acuerdo con la Tabla 9, el municipio de Trujillo se espera que durante el 2030-2050 halla un aumento en la precipitación anual de 8.42 a 10.75% y un incremento en la temperatura anual de 1.52 a 2.35 °C con respecto a los valores de estas variables en el año 2014, en escenarios

RCP 8.5. De manera similar, en la Figura 6, se muestra que para el año 2050 en este municipio se esperan pérdidas fuertes de aptitud en cultivo de café en su variedad arábica, con respecto a las condiciones climáticas favorables en el 2014 para el cultivo (CIAT & CVC, 2014).



*Figura 6. Pérdida de aptitud del cultivo de café en el Valle del Cauca prevista para el 2050 en su variedad arábica con respecto a las condiciones climáticas favorables para el cultivo en el año 2014. Tomado de CIAT & CVC, 2014.*

Igualmente, a continuación, se presentan los resultados de la encuesta a los cafeteros de Trujillo y a la FNC diagnosticar los impactos que se producen en los cultivos de café como consecuencia del CC y VC. Entre los resultados obtenidos fueron:

- Los caficultores entendieron por CC a cambios en las condiciones del clima en largos periodos de tiempo
- Las variables climáticas que afectan la producción de café fueron el brillo solar, la humedad y la temperatura, las lluvias y la velocidad del viento.
- El hongo de la roya asevera sus efectos cuanto se presentan aumentos en variables como la precipitación anual y temperatura media.
- La temperatura media del municipio de Trujillo ha incrementado en los últimos 30 años.
- Los caficultores concluyeron que como consecuencia del CC a futuro se presentarán impactos en el cultivo como pérdidas en la floración y caída prematura de los frutos.

En resumen, a partir de la información anterior, se diagnosticó que en la actualidad se han evidenciado leves impactos como consecuencia del CC sobre el cultivo de café en Colombia y en Trujillo. No obstante, a partir del año 2030 se comenzarán a evidenciar los efectos asociados al CC, lo que representará un reto para la caficultura del municipio. Asimismo, según la bibliografía y la encuesta realizada a los caficultores de la zona se puede determinar que las variables que más afectan al café son brillo solar, la humedad y la temperatura, las lluvias y la

velocidad del viento y que la temperatura media ha aumentado con relación a épocas anteriores.

## 7.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL OBJETIVO 2

Con el propósito de identificar ¿Qué beneficios les ha traído a los propietarios de las fincas estudiadas emplear practicas agroecológicas en sus predios?, inicialmente se diagnosticó el grado de resiliencia de 4 las fincas ante fenómenos climáticos extremos. Con esto se buscaba encontrar diferencias en cuanto a la capacidad de estos ecosistemas de resistir a cambios en las condiciones ambientales predominantes tales como precipitación, temperatura, etc.

Además, los resultados de dicho estudio para cada finca se agregaron en la Tabla 13, la cual se elaboró por medio indicadores tipo semáforo que se clasificaron en: rojo (alto riesgo, valores 1-2), amarillo (riesgo medio, valores 3-4) o verde (riesgo bajo, valor de 5) de acuerdo con la situación particular observada *in situ* (ver Anexo 7). Luego de elaborada la Tabla 13, lo valores se organizaron y promediaron en la Tabla 14. Asimismo, para presentar de forma gráfica los resultados anteriores para las 4 fincas estudiadas, se elaboró un diagrama tipo ameba (Figura 7).

Tabla 13. Indicadores tipo semáforo para las 4 fincas. Nota. Adaptado de Altieri y Nicholls. (2013).

| Indicador                              | ROJO Alto riesgo (1-2)<br>* |   |   |   | AMARILLO Riesgo<br>medio (3-4) * |   |   |   | VERDE Bajo<br>riesgo (5) * |   |   |   |
|----------------------------------------|-----------------------------|---|---|---|----------------------------------|---|---|---|----------------------------|---|---|---|
|                                        | A                           | B | C | D | A                                | B | C | D | A                          | B | C | D |
| 1. Pendiente                           |                             | 2 |   |   | 4                                |   | 3 | 3 |                            |   |   |   |
| 2. Exposición                          |                             | 2 |   |   | 3                                |   |   |   |                            |   | 5 | 5 |
| 3. Diversidad paisajística             |                             |   |   |   |                                  | 4 | 3 | 3 | 5                          |   |   |   |
| 4. Proximidad a bosques                |                             |   |   |   | 4                                |   |   | 3 |                            | 5 | 5 |   |
| 5. Cortinas rompevientos               |                             |   |   |   | 3                                |   |   |   |                            | 5 | 5 | 5 |
| 6. Prácticas de conservación de suelos | 2                           |   | 2 |   |                                  | 3 |   | 4 |                            |   |   |   |
| 7. Diversidad de plantas               | 2                           | 2 |   |   |                                  |   |   |   |                            |   | 5 | 5 |
| 8. Cobertura de suelos                 |                             | 2 |   |   | 3                                |   |   |   |                            |   | 5 | 5 |
| 9. Profundidad de raíces               |                             |   |   |   |                                  |   |   | 3 | 5                          | 5 | 5 |   |
| 10. Infiltración                       |                             |   |   |   | 4                                |   | 3 | 3 |                            | 5 |   |   |

\*Alto riesgo (calificaciones entre 1-2), \*Riesgo medio (calificaciones entre 3-4), \*Riesgo bajo, calificación de 5).

Nota: A. Finca la Luisa, B. Finca Las Margaritas, C. Finca La Espartana, D. Finca Buenos Aires.

Tabla 14. Calificación por finca para cada indicador. Elaboración propia.

| Indicador | Calificación por finca |    |    |    |
|-----------|------------------------|----|----|----|
|           | A*                     | B* | C* | D* |

|                                     |     |     |     |   |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|---|
| Pendiente                           | 4   | 2   | 3   | 3 |
| Exposición                          | 3   | 2   | 5   | 5 |
| Diversidad paisajística             | 5   | 4   | 3   | 3 |
| Proximidad a bosques                | 4   | 5   | 5   | 3 |
| Cortinas rompevientos               | 3   | 5   | 5   | 5 |
| Prácticas de conservación de suelos | 2   | 3   | 2   | 5 |
| Diversidad de plantas               | 2   | 2   | 5   | 4 |
| Cobertura de suelos                 | 3   | 2   | 5   | 5 |
| Profundidad de raíces               | 5   | 5   | 5   | 4 |
| Infiltración                        | 4   | 5   | 3   | 3 |
| Promedio                            | 3.5 | 3.5 | 4.1 | 4 |

\* A. Finca la Luisa, B. Finca Las Margaritas, C. Finca La Espartana, D. Finca Buenos Aires.

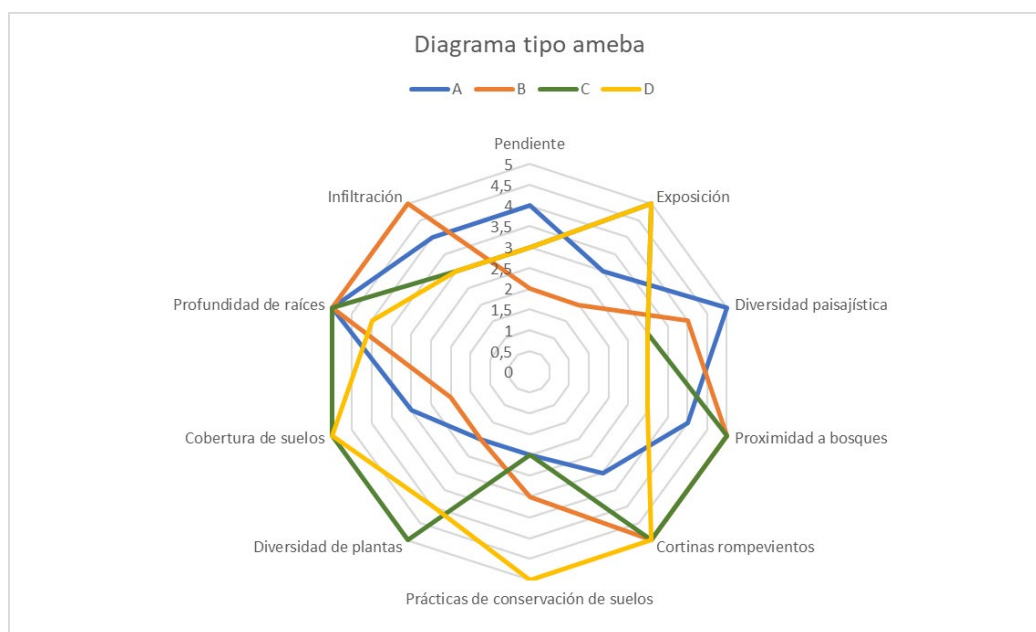


Figura 7. Resultados del diagnóstico del grado de resiliencia de los sistemas de producción estudiados. A. Finca La Luisa, B. Finca Las Margaritas, C. Finca La Espartana, D. Finca Buenos Aires. Elaboración propia.

A partir de la Figura 7, se concluyó que las dos fincas que presentaron mayor grado de resiliencia ante fenómenos climáticos extremos fueron las Fincas Buenos Aires y la Finca La Espartana presentando indicadores favorables en cuanto a exposición, cobertura de suelos, diversidad de plantas, cortinas rompevientos, prácticas de conservación de suelos, factores determinantes en la resiliencia de los cultivos ante cambios en las condiciones ambientales.

Por otra parte, la finca que mostro un menor grado de resiliencia fue la finca La Luisa, dado que presentaba baja diversidad de cultivos, insuficiencia de prácticas de conservación de suelo, poca cobertura de suelo, entre otras. Por otro lado, también se elaboró un diagnóstico, a partir de los elementos de la agroecología mencionados por FAO (2013). En la Tabla 15 se pueden

observar los resultados obtenidos tras de las 4 fincas que se tenidas en cuenta en este trabajo de grado.

*Tabla 15. Resultados del diagnóstico del grado agroecológico de los sistemas de producción estudiados.  
Finca Buenos Aires Elaboración propia.*

| Elemento                                         | Finca       |             |             |              |
|--------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|                                                  | A*          | B*          | C*          | D*           |
| Diversidad                                       | NO          | NO          | SI          | SI           |
| Creación conjunta e intercambio de conocimientos | NO          | NO          | SI          | SI           |
| Sinergias                                        | SI          | SI          | SI          | SI           |
| Eficiencia                                       | NO          | NO          | SI          | SI           |
| Reciclaje                                        | NO          | SI          | SI          | SI           |
| Resiliencia                                      | NO          | NO          | SI          | SI           |
| Valores humanos                                  | SI          | SI          | SI          | SI           |
| Cultura y tradiciones alimentarias               | NO          | NO          | SI          | SI           |
| Gobernanza responsable                           | SI          | SI          | SI          | SI           |
| Economía circular y solidaria                    | NO          | NO          | NO          | SI           |
| <b>CALIFICACIÓN</b>                              | <b>3/10</b> | <b>4/10</b> | <b>9/10</b> | <b>10/10</b> |

\*A. Finca La Luisa, B. Finca Las Margaritas, C. Finca La Espartana. D

De acuerdo con la Tabla 15 la finca que presentó mayor grado agroecológico fue la finca Buenos Aires, dado que presentaba cumplió con los diez principios técnicos de la agroecología y presentó una mínima dependencia de insumos con relación a las demás. Asimismo, la que menor grado agroecológico obtuvo fue la finca La Luisa, la cual principalmente se observaban monocultivos de café de diferentes especies, pero presentaba una alta dependencia de insumos.

Finalmente, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el diagnóstico del grado de resiliencia, el diagnóstico del grado agroecológico, los criterios propuestos en la metodología para la selección de fincas faro o modelo, y la disponibilidad del propietario de la finca para la realización de una visita con los productores del proyecto de cafés especiales. El faro seleccionado fue la finca Buenos Aires, dado que presentó un grado agroecológico alto, un grado de resiliencia promedio mayor o igual a 4.0.

Asimismo, en la Tabla 16, se pueden observar los beneficios encontrados de implementar prácticas agroecológicas en la finca modelo.

Tabla 16. Beneficios de implementar practicas agroecológicas en la finca modelo Buenos Aires. Fuente, Elaboración propia

| Beneficio                                                       | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Diversidad de ingresos y costos ocultos                         | En la finca había diversificación de fuentes económicas además del café como cultivos de aguacate, plátano, yuca y árboles frutales. Especies pecuarias como cerdos y gallinas ponedoras que con sus residuos sólidos se produce biogás.                                                                           |
| Resiliencia socio-ecológica                                     | Puntuación de 4 de 5 en la evaluación del grado de resiliencia a factores climáticos externos                                                                                                                                                                                                                      |
| Baja dependencia de insumos externos                            | Se fertilizaba en gran medida con los abonos producidos en los procesos pecuarios, los cuales antes de ser aplicados al suelo pasaban por un proceso de biodigestión para eliminar patógenos y bacterias, mediante procesos anaeróbicos (ver Anexo 8). Asimismo, el uso de pesticidas o agrotóxicos eran mínimos.  |
| Reciclaje de nutrientes                                         | Se hacía compostaje a partir de residuos orgánicos de origen vegetal como pulpa de café (ver Anexo 8).                                                                                                                                                                                                             |
| Sinergias                                                       | Entre los diferentes componentes del agroecosistema, dado que se asociaron cultivos que no presentaban competitividad entre ellos (plátano, café, frutales, maderables y leguminosas) y cumplían diferentes funciones en el agroecosistema.                                                                        |
| Presencia de coberturas vegetales                               | Cortinas rompevientos, buena profundidad de raíces, no se presentó encharcamiento, alto contenido de materia orgánica.                                                                                                                                                                                             |
| Suelos protegidos contra la erosión                             | Por su alto contenido de materia orgánica y poca exposición directa al sol.                                                                                                                                                                                                                                        |
| Uso eficiente del agua y el suelo                               | Por contar con cultivos de cobertura había una disminución de temperatura y, por tanto, menor evapotranspiración (pérdida de agua), lo que protege los cultivos en caso de una sequía. Asimismo, se observaba una alta diversidad de cultivos de siembra adecuada, aprovechando de esta manera al máximo el suelo. |
| Soberanía energética                                            | Se produce gas partir de residuos sólidos derivados de cerdos y gallinas (ver Anexo 8).                                                                                                                                                                                                                            |
| Seguridad alimentaria y alto potencial de soberanía alimentaria | Esto debido a sus diferentes fuentes de ingresos y diversidad de cultivos (ver Anexo 8). Sin                                                                                                                                                                                                                       |

|                    |                                                                                                                                                                  |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | embargo, no se alcanzaba la soberanía por que, para ello, se requeriría establecer pequeñas huertas donde se cultiven verduras, plantas aromáticas y hortalizas. |
| Alta biodiversidad | Según un estudio adelantado por la CVC mostrado por el agricultor, en su finca se encontró gran variedad de aves y mamíferos.                                    |

### 7.3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL OBJETIVO 3

Una vez enviada la encuesta a expertos en agroecología, se obtuvieron varios comentarios que fueron tenidos en cuenta para el planteamiento de la propuesta de estrategias de adaptación al CC (ver Anexo 9). Entre ellos se encuentran:

- La mayoría de los expertos concluyeron que las estrategias propuestas son suficientes para adaptar el cultivo de café de Trujillo al CC
- Algunos expertos hicieron aportes que fueron integrados a la propuesta inicial tales como: adaptación basada en comunidades e incluir variedades genéticamente mejoradas.
- Las propuestas seleccionadas organizadas por prioridad son: agroforestería, adaptación basada en comunidades, diversificación de cultivos y eficiencia en el uso de los bienes naturales principalmente agua, atmósfera y suelo.

Como resultado de lo anterior, se obtuvieron un total de 4 estrategias de adaptación al CC desde la agroecología que serán presentadas a continuación:

#### 7.4.1. Agroforestería

En numerosas investigaciones (Cassamo et al., 2023; Koutouleas et al., 2022; Lin, 2007; Merle et al., 2022; Rigal et al., 2020) se ha planteado que la agroforestería es la mejor estrategia de adaptación al CC, dado que con esta es posible mejorar el microclima de los cultivos y obtener otros beneficios del papel del árbol en la regulación hídrica y en el aumento de la biodiversidad de los ecosistemas (Jaramillo et al., 2013; Oliosi et al., 2016; Partelli et al., 2014; Pham et al., 2019).

El café bajo sombra amortigua las temperaturas extremas y minimiza la pérdida de agua por evapotranspiración de los cultivos (DaMatta, 2004; de Carvalho et al., 2021; Gomes et al., 2020b; Jha et al., 2014; Lin et al., 2008). Igualmente, contribuye a reducir la huella de carbono del sistema productivo (Ehrenbergerová et al., 2016). A continuación, se muestra un listado de los beneficios que representa la agroforestería como estrategia de adaptación al CC en el café (Koutouleas et al., 2022):

- Disminución de las fluctuaciones diarias de temperatura dentro del agroecosistema (DaMatta & Cochicho Ramalho, 2006; Staver et al., 2001).

- Reducción de entre 3 a 5° C de la temperatura interna máxima diurna del sistema (Morais et al., 2006; Oliosi et al., 2016; Staver et al., 2001).
- Aumento de la humedad relativa en periodos de sequía (Coltri et al., 2019; DaMatta & Cochicho Ramalho, 2006; Oliosi et al., 2016).
- Reducción de la velocidad del viento entre un 22-99% por efecto de la barrera rompevientos natural generada por los árboles (Coltri et al., 2019; DaMatta & Cochicho Ramalho, 2006).
- Disminución de la radiación solar entre un 15-90% (Coltri et al., 2019; Morais et al., 2006).
- Reducción en la transpiración de las hojas del café por unidad de área (Van Kanten & Vaast, 2006).
- Incremento de la materia orgánica del suelo en un 10% (Rigal et al., 2020b).
- Aumento del microbioma (bacterias y hongos, incluyendo micorrizas) del suelo en un 64% (Bagyaraj et al., 2015; Rigal et al., 2020b).
- Mayor presencia de enzimas del suelo involucradas en los ciclos del Carbono y Nitrógeno (Rigal et al., 2020b).

Asimismo, las especies arbóreas más utilizadas en la región andina de Colombia para dar sombra al café y obtener los beneficios descritos con anterioridad son (Ospina, 2004; Gómez & Saldías, 1994; Arcila et al., 2007; Farfán et al., 2016 Sánchez, 2016; Farfán, 2013; Agron, 2007; Moreno, 2006):

- *Cajanus cajan* (Guandul).
- *Licania campestre* (Carbonero o calapo).
- *Erythrina eduli* (Balú o chachafruto).
- *Inga densiflora Benth* (Guamo macheto).
- *Cordia alliodora* (Nogal cafetero).
- *Pinus oocarpa* (Pino amarillo).
- *Eucalyptus grandis* (Eucalipto).
- *Erythrina nodulan* (Cámbulo).

Por otro lado, se ha demostrado que la agroforestería genera diferentes efectos en cuanto a las características organolépticas de las variedades de café arábica como Caturra y Borbón, presentando un mayor tamaño de grano, aumentos en la concentración de cafeína, mayor cuerpo (sensación de peso y textura), entre otros (Guyot et al., 1996, como citado en Koutouleas et al., 2022; Bosselmann et al., 2009; Muschler, 2001, 2004; Somporn et al., 2012).

Igualmente, los árboles incrementan la complejidad del ecosistema y las interacciones entre organismos, atrayendo diferentes aves, reptiles, artrópodos, anfibios y mamíferos, los cuales prestan importantes beneficios ecosistémicos como el control biológico de plagas y enfermedades (Jezeer et al., 2019; Moguel & Toledo, 1999; Perfecto et al., 1996, 2005; Udawatta et al., 2021), evitando de esta manera el uso de pesticidas químicos (Kellermann et al., 2008; Perfecto et al., 2014). Varios estudios han demostrado que el uso de plaguicidas de origen químico, incluso en bajas concentraciones, afectan propiedades bioquímicas como la actividad microbiana del suelo, llevándolo con paso del tiempo a la degradación biológica

(Hennig et al., 2023; Jat et al., 2021; Mandal et al., 2020; Meena et al., 2020; Mehjin et al., 2019; Riedo et al., 2023).

Además de lo anterior, los microorganismos juegan un rol muy importante en la fertilidad y productividad del suelo durante procesos tales como el reciclaje de nutrientes, formación de humus, fijación de nitrógeno, estabilidad estructural del suelo, entre otros (Osorio-Vega, 2009).

Finalmente, en la Figura 8, se puede observar la amplia gama de beneficios ambientales y económicos de los árboles en fincas cafeteras como medida de adaptación al CC.



Figura 8. Beneficios ambientales y económicos de los árboles en las fincas cafeteras. Fuente: Farfán (2014).

#### 7.4.2. Adaptación basada en Comunidades

La adaptación basada en comunidades (AbC) es una estrategia que se caracteriza por basarse en las necesidades, conocimientos locales y saberes ancestrales de las comunidades para de esta manera planear medidas que contribuyan a disminuir los impactos de fenómenos externos como el CC (Martínez, 2015).

La participación de las comunidades en la toma de decisiones se reconoce cada vez más como un aspecto clave para lograr la sostenibilidad a largo plazo de la gestión de los recursos naturales; a nivel global se ha reconocido que el éxito de la adaptación y conservación de las riquezas de la naturaleza depende de las comunidades y de su contexto local (Berkes & Turner, 2006; Datta et al., 2012; Kellert et al., 2010; Maxwell et al., 2020; Owuor et al., 2019; Thomas & Koontz, 2011).

Lo anterior sucede como consecuencia que durante cualquier perturbación ambiental o social, ambos sistemas se ven perjudicados de forma bilateral, generando la necesidad de realizar transformaciones circunstanciales orientadas a recuperar el balance entre el capital natural (como el agua, bosques y vida salvaje) y el social (tradiciones, conocimientos locales) (Barbier, 2005; Berkes & Turner, 2006; Datta et al., 2012; Kellert et al., 2010; Maxwell et al., 2020; Owuor et al., 2019; Thomas & Koontz, 2011).

Por lo tanto, ha habido un interés progresivo en analizar las perspectivas locales (sociales, políticas, económicas y ambientales) que han dado origen a las soluciones planteadas por las comunidades para adaptarse a los efectos del clima en sus territorios (Aymoz et al., 2013; Hai et al., 2020; Momtaz et al., 2020; Peng et al., 2022; Soman & Anitha, 2020; Sujakhu et al., 2020; Wang et al., 2022). A continuación, se muestran algunos de los beneficios de AbC como estrategia de adaptación al CC:

- La implementación de la AbC aumenta la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos (Berkes & Turner, 2006; Datta et al., 2012; Kellert et al., 2010; Owuor et al., 2019).
- La AbC es una estrategia que favorece a comunidades de bajos recursos ya que tiene la capacidad de atenuar la vulnerabilidad de las poblaciones pobres respecto al CC (Tanner & Mitchell, 2008).
- Se valora el conocimiento local, dado que se considera que la información para superar la crisis ambiental se encuentra de manera intrínseca en las comunidades, lo que genera mayor autonomía en la toma de decisiones por parte de estas (Zamora Martínez, 2015).
- Se resuelven los problemas de las comunidades ya que son ellas mismas quienes, evalúan, plantean soluciones y generan resultados a corto y mediano plazo (Aymoz et al., 2013; Momtaz et al., 2020; Peng et al., 2022).

De acuerdo con lo anterior, los espacios que permitan la participación comunitaria en la creación de estrategias de adaptación son primordiales para superar la crisis del CC. Dichos procesos pueden llevarse a cabo mediante metodologías de acción participativa como Campesino a Campesino (CaC) (ver Anexo 10), la cual se basa principalmente en la transmisión, construcción y discusión del conocimiento entre campesinos con el fin de generar propuestas de adaptación al CC desde su contexto local (Giraldo, 2022; LaRota-Aguilera et al., 2022).

#### **7.4.3. Diversificación de cultivos**

La diversificación de cultivos consiste en asociar el café con especies de doble propósito, que además de brindar sombrío al café, tienen otros usos prácticos como producción de leña, madera o frutos, ya sea para el consumo familiar o para la venta. Asimismo, la diversificación de cultivos es una estrategia que puede ser empleada por pequeños y medianos productores, para reducir su vulnerabilidad frente factores de externos como el CC y la VC, dado que disminuye su dependencia de una única fuente de ingresos (Altieri, 2004; Baumgärtner & Quaas, 2010; Lin, 2011). Algunos de los beneficios de la diversificación de cultivos son (McCord et al., 2015; Nilsson et al., 2022):

- Se ha demostrado que incrementa el desempeño económico de las fincas, aprovechando las funciones de los ecosistemas complejos, que reducen la dependencia de insumos externos costosos y mejora la nutrición de las plantas (Nilsson et al., 2022).
- Mejora la fertilidad del suelo, la eficiencia en el uso de nutrientes y la regulación biológica de plagas y arvenses (Kremen & Miles, 2012; Watson et al., 2017)
- Brinda acceso a los productores a mercados más variados (Bradshaw et al., 2004, Fraser et al., 2005; (McCord et al., 2015), lo cual puede introducir nuevas técnicas de cultivo, mejorando así la capacidad de adaptación frente a eventos adversos del mercado y/o climáticos (McCord et al., 2015).
- Proporciona un efecto amortiguador frente a fluctuaciones ambientales y de este modo, permite el funcionamiento sostenido a largo plazo y la resiliencia de los ecosistemas (Lin, 2011; Vandermeer et al., 1998; Yachi & Loreau, 1999).

Los cultivos recomendados para ser asociados al café son (Arcila et al., 2007; Ayala et al., 2021; Jaramillo & Salazar, 2021; Rendón & Bermúdez, 2017):

- *Persea americana* (aguacate), puesto que permite diversificar los cultivos y no genera competencia de nutrientes con el café.
- *Musa paradisiaca* (plátano), un cultivo comúnmente asociado al café debido a su corta profundidad radicular, lo cual mejora la eficiencia en la obtención de nutrientes del suelo.
- *Phaseolus vulgaris* (frijol), dado que al ser una leguminosa fija nitrógeno atmosférico mediante su asociación simbiótica con la bacteria *Rhizobium phaseoli* y estimula la movilidad del fósforo por su efecto de secreción radicular de ácidos orgánicos y de enzimas, que aumentan la disponibilidad de este elemento en el suelo para las plantas (Jaramillo & Salazar, 2021).
- *Zea Mays* (maíz), porque tiene raíces fibrosas y superficiales que ayudan a mejorar la estabilidad y la porosidad del suelo, esto incrementa su infiltración y capacidad de retención de agua (Jaramillo & Salazar, 2021).

Finalmente, en cuanto a la densidad de siembra, un estudio llevado a cabo por Rendón & Bermúdez (2017) sugieren asociar el café con cultivos de maíz intercalados entre surcos a densidades de siembra de entre 30,000 y 45,000 plantas por hectárea que pueden alcanzar una producción de entre 3,000 y 5,000 kilogramos por hectárea (kg/ha) en un ciclo y cultivos de frijol con café con densidades de entre 80,000 y 120,000 plantas por hectárea que pueden alcanzar entre 500 y 800 kg/ha por ciclo.

#### **7.4.4. Eficiencia en el uso de los bienes naturales principalmente agua, atmósfera y suelo**

Para hacer un uso eficiente del suelo y el agua, en esta investigación se consideraron tres procesos: compostaje, biodigestores y cosecha de aguas lluvias. A continuación, se explicará cada uno de estos procesos y sus usos para un máximo aprovechamiento del recurso hídrico y los suelos ante los escenarios previstos de CC.

En primer lugar, el compostaje es un producto obtenido a partir de diferentes materiales de origen orgánico, los cuales son sometidos a un proceso biológico controlado de descomposición denominado compostaje (Román et al., 2013). Asimismo, no cualquier material que haya pasado por un proceso aeróbico puede ser considerado compost para ello, se deben cumplir ciertas etapas (Román et al., 2013). De ahí que la utilización de un material que no haya finalizado correctamente el proceso de compostaje puede acarrear riesgos como fitotoxicidad, bloqueo biológico del nitrógeno, reducción de oxígeno radicular, exceso de amonio y nitratos y contaminación de fuentes de agua (Román et al., 2013):. Asimismo, los materiales que pueden incluir en el compost son (Román et al., 2013):

- Restos de cosecha, ramas, plantas del huerto o jardín, o cualquier tipo de material vegetal
- Estiércol de especies pecuarios como cerdos, pollos, vacas entre otros
- Aserrín
- Residuos de papel no impresos ni coloreados, ni mezclados con plástico

En la Figura 9, se muestra como es el proceso de compostaje de materia orgánica, así como los requerimientos de los microorganismos tales como azúcares y aminoácidos para que estos puedan transformar la materia orgánica en compuestos húmicos y compuestos minerales.

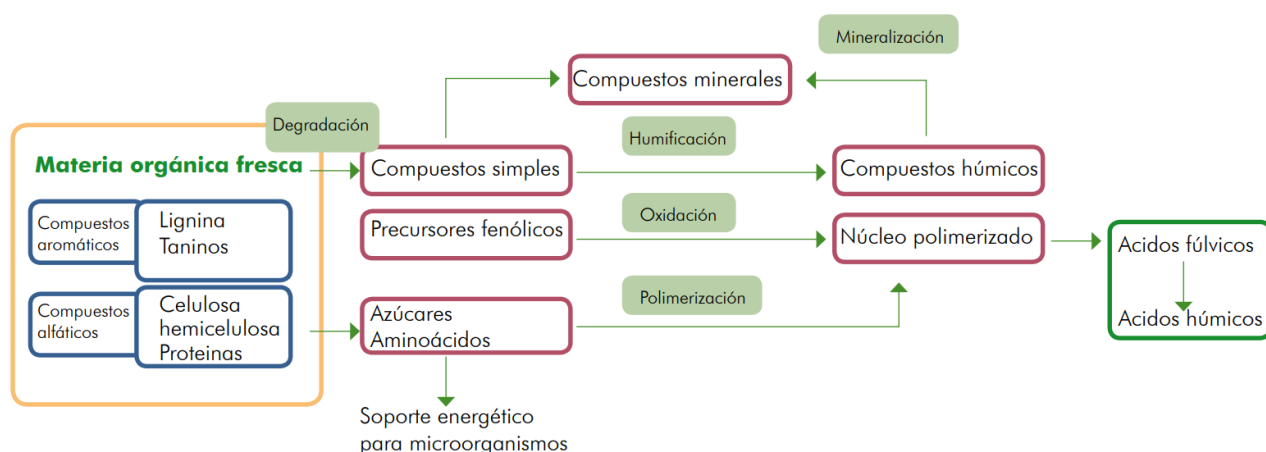


Figura 9. Evolución de la materia orgánica en el suelo, fuente: de Román et al., 2013

Además, se ha encontrado que durante el compostaje se mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo presentando beneficios tales como (Bhakta & Rana, 2023; Román et al., 2013; Tang et al., 2022):

- Facilita el manejo del suelo para labores de arado o siembra.
- Aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo.
- Disminuye el riesgo de erosión.
- Ayuda a regular la temperatura edáfica del suelo.
- Aporta macronutrientes, como N, P, K y micronutrientes.
- Mejora la capacidad de intercambio catiónico.

- Aporta microorganismos como bacterias y hongos que transforman los materiales insolubles del suelo en nutrientes para la planta y degradan sustancias nocivas.

En segundo lugar, se propone el uso de biodigestores, dado que durante los procesos de biodigestión anaerobia parte de los materiales orgánicos de residuos animales y vegetales, son convertidos en biogás; compuesto principalmente formado por una mezcla de dióxido de carbono y metano (Varnero, 2011). Las gallinas, por ejemplo, pueden producir hasta 80 litros de biogás por kilogramo de excremento y los cerdos entre 51 y 60 (Martí, 2008; Varnero, 2011).

Estos gases se pueden emplear como fuente de combustible directo en sistemas de combustión a gas o para la producción de energía eléctrica, permitiendo de esta manera disminuir la dependencia de insumos energéticos de los sistemas cafeteros (Calle, 1974; Martí, 2008; Rodríguez & Zambrano, 2013). Además, este proceso anaeróbico favorece el proceso de biosólidos estabilizados que pueden ser empleados como biofertilizante o Biol, el cual presenta importantes beneficios para la nutrición de cultivos como el café (Hernández-Sarabia et al., 2021).

Asimismo, se recomienda incluir al proceso de biodigestión pulpa de café. Varios estudios (Calzada et al., 1984; Mata Suarez, 2022; Rodríguez & Zambrano, 2013; Sumardiono et al., 2021) han demostrado que este es uno de los mejores residuos orgánicos que pueden ser empleados para la producción de biogás debido a que con este se pueden producir hasta 25 litros de biogás por kilogramo de pulpa fresca y en la caficultura colombiana se generan un total de 2.25 toneladas por hectárea al año que en su mayoría no son aprovechadas (Calle, 1974; Rodríguez & Zambrano, 2013). Por lo tanto, como parte de esta investigación se elaboró una propuesta de diseño realizada para un biodigestor estandarizado para zonas de producción de café. Para dicho cálculo se siguió la metodología empleada por autores como González & Olaya (2012), Martí (2008) y Varnero (2011), autores que presentan las pautas para el cálculo y diseño de biodigestores. Para conocer a mayor detalle el proceso de cálculo y ecuaciones empleadas ver Anexo 11.

Asimismo, para el cálculo de dicha propuesta, inicialmente se determinó la cantidad de litros de biogás por kilogramos de residuo o excremento, por tanto, en la Tabla 17 se pueden observar los resultados obtenidos.

*Tabla 17. Litros de biogás por kg de peso producidos según animal o fuente de biomasa. Fuente: Elaboración propia*

| Fuente de biomasa    | Peso unitario (kg) | Litros de biogás por kilogramo de residuos o excremento |
|----------------------|--------------------|---------------------------------------------------------|
| Cerdo                | 50                 | 60                                                      |
| Gallina              | 2                  | 80                                                      |
| Pulpa de café fresca | 1                  | 25                                                      |

De manera similar, en la Tabla 18 se presentan los resultados de la cantidad de litros de biogás necesarios, esto teniendo en cuenta que una estufa requiere un flujo de biogás de 150 litros por hora y se estableció un tiempo diario de cocina de 8 horas.

*Tabla 18. Cantidad de litros de biogás requeridos al día. Fuente: Elaboración propia*

| Necesidad de una estufa (L/hora) | Tiempo de uso de cocina (horas) | Cantidad de litros requeridos de biogás diariamente (L) |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 150                              | 8                               | 1,200                                                   |

A partir de la Tabla 18 se determinó que se requieren 1,200 L de biogás. En consecuencia, en la Tabla 19 se muestran tanto la cantidad de cerdos, gallinas y los kg de pulpa de café fresca, del mismo modo que el volumen de agua requerido en litros a agregar.

*Tabla 19. Cantidad necesaria y Carga total solido-agua según fuente de biomasa. Fuente: Elaboración propia*

| Fuente de biomasa          | Cantidad necesaria | Carga sólidos de que producen (kg) | Relación (sólido-agua) | Cantidad de agua a agregar (L) | Carga total solido-agua por fuente de biomasa (L) |
|----------------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|
| Cerdos                     | 4                  | 8                                  | 1:3.4                  | 27                             | 35.0                                              |
| Gallinas                   | 17                 | 3                                  | 1:5                    | 15.8                           | 18.8                                              |
| kg de Pulpa de café fresca | 19                 | 19                                 | 1:2                    | 28.8                           | 48.0                                              |
| <b>Total</b>               |                    |                                    |                        | 71.6                           | 101.8                                             |

De acuerdo con la Tabla 19, a modo de ejemplo para el caso de los cerdos, se requieren 4 cerdos de 50 kg, la relación solido-agua obtenida fue de 1: 3.4, hecho que sugiere por cada kg de excremento secretado se requieren 3.4 litros de agua, es decir, que para los 4 cerdos se requieren 27 litros de agua. La carga de solido-agua total es la suma de la carga de sólidos producidos por los cerdos más la cantidad de agua necesaria.

Teniendo en cuenta que la carga total (sólidos y aguas) fue de 101.8 L y considerando un tiempo de retención de 37 días para una temperatura ambiente de 20° C, se definió un volumen líquido de 3,764.75 L, un volumen de gas de 1,254.9 L y, por lo tanto, un volumen total del cilindro de aproximadamente 5,000 L o 5 m<sup>3</sup>.

Una vez calculado el volumen del cilindro, se obtuvo un ancho de rollo comercial de 1.5, dado que la relación longitud/diámetro fue de 7.2, la cual se encuentra en el rango óptimo de entre 5 y 10 (Martí, 2008), en la Tabla 20 se presentan los resultados obtenidos para las dimensiones del rollo y la zanja dentro del se deberá ubicar este.

Tabla 20. Dimensiones necesarias para el biodigestor. Fuente: Elaboración propia.

| Dimensiones del rollo de 5 m3 |              |              |                            | Dimensiones de la zanja del rollo de 5 m3 |             |                 |              |
|-------------------------------|--------------|--------------|----------------------------|-------------------------------------------|-------------|-----------------|--------------|
| Ancho (m)                     | Diámetro (m) | Longitud (m) | relación Longitud/diámetro | Ancho 1 (m)                               | Ancho 2 (m) | Profundidad (m) | Longitud (m) |
| 1.5                           | 0.96         | 6.9          | 7.2                        | 0.5                                       | 0.7         | 0.8             | 6.9          |

Por otro lado, Isibika et al. (2021, 2023) han demostrado que al asociar *Hermetia illucens* (Mosca soldado negro) a los procesos de compostaje se producen larvas de alto aporte proteico que pueden ser empleadas como alimento para animales como gallinas y peses (Allegretti et al., 2018; Kawasaki et al., 2019; Schiavone et al., 2018). Asimismo, este tipo de larvas son capaces de procesar diferentes tipos de biorresiduos crudos como el estiércol animal, residuos de alimentos, residuos vegetales, entre otros (Lalander et al., 2019; Newton et al., 2005; Nyakeri et al., 2017). Incluso esta especie de mosca ha demostrado ser una técnica prometedora para el filtrado y tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica generadas durante el proceso de compostaje (Grossule et al., 2022).

Además, un estudio reciente evaluó el uso de los residuos producidos por las larvas de *Hermetia illucens* para la digestión anaeróbica, encontrando que es una buena fuente de biometano que puede ser empleados como fuente de energía eléctrica o de calor (Wedwitschka et al., 2023). Por lo tanto, se recomienda asociar a la mosca soldado negro al compostaje por sus beneficios como disminuir los costos en alimentos en animales como gallinas y sus residuos pueden usarse para la producción de biogás.

En tercer y último lugar, se propone la cosecha de aguas y lluvias. Una técnica que consiste en captar, derivar, conducir, almacenar y/o distribuir el agua proveniente de la lluvia a partir de la construcción y manejo de obras hidráulicas (FAO, 2013). En la actualidad se están desarrollando alternativas de bajo costo para generar cosecha de aguas lluvia ante escenarios de CC y la VC, dicha agua puede ser empleada para el consumo humano, animal y riego agrícola (FAO, 2013; López-Hernández et al., 2017), dado que la mayoría de los países en desarrollo tienen una amplia gama de limitaciones económicas, tecnológicas y de infraestructura (Mkonda, 2021).

Una de las modalidades más reconocidas y difundidas es la cosecha de agua de techos de vivienda y otras estructuras impermeables, que consiste en captar la escorrentía producida en superficies impermeables y de baja permeabilidad, tales como techos de vivienda, patios de tierra batida, superficies rocosas, hormigón, plástico, entre otros y almacenarla en tanques para ser usada durante días o meses prologados de sequía (FAO, 2013).



**ESTRATEGIAS AGROECOLÓGICAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CULTIVO DE CAFÉ ENFOCADO  
A PRODUCTORES DE LA COMUNIDAD CAFETERA DE TRUJILLO, VALLE DEL CAUCA**

## 8. CONCLUSIONES

### Del objetivo 1:

- De manera general, los pequeños y medianos productores de la comunidad cafetera de Trujillo son una población vulnerable al CC. Esto con base a los indicadores socioeconómicos encontrados para esta zona y a los obtenidos en las entrevistas a la FNC, entre los que se destacaron alta pobreza multidimensional, necesidades básicas insatisfechas, cambios de aptitud del cultivo de café e ingresos inferiores a 2 SMMLV, los cuales les permiten escasamente suplir necesidades básicas.
- Las cuatro fincas estudiadas en esta investigación fueron únicamente de medianos productores, con terrenos que van de 10 a 45 hectáreas, ingresos entre 2 y 3 SMMLV para el 2022, con buenos índices de producción de café (entre 725-1,500 kg/ha) y la mayoría eran profesionales universitarios.
- En la actualidad existen modelos predictivos que señalan que a partir del año 2030 en Colombia y Trujillo se presentarán pérdidas fuertes en cuanto a la aptitud del cultivo, en el caso del municipio se espera que la temperatura media aumente hasta 2°C y la precipitación anual hasta 11% por encima de los valores actuales.
- Entre los principales efectos que el CC y la VC provocan en el café son pérdidas en la floración, secado prematura del fruto e incrementos en los efectos de enfermedades plagas y enfermedades como la roya.

### Del objetivo 2:

- Dos de las cuatro fincas seleccionadas en esta investigación presentaron una baja resiliencia socio-ecológica y pocos elementos agroecológicos, hechos que hacen vulnerables a los cultivos de café ante CC.
- Asimismo, estas evaluaciones junto con la revisión de fuentes bibliográficas permitieron seleccionar como faro agroecológico a la finca Buenos Aires, la cual mostró beneficios por emplear prácticas agroecológicas como diversificación de ingresos, alta resiliencia socio-ecológica, baja dependencia de insumos, reciclaje de nutrientes, soberanía alimentaria y energética, costos ocultos, entre otros.

### Del objetivo 3:

- La agroforestería es considerada como la estrategia de adaptación al CC más importante por sus importantes beneficios para adaptar los agroecosistemas al CC tales como: reducir entre 3 a 5° la temperatura interna máxima diurna y las fluctuaciones de temperatura de los sistemas de café, incrementar la humedad relativa y disminuir la evapotranspiración ante periodos prolongados de sequía, disminuir la radiación solar, incrementar la materia orgánica y el microbioma del suelo y brindar servicios ecosistémicos que promueven el control biológico de plagas. Asimismo, entre las especies encontradas que pueden ser integradas al café en la región andina de Colombia fueron: *Cajanus cajan* (Guandul), *Crotalaria sagittalis* L. (Crotonaria), *Licania campestre* (Carbonero o calapo), *Erythrina eduli* (Balu o chachafruto), *Inga densiflora* Benth (Guamo macheto), *Cordia alliodora* (Nogal cafetero), *Pinus oocarpa* (Pino amarillo), *Eucalyptus grandis* (Eucalipto) y *Erythrina nodulan* (Cámbulo).

- La AbC como estrategia representa una oportunidad para incluir a las comunidades en la creación y ejecución de estrategias agroecológicas sostenibles a largo plazo, como consecuencia de que estas son elaboradas por la comunidad desde su contexto local. Lo anterior se logra a través de talleres que involucren metodologías de acción participativa como campesino a campesino, dado que con esta es posible establecer diálogos horizontales entre agricultores para el intercambio y dialogo de saberes.
- La diversificación de cultivos incrementa el crecimiento económico de las fincas debido a que se tiene varias fuentes de ingresos, mejora eficiencia en el uso de nutrientes del suelo, reduce la dependencia de insumos externos, mejora la nutrición de las plantas y regula de manera biológica plagas y arvenses. Entre las especies de cultivos encontradas que se pueden asociar al café se encuentran: *persea americana* (aguacate), *musa paradisiaca* (plátano), *phaseolus vulgaris* (Frijol) y *Zea Mays* (maíz).
- Para hacer un uso eficiente de los bienes naturales tales como el agua, la atmósfera y suelo ante el CC, es importante proveer prácticas como el compostaje, biodigestores y cosecha de aguas lluvias. Asimismo, se recomienda integrar al compostaje *Hermetia illucens* (Mosca soldado negro) ya que producen larvas que pueden ser empleadas como alimento para animales como gallinas y peses como fuente de proteína, son capaces de procesar diferentes tipos de biorresiduos crudos como el estiércol animal, residuos de alimentos, residuos vegetales, entre otros, sirven para el filtrado y tratamiento de aguas residuales en procesos de compostaje y se consideran una buena fuente para la producción biometano.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbass, K., Muhammad, ., Qasim, Z., Song, H., Murshed, . Muntasir, Mahmood, H., Younis, I., Qasim, M. Z., & Murshed, M. (1971). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 1, 3. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Adger, W. N., Arnell, N. W., & Tompkins, E. L. (2005). Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change*, 15(2), 77–86. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2004.12.005>
- Adhikari, M., Isaac, E. L., Paterson, R. R. M., & Maslin, M. A. (2020). A Review of Potential Impacts of Climate Change on Coffee Cultivation and Mycotoxigenic Fungi. *Microorganisms*, 8(10), 1–12. <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS8101625>
- Ahmed, S., Brinkley, S., Smith, E., Sela, A., Theisen, M., Thibodeau, C., Warne, T., Anderson, E., Van Dusen, N., Giuliano, P., Ionescu, K. E., & Cash, S. B. (2021). Climate Change and Coffee Quality: Systematic Review on the Effects of Environmental and Management Variation on Secondary Metabolites and Sensory Attributes of Coffea arabica and Coffea canephora. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.708013>
- Allegretti, G., Talamini, E., Schmidt, V., Bogorni, P. C., & Ortega, E. (2018). Insect as feed: An emergy assessment of insect meal as a sustainable protein source for the Brazilian poultry industry. *Journal of Cleaner Production*, 171, 403–412. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.09.244>
- Altieri, M. (2000). *Biodiversidad multifuncional en la agricultura tradicional latinoamericana*. LEISA. <https://leisa-al.org/web/index.php/volumen-15-numero-4-3/2397-biodiversidad-multifuncional-en-la-agricultura-tradicional-latinoamericana>
- Altieri, M. A. (2002). Agroecología: principios y estrategias para diseñar una agricultura que conserva recursos naturales y asegura la soberanía alimentaria. *Semillas*.
- Altieri, M. A. (2004). Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(1), 35–42. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0035:LEATFI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0035:LEATFI]2.0.CO;2)
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2012). Agroecología : única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia. *Agroecología*, 7(2).
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(1), 7–20. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2017). Estrategias agroecológicas para enfrentar el cambio climático. *LEISA*, 33 n° 2(1729–7419).
- Altieri, M. A., & Toledo, V. M. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants.

[Http://Dx.Doi.Org/10.1080/03066150.2011.582947](http://Dx.Doi.Org/10.1080/03066150.2011.582947),  
<https://doi.org/10.1080/03066150.2011.582947>

38(3),

587–612.

Altieri, M., Hecht, S., Liebman, M., Magdoff, F., Norgaard, R., & Sikor, T. O. (1999). *Bases científicas para una agricultura sustentable*.

Alzate, D., Rojas, E., Mosquera, J., & Ramón, J. (2015). CAMBIO CLIMÁTICO Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA. *Luna Azul*, 40. [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/syr/es/](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/)

Ávila, Á., Guerrero, F. C., Escobar, Y. C., & Justino, F. (2019). Recent Precipitation Trends and Floods in the Colombian Andes. *Water* 2019, Vol. 11, Page 379, 11(2), 379. <https://doi.org/10.3390/W11020379>

Aymoz, B. G. P., Randrianjafy, V. R., Randrianjafy, Z. J. N., & Khasa, D. P. (2013). Community management of natural resources: A case study from Ankarafantsika National Park, Madagascar. *Ambio*, 42(6), 767–775. <https://doi.org/10.1007/S13280-013-0391-9/TABLES/4>

Bagyaraj, D. J., Thilagar, G., Ravisha, C., Kushalappa, C. G., Krishnamurthy, K. N., & Vaast, P. (2015). Below ground microbial diversity as influenced by coffee agroforestry systems in the Western Ghats, India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 202, 198–202. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2015.01.015>

Barbier, E. B. (2005). Natural Resources and Economic Development. *Natural Resources and Economic Development*, 1–410. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511754036>

Bastianin, A., Lanza, A., & Manera, M. (2016). Economic Impacts of El Niño Southern Oscillation: Evidence from the Colombian Coffee Market. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/SSRN.2881239>

Battisti, D. S., & Naylor, R. L. (2009). Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science (New York, N.Y.)*, 323(5911), 240–244. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1164363>

Baum, L., Carnemark, M., Partin, D., & Tian, K. (2019). *Implications of Specialty Coffee Farming Costs in Colombia Master's Project Client: Coffee Manufactory, Califia Farms*.

Baumgärtner, S., & Quaas, M. F. (2010). Managing increasing environmental risks through agrobiodiversity and agrienvironmental policies. *Agricultural Economics*, 41(5), 483–496. <https://doi.org/10.1111/J.1574-0862.2010.00460.X>

Bejarano-Salcedo, V., Caicedo-García, E., Lizarazo-Bonilla, N. F., Julio-Román, J. M., & Cárdenas-Cárdenas, A. (2020). Hechos estilizados de la relación entre El niño, La Niña y la inflación en Colombia. *RePEc:Bdr:BoRec:1105*. <https://doi.org/10.32468/BE.1105>

Bell, S., & Morse, S. (2008). *Sustainability Indicators: Measuring the immeasurable* (Second). Earthscan and International Institute for Environment and development. <https://www.routledge.com/Sustainability-Indicators-Measuring-the-Immeasurable/Bell-Morse/p/book/9781844072996>

Benavides, H. O., & Rocha, C. E. (2012). *INDICADORES QUE MANIFIESTAN CAMBIOS EN EL SISTEMA CLIMÁTICO DE COLOMBIA (Años y décadas más calientes y las más y menos lluviosas)*.

- Berkes, F., & Turner, N. J. (2006). Knowledge, learning and the evolution of conservation practice for social-ecological system resilience. *Human Ecology*, 34(4), 479–494. <https://doi.org/10.1007/S10745-006-9008-2/FIGURES/1>
- Bhakta, J. N., & Rana, S. (2023). Organic Farming as a Potential Approach for Sustainable Agriculture. *Research Advancements in Organic Farming*, 19–32. <https://doi.org/10.52305/IKOK0802>
- Bilen, C., El Chami, D., Mereu, V., Trabucco, A., Marras, S., & Spano, D. (2023). A Systematic Review on the Impacts of Climate Change on Coffee Agrosystems. *Plants*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/plants12010102>
- Bonka. (2023). *Conoce los países productores de café | Bonka*. VIAJE POR LOS PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE CAFÉ. <https://www.bonka.es/amor-por-el-cafe/paises-productores-de-cafe>
- Bosselmann, A. S., Dons, K., Oberthur, T., Olsen, C. S., Ræbild, A., & Usma, H. (2009). The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129(1–3), 253–260. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2008.09.004>
- Burgiel, S. W., & Muir, A. A. (2010). *Invasive species, climate change and ecosystem-based adaptation: addressing multiple drivers of global change*. IUCN: International Union for Conservation of Nature.
- Cadena, G., & Bustamante, A. (2006). *Las enfermedades del café: logros y desafíos para la caficultura colombiana del siglo XXI*. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6479>
- Cadena Gómez, G., & Bustamante, A. G. (2006). *Las enfermedades del café: logros y desafíos para la caficultura colombiana del siglo XXI*. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6479>
- Calle, H. (1974). *Cómo producir gas combustible con pulpa de café*. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/749>
- Calzada, J. F., de Porres, E., Yurrita, A., de Arriola, M. C., de Micheo, F., Rolz, C., Menchú, J. F., & Cabello, A. (1984). Biogas production from coffee pulp juice: One- and two-phase systems. *Agricultural Wastes*, 9(3), 217–230. [https://doi.org/10.1016/0141-4607\(84\)90081-7](https://doi.org/10.1016/0141-4607(84)90081-7)
- Camargo, M. (2010). The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia*, 69(1), 239–247. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100030>
- Canchala, T., Ocampo-Marulanda, C., Alfonso-Morales, W., Carvajal-Escobar, Y., Cerón, W. L., & Caicedo-Bravo, E. (2022). Techniques for monthly rainfall regionalization in southwestern Colombia. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 94(4), e20201000. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220201000>
- Carvajal Escobar, Y. (2012). Efectos de la Variabilidad Climática (vc) y el Cambio Climático (cc) en los Recursos Hídricos de Colombia. *Entre Ciencia E Ingeniería*, 9.
- Cassamo, C. T., Draper, D., Romeiras, M. M., Marques, I., Chiulele, R., Rodrigues, M., Stalmans, M., Partelli, F. L., Ribeiro-Barros, A., & Ramalho, J. C. (2023). Impact of climate changes in the suitable areas for Coffea arabica L. production in Mozambique: Agroforestry as an alternative

- management system to strengthen crop sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 346. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2022.108341>
- Cecon, E. (2009). La revolución verde: tragedia en dos actos. *Ciencias*. [https://www.academia.edu/2680712/La\\_revoluci%C3%B3n\\_verde\\_tragedia\\_en\\_dos\\_actos](https://www.academia.edu/2680712/La_revoluci%C3%B3n_verde_tragedia_en_dos_actos)
- Centro Nacional de Memoria Historica. (2008). Trujillo: una tragedia que no cesa. In *Bogotá: Centro Nacional de Memoria de Histórica*. Banco de la República. [https://descubridor.banrepcultural.org/discovery/fulldisplay?docid=alma991017151064507486&context=L&vid=57BDLRDC\\_INST:57BDLRDC\\_INST&lang=es&search\\_scope=Colecciones\\_Bibliograficas&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=Colecciones\\_Virtuales&query=any,contains,Trujillo:%20una%20tragedia%20que%20no%20cesa](https://descubridor.banrepcultural.org/discovery/fulldisplay?docid=alma991017151064507486&context=L&vid=57BDLRDC_INST:57BDLRDC_INST&lang=es&search_scope=Colecciones_Bibliograficas&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=Colecciones_Virtuales&query=any,contains,Trujillo:%20una%20tragedia%20que%20no%20cesa)
- Cerda, R., Avelino, J., Gary, C., Tixier, P., Lechevallier, E., & Allinne, C. (2017). Primary and Secondary Yield Losses Caused by Pests and Diseases: Assessment and Modeling in Coffee. *PloS One*, 12(1). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0169133>
- Cerón, W. L., Carvajal-Escobar, Y., De Souza, R. V. A., Kayano, M. T., & López, N. G. (2020). Spatio-temporal analysis of the droughts in Cali, Colombia and their primary relationships with the El Nino-Southern Oscillation (ENSO) between 1971 and 2011. *Atmosfera*, 33(1), 51–69. <https://doi.org/10.20937/ATM.52639>
- Cerón, W. L., Kayano, M. T., Andreoli, R. V., Canchala, T., Carvajal-Escobar, Y., & Alfonso-Morales, W. (2021a). Rainfall Variability in Southwestern Colombia: Changes in ENSO-Related Features. *Pure and Applied Geophysics*, 178(3). <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02673-7>
- Cerón, W. L., Kayano, M. T., Andreoli, R. V., Canchala, T., Carvajal-Escobar, Y., & Alfonso-Morales, W. (2021b). Rainfall Variability in Southwestern Colombia: Changes in ENSO-Related Features. *Pure and Applied Geophysics*, 178(3), 1087–1103. <https://doi.org/10.1007/S00024-021-02673-7/METRICS>
- Chalchissa, F. B., Diga, G. M., Feyisa, G. L., & Tolossa, A. R. (2022). Impacts of extreme agroclimatic indicators on the performance of coffee (*Coffea arabica* L.) aboveground biomass in Jimma Zone, Ethiopia. *Heliyon*, 8(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10136>
- Chavarro, D., Vélez, I., Tovar, G., Montenegro, I., Hernández, A., & Olaya, A. (2017). *Los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia y el aporte de la ciencia, la tecnología y la innovación*.
- CIAT, & CVC. (2014). *Análisis de Vulnerabilidad para el Cultivo de Café Zona Norte del Valle del Cauca*. [www.ciat.cgiar.org](http://www.ciat.cgiar.org)
- Clayton, A. M. H., & Radcliffe, N. J. (2018). Sustainability: A systems approach. *Sustainability: A Systems Approach*, 1–257. <https://doi.org/10.4324/9781315070711/SUSTAINABILITY-TONY-CLAYTON-NICHOLAS-RADCLIFFE>
- Coltri, P. P., Pinto, H. S., Gonçalves, R. R. do V., Zullo Junior, J., & Dubreuil, V. (2019). Low levels of shade and climate change adaptation of Arabica coffee in southeastern Brazil. *Heliyon*, 5(2), 1263. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01263>

- DaMatta, F. M. (2004). Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*, 86(2–3), 99–114. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2003.09.001>
- DaMatta, F. M., & Cochicho Ramalho, J. D. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: A review. In *Brazilian Journal of Plant Physiology* (Vol. 18, Issue 1). <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>
- DANE. (2005). *Censo general 2005*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-general-2005-1>
- Datta, D., Chattopadhyay, R. N., & Guha, P. (2012). Community based mangrove management: A review on status and sustainability. *Journal of Environmental Management*, 107, 84–95. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2012.04.013>
- De Bertoldi, M. (2010). Production and utilization of suppressive compost: Environmental, food and health benefits. *Microbes at Work: From Wastes to Resources*, 153–170. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-04043-6\\_8/COVER](https://doi.org/10.1007/978-3-642-04043-6_8/COVER)
- de Carvalho, A. F., Fernandes-Filho, E. I., Daher, M., Gomes, L. de C., Cardoso, I. M., Fernandes, R. B. A., & Schaefer, C. E. G. R. (2021). Microclimate and soil and water loss in shaded and unshaded agroforestry coffee systems. *Agroforestry Systems*, 95(1), 119–134. <https://doi.org/10.1007/S10457-020-00567-6/TABLES/5>
- Dowie, M. (2002). *American Foundations An Investigative History*. <https://mitpress.mit.edu/9780262541411/american-foundations/>
- Ehrenbergerová, L., Cienciala, E., Kučera, A., Guy, L., & Habrová, H. (2016). Carbon stock in agroforestry coffee plantations with different shade trees in Villa Rica, Peru. *Agroforestry Systems*, 90(3), 433–445. <https://doi.org/10.1007/S10457-015-9865-Z/FIGURES/5>
- El País. (2018, April 29). El trago amargo de los cafeteros del Valle por los bajos precios. *El Trago Amargo de Los Cafeteros Del Valle Por Los Bajos Precios*. <https://www.elpais.com.co/economia/el-trago-amargo-de-los-cafeteros-del-valle-por-los-bajos-precios.html>
- Enciso, A. M., Carvajal-Escobar, Y., & Sandoval, M. C. (2016). Hydrological analysis of historical floods in the upper valley of Cauca river. *Ingeniería y Competitividad*, 18(1), 47–58. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-30332016000100005&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30332016000100005&lng=en&nrm=iso&tlng=en)
- Escalera Reyes, J., & Ruiz Ballesteros, E. (2011). Resiliencia socioecológica: Aportaciones y retos desde la antropología. *Revista de Antropología Social*, 20(1). [https://doi.org/10.5209/rev\\_raso.2011.v20.36264](https://doi.org/10.5209/rev_raso.2011.v20.36264)
- ETC Group. (2009). ¿Quién nos alimentará? *ETC Group*, 102. [www.etcgroup.org](http://www.etcgroup.org)
- FAO. (1996, November 13). *Enseñanzas de la revolución verde: hacia una nueva revolución verde*. CUMBRE MUNDIAL SOBRE LA ALIMENTACION. <https://www.fao.org/3/w2612s/w2612s06.htm>

- FAO. (2013). *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. [www.rlc.fao.org](http://www.rlc.fao.org)
- FAO. (2017). El futuro de la alimentación y la agricultura. Tendencias y desafíos- Panorama general. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura (FAO)*.
- FAO. (2019). The 10 elements of Agroecology Guiding the transition to sustainable food and agricultural systems. In *Fao*.
- Farfán, F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4213>
- Ferguson, B. G., Morales, H., Rojas, A. G., Pérez, F. de J. Í., Torres, M. E. M., McAfee, K., Nigh, R., Perfecto, I., Philpott, S. M., Pinto, L. S., Vandermeer, J., Vidal, R. M., Romero, L. E. Á., Bernardino, H., & Reyes, R. R. (2009). La soberanía alimentaria: Cultivando nuevas alianzas entre campo, bosque y ciudad. *Agroecología*, 4, 49–58. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/117181>
- Fernandes, I., Marques, I., Paulo, O. S., Batista, D., Partelli, F. L., Lidon, F. C., Damatta, F. M., Ramalho, J. C., & Ribeiro-Barros, A. I. (2021). Understanding the impact of drought in coffee genotypes: Transcriptomic analysis supports a common high resilience to moderate water deficit but a genotype dependent sensitivity to severe water deficit. *Agronomy*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/agronomy11112255>
- Flórez, C. P., Maldonado, C. E., Cortina, H. A., Moncada, M. del P., Montoya, E. C., Ibarra, L. N., Unigarro, C. A., Rendón, J. R., & Orrego, H. D. (2016). Cenicafé 1: Nueva variedad de porte bajo altamente productiva resistente a la roya y al CBD con mayor calidad física del grano. *Avances Técnicos Cenicafé*, 469, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0469>
- FNC. (2016, December 30). 83 CONGRESO NACIONAL DE CAFETEROS. 83 CONGRESO NACIONAL DE CAFETEROS.
- FNC. (2021a). *Informe de Gestión 2021*. <https://doi.org/10.38141/10793>
- FNC. (2021b). Ensayos sobre ECONOMÍA CAFETERA . *Ensayos Sobre ECONOMÍA CAFETERA* , 34(1). <https://federaciondecafeteros.org>
- FNC. (2023a). *Café del Valle del Cauca* . <https://valle.federaciondecafeteros.org/cafe-de-cauca/>
- FNC. (2023b). *Cafés especiales - Federación Nacional de Cafeteros*. <https://federaciondecafeteros.org/wp/programas/cafes-especiales/>
- Fonseca Carreño, N. E. (2021). Agroecology and eco-agriculture, sustainable strategies in peasant farming systems | La agroecología y la ecoagricultura, estrategias sustentables en los sistemas de producción campesina. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 18. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr18.aees>
- Fox, T., Pope, M., & Ellis, E. C. (2017). Engineering the Anthropocene: Scalable social networks and resilience building in human evolutionary timescales. *The Anthropocene Review*, 4(3), 199–215. <https://doi.org/10.1177/2053019617742415>

- Galli, C. S., Abe, D. S., González-Piana, M., Juri, S. D. G., Piccardo, A., Cuevas, J., & Marquiza, G. C. (2022). Implementación de la técnica de medición y primer registro de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) en la interfase sedimento-agua en el embalse Rincón del Bonete, Uruguay. *INNOTECH*, 23(23 ene-jun), e582. <https://doi.org/10.26461/23.01>
- Garavito-Calderon, N. (2021). Factores claves para la adaptación al cambio climático de los caficultores colombianos. *Gestión y Ambiente*, 24(1), 90509. <https://doi.org/10.15446/ga.v24n1.90509>
- García, J. C., Laderach, P., & Posada, H. E. (2018). *Valoración del cambio de aptitud del cultivo de café en Colombia por variación en los escenarios climáticos futuros*. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/1095>
- García, R. (2013). Investigación interdisciplinaria de sistemas complejos: lecciones del cambio climático. *INTER DISCIPLINA*, 1(1). <https://doi.org/10.22201/CEIICH.24485705E.2013.1.46545>
- Giraldo, O. F. (2022). *Multitudes Agroecológicas*. 1–242.
- Giraldo, O. F., & Rosset, P. M. (2016). La agroecología en una encrucijada: entre la institucionalidad y los movimientos sociales. *Guaju*, 2(1), 14–37. <https://doi.org/10.5380/GUAJU.V2I1.48521>
- Giraldo, O. F., & Rosset, P. M. (2021). Principios sociales de las agroecologías emancipadoras. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 58. <https://doi.org/10.5380/dma.v58i0.77785>
- Gliessman, S. (2000). *The Ecological Foundations of Agroecosystem Sustainability*. <https://doi.org/10.1201/9781420041514.sec1>
- Gliessman, S. R., Guadarrama-Zugasti, C., Mendez, V. E., Trujillo, L., Bacon, C., & Cohen, R. (2006). "AGROECOLOGÍA: UN ENFOQUE SUSTENTABLE DE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA" ¿QUÉ ES LA AGROECOLOGÍA?
- Gomes, L. C., Bianchi, F. J. J. A., Cardoso, I. M., Fernandes, R. B. A., Filho, E. I. F., & Schulte, R. P. O. (2020a). Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: A spatially explicit assessment in Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 294. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106858>
- Gomes, L. C., Bianchi, F. J. J. A., Cardoso, I. M., Fernandes, R. B. A., Filho, E. I. F., & Schulte, R. P. O. (2020b). Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: A spatially explicit assessment in Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 294, 106858. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2020.106858>
- Gómez, L., Caballero, A., & Baldión, J. V. (1991). Ecotopos cafeteros de Colombia. *Cenicafé, Agroclimatología. División de Desarrollo Social*.
- Gómez-Cardona, S. (2012). Las tensiones de los mercados orgánicos para los caficultores colombianos: El caso del Valle del Cauca. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 9(68), 65–85. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-14502012000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-14502012000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- González, L., & Olaya, Y. (2012). *FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES*. Universidad Nacional de Colombia.

- GRAIN. (2012). "El gran robo de los alimentos", un nuevo libro de GRAIN. <https://grain.org/es/article/4511-el-gran-robo-de-los-alimentos-un-nuevo-libro-de-grain>
- Grossule, V., Fang, D., Yue, D., & Lavagnolo, M. C. (2022). Treatment of wastewater using black soldier fly larvae, under different degrees of biodegradability and oxidation of organic content. *Journal of Environmental Management*, 319, 115734. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.115734>
- Guerrero-Carrera, J., Jaramillo-Villanueva, J. L., Mora-Rivera, J., Bustamante-González, Á., Vargas-López, S., & Chulim-Estrella, N. (2020). Impact of climate change on coffee production | Impacto del cambio climático sobre la producción de café. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(3).
- Gutierrez Cedillo, J. G., Aguilera Gomez, L. I., & González Esquivel, C. E. (2008). Agroecología y sustentabilidad. *Convergencia [Online]*, 15(46), 51–87. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-14352008000100004&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-14352008000100004&script=sci_abstract)
- Gutiérrez, E., & Rosero, A. (2019). *PLAN DE DESARROLLO COMUNAL Y COMUNITARIO TRUJILLO, VALLE DEL CAUCA*.
- Haddeland, I., Heinke, J., Biemans, H., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Konzmann, M., Ludwig, F., Masaki, Y., Schewe, J., Stacke, T., Tessler, Z. D., Wada, Y., & Wisser, D. (2014). Global water resources affected by human interventions and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(9), 3251–3256. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1222475110/-/DCSUPPLEMENTAL>
- Hai, N. T., Dell, B., Phuong, V. T., & Harper, R. J. (2020). Towards a more robust approach for the restoration of mangroves in Vietnam. *Annals of Forest Science*, 77(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/S13595-020-0921-0/TABLES/6>
- Harrington, L. W. (1992). *Measuring sustainability: Issues and alternatives*. <https://doi.org/10.3/JQUERY-UI.JS>
- Hennig, T. B., Bandeira, F. O., Puerari, R. C., Fraceto, L. F., & Matias, W. G. (2023). A systematic review of the toxic effects of a nanopesticide on non-target organisms: Estimation of protective concentrations using a species sensitivity distribution (SSD) approach – The case of atrazine. *Science of the Total Environment*, 871. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.162094>
- Hernández-Sarabia, M., Sierra-Silva, J., Delgadillo-Mirquez, L., Ávila-Navarro, J., & Carranza, L. (2021). The Potential of the Biodigester as a Useful Tool in Coffee Farms. *Applied Sciences* 2021, Vol. 11, Page 6884, 11(15), 6884. <https://doi.org/10.3390/APP11156884>
- Huang, W., Gao, Q.-X., Cao, G., Ma, Z.-Y., Zhang, W.-D., & Chao, Q.-C. (2017). Effect of urban symbiosis development in China on GHG emissions reduction. *Advances in Climate Change Research*. [https://www.scipedia.com/public/Huang\\_et\\_al\\_2017a](https://www.scipedia.com/public/Huang_et_al_2017a)
- Ibañez, M., & Blackman, A. (2015). *Environmental and Economic Impacts of Growing Certified Organic Coffee in Colombia*. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9513>

- IDEAM. (2015). *Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables 2014*. [http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=37892&shelfbrowse\\_itemnumber=39423](http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=37892&shelfbrowse_itemnumber=39423)
- IICA, Beltran, L. R., Marquez, J., & Bosco Pinto, J. (1971). *La revolución verde y el desarrollo rural latinoamericano* (IICA, Ed.). IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/10335>
- Infante L., A. (2015). Los faros agroecológicos.: Definición y caracterización a partir de una experiencia de reconstrucción rural en el secano de Chile central. *Agroecología*, ISSN 1887-1941, ISSN-e 1989-4686, Vol. 10, Nº. 1, 2015, Págs. 73-78, 10(1), 73–78. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6064095&info=resumen&idioma=ENG>
- Infobae. (2023, January 5). Producción anual de café de Colombia cerró 2022 con una caída de 12 % - Infobae. *Producción Anual de Café de Colombia Cerró 2022 Con Una Caída de 12 %*. <https://www.infobae.com/america/colombia/2023/01/05/produccion-anual-de-cafe-de-colombia-cerro-2022-con-una-caida-de-12/>
- IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. In ... *de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra: ....
- IPCC. (2021). Climate Change 2021—The Physical Science Basis. *Chemistry International*, 43(4). <https://doi.org/10.1515/ci-2021-0407>
- Iscaro, J. (2014). The Impact of Climate Change on Coffee Production in Colombia and Ethiopia. *Global Majority E-Journal*, 5(1), 33–43.
- Isibika, A., Simha, P., Vinnerås, B., Zurbrügg, C., Kibazohi, O., & Lalander, C. (2023). Food industry waste - An opportunity for black soldier fly larvae protein production in Tanzania. *Science of the Total Environment*, 858. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.159985>
- Isibika, A., Vinnerås, B., Kibazohi, O., Zurbrügg, C., & Lalander, C. (2021). Co-composting of banana peel and orange peel waste with fish waste to improve conversion by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Journal of Cleaner Production*, 318. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.128570>
- Jaramillo, J., Chabi-Olaye, A., Kamongo, C., Jaramillo, A., Vega, F. E., Poehling, H. M., & Borgemeister, C. (2009). Thermal tolerance of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*: Predictions of climate change impact on a tropical insect pest. *PLoS ONE*, 4(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006487>
- Jaramillo, J., Setamou, M., Muchugu, E., Chabi-Olaye, A., Jaramillo, A., Mukabana, J., Maina, J., Gathara, S., & Borgemeister, C. (2013). Climate Change or Urbanization? Impacts on a Traditional Coffee Production System in East Africa over the Last 80 Years. *PLOS ONE*, 8(1), e51815. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0051815>
- JARAMILLO R., A., & GOMEZ G., L. (1989). *Microclima en cafetales a libre exposición solar y bajo sombra*. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/808>
- Jaramillo-Robledo, Á. (2005). *Clima andino y café en Colombia*.

- Jat, M., Dohling, P. N. K., Ahuja, A., & Singh, J. (2021). Effect of Pesticides on Soil Ecosystem Services and Processes. *Indian Journal of Entomology*, 84(4), 1–10. <https://doi.org/10.55446/IJE.2021.5>
- Jawo, T. O., Kyereh, D., & Lojka, B. (2022). The impact of climate change on coffee production of small farmers and their adaptation strategies: a review. <https://doi.org/10.1080/17565529.2022.2057906>
- Jezeer, R. E., Santos, M. J., Verweij, P. A., Boot, R. G. A., & Clough, Y. (2019). Benefits for multiple ecosystem services in Peruvian coffee agroforestry systems without reducing yield. *Ecosystem Services*, 40, 101033. <https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2019.101033>
- Jha, S., Bacon, C. M., Philpott, S. M., Méndez, V. E., Läderach, P., & Rice, R. A. (2014). Shade Coffee: Update on a Disappearing Refuge for Biodiversity. *BioScience*, 64(5), 416–428. <https://doi.org/10.1093/BIOSCI/BIU038>
- Kawasaki, K., Hashimoto, Y., Hori, A., Kawasaki, T., Hirayasu, H., Iwase, S. I., Hashizume, A., Ido, A., Miura, C., Miura, T., Nakamura, S., Seyama, T., Matsumoto, Y., Kasai, K., & Fujitani, Y. (2019). Evaluation of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae and Pre-Pupae Raised on Household Organic Waste, as Potential Ingredients for Poultry Feed. *Animals* 2019, Vol. 9, Page 98, 9(3), 98. <https://doi.org/10.3390/ANI9030098>
- Kellermann, J. L., Johnson, M. D., Stercho, A. M., & Hackett, S. C. (2008). Ecological and Economic Services Provided by Birds on Jamaican Blue Mountain Coffee Farms. *Conservation Biology*, 22(5), 1177–1185. <https://doi.org/10.1111/J.1523-1739.2008.00968.X>
- Kellert, S. R., Mehta, J. N., Ebbin, S. A., & Lichtenfeld, L. L. (2010). Community Natural Resource Management: Promise, Rhetoric, and Reality. <http://dx.doi.org/10.1080/089419200750035575>, 13(8), 705–715. <https://doi.org/10.1080/089419200750035575>
- Konapala, G., Mishra, A. K., Wada, Y., & Mann, M. E. (2020). Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16757-w>
- Koohafkan, P., Altieri, M. A., & Holt Gimenez, E. (2012). Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. <http://dx.doi.org/10.1080/14735903.2011.610206>, 10(1), 61–75. <https://doi.org/10.1080/14735903.2011.610206>
- Koutouleas, A., Jørgen Lyngs Jørgensen, H., Jensen, B., Lillesø, J. P. B., Junge, A., & Ræbild, A. (2019). On the hunt for the alternate host of *Hemileia vastatrix*. *Ecology and Evolution*, 9(23), 13619–13631. <https://doi.org/10.1002/ECE3.5755>
- Koutouleas, A., Sarzynski, T., Bertrand, B., Bordeaux, M., Bosselmann, A. S., Campa, C., Etienne, H., Turreira-García, N., Lérán, S., Markussen, B., Marraccini, P., Ramalho, J. C., Vaast, P., & Ræbild, A. (2022). Shade effects on yield across different *Coffea arabica* cultivars — how much is too much? A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(4). <https://doi.org/10.1007/S13593-022-00788-2>

- Koutouleas, A., Sarzynski, T., Bordeaux, M., Bosselmann, A., Campa, C., Etienne, H., Turreira-García, N., Rigal, C., Vaast, P., Ramalho, C., Marraccini, P., & Ræbild, A. (2022). Shaded-Coffee: A Nature-Based Strategy for Coffee Production Under Climate Change? A Review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2022.877476>
- Kremen, C., & Miles, A. (2012). Ecosystem Services in Biologically Diversified versus Conventional Farming Systems: Benefits, Externalities, and Trade-Offs. *Ecology and Society*, Published Online: Dec 18, 2012 | Doi:10.5751/ES-05035-170440, 17(4). <https://doi.org/10.5751/ES-05035-170440>
- Kumar Giri, A. (2002). The calling of a creative transdisciplinarity. *Futures*, 34(1), 103–115. [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(01\)00038-6](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(01)00038-6)
- La Via Campesina. (2003, January 15). *Qué significa soberanía alimentaria? - Via Campesina*. <https://viacampesina.org/es/quignifica-soberanalimentaria/>
- Läderach, P., Hagggar, J., Lau, C., Eitzinger, A., Ovalle, O., Baca, M., Jarvis, A., & Lundy, M. (2013). Mesoamerican Coffee : Building a Climate Change Adaptation Strategy. *International Center for Tropical Agriculture*, 1(2).
- Lalander, C., Diener, S., Zurbrügg, C., & Vinnerås, B. (2019). Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Journal of Cleaner Production*, 208, 211–219. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.10.017>
- Láñez, E. (2007). *Más allá de la revolución verde: un papel para la biotecnología*. <https://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/agricultura.htm>
- León-Sicard, T., Prager, M. S. de, Rojas, L. J., Ortiz, J. C., Alviar, J. A. B., Osorio, Á. A., & Leiton, A. A. (2015a). Hacia una historia de la agroecología en Colombia. *Agroecología*, 10(2), 39–53. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300811>
- León-Sicard, T., Prager, M. S. de, Rojas, L. J., Ortiz, J. C., Alviar, J. A. B., Osorio, Á. A., & Leiton, A. A. (2015b). Hacia una historia de la agroecología en Colombia. *Agroecología*, 10(2), 39–53. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300811>
- Li, J., Xi, M., Wang, L., Li, N., Wang, H., & Qin, F. (2022). Vegetation Responses to Climate Change and Anthropogenic Activity in China, 1982 to 2018. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(12), 7391. <https://doi.org/10.3390/ijerph19127391>
- Lin, B. B. (2007). Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 144(1–2), 85–94. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2006.12.009>
- Lin, B. B. (2011). Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change. *BioScience*, 61(3), 183–193. <https://doi.org/10.1525/BIO.2011.61.3.4>
- Lin, B. B., Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2008). Synergies between Agricultural Intensification and Climate Change Could Create Surprising Vulnerabilities for Crops. *BioScience*, 58(9), 847–854. <https://doi.org/10.1641/B580911>

- Lipper, L., Cavatassi, R., Symons, R., Gordes, A., & Page, O. (2022). *IFAD Research Series 85: Financing climate adaptation and resilient agricultural livelihoods*. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.322020>
- López, J. (2017). 90 Years. Colombian Coffee: Growing for the Future. Medellín, National federation of Coffee Growers of Colombia. *Federación Nacional de Cafeteros 1927-2017, 90 Años. Vivir El Café y Sembrar El Futuro*, 31–60. <http://repository.eafit.edu.co/handle/10784/25301>
- López, O. L. O., & Alvarez-Herrera, L. M. (2017). Trend in Coffee Production and Consumption in Colombia. *Apuntes Del Cenes*, 36(64), 139–165. <https://doi.org/10.19053/01203053.V36.N64.2017.5419>
- López, V. G., Giraldo, O. F., Morales, H., Rosset, P., & Duarte, J. M. (2021). Escalamiento horizontal y profundo de la agroecología: lecciones de dos organizaciones defensoras de la soberanía de semillas en Colombia. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 58(0), 622–641. <https://doi.org/10.5380/DMA.V58I0.81497>
- López-Hernández, N. A., Palacios-Vélez, O. L., Anaya-Garduño, M., Chávez-Morales, J., Rubiños-Panta, J. E., García-Carrillo, M., López-Hernández, N. A., Palacios-Vélez, O. L., Anaya-Garduño, M., Chávez-Morales, J., Rubiños-Panta, J. E., & García-Carrillo, M. (2017). Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: alternativa de abastecimiento hídrico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1433–1439. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342017000601433&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000601433&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Magrin, G. O. (2015). *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/39842>
- Mairura, F. S., Musafiri, C. M., Kiboi, M. N., Macharia, J. M., Ng'etich, O. K., Shisanya, C. A., Okeyo, J. M., Mugendi, D. N., Okwuosa, E. A., & Ngetich, F. K. (2021). Determinants of farmers' perceptions of climate variability, mitigation, and adaptation strategies in the central highlands of Kenya. *Weather and Climate Extremes*, 34, 100374. <https://doi.org/10.1016/J.WACE.2021.100374>
- Mandal, A., Sarkar, B., Mandal, S., Vithanage, M., Patra, A. K., & Manna, M. C. (2020). Impact of agrochemicals on soil health. *Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation: Pesticides and Chemical Fertilizers*, 161–187. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-103017-2.00007-6>
- Martí, J. (2008). *Biodigestores familiares; guía de diseño y manual de instalación*.
- Martínez, R., Zambrano, E., López, J. J. N., Hernández, J., & Costa, F. (2017). Evolución, vulnerabilidad e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina. *Investigaciones Geográficas*, 68, 65–78. <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.04>
- Martínez-Centeno, A. L., & Huerta Sobalvarro, K. K. (2018). La revolución verde. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 4(8), 1040–1052. <https://doi.org/10.5377/RIBCC.V4I8.6717>
- Mata Suarez, J. A. (2022). Aprovechamiento de la pulpa de café como medio para producir biogás. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2022-July*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.708>

- Maxwell, S. L., Cazalis, V., Dudley, N., Hoffmann, M., Rodrigues, A. S. L., Stolton, S., Visconti, P., Woodley, S., Kingston, N., Lewis, E., Maron, M., Strassburg, B. B. N., Wenger, A., Jonas, H. D., Venter, O., & Watson, J. E. M. (2020). Area-based conservation in the twenty-first century. *Nature* 2020 586:7828, 586(7828), 217–227. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2773-z>
- McCord, P. F., Cox, M., Schmitt-Harsh, M., & Evans, T. (2015). Crop diversification as a smallholder livelihood strategy within semi-arid agricultural systems near Mount Kenya. *Land Use Policy*, 42, 738–750. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2014.10.012>
- Meena, R. S., Kumar, S., Datta, R., Lal, R., Vijayakumar, V., Brtnicky, M., Sharma, M. P., Yadav, G. S., Jhariya, M. K., Jangir, C. K., Pathan, S. I., Dokulilova, T., Pecina, V., & Marfo, T. D. (2020). Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: A review. *Land*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/LAND9020034>
- Mehjin, A.-A., Hmoshi, R., Ibtiha, K., & Abdullah, T. (2019). Effect of pesticides on soil microorganisms. *Journal of Physics: Conference Series*, 1294(7), 072007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1294/7/072007>
- Merle, I., Villarreyna-Acuña, R., Ribeyre, F., Rounsard, O., Cilas, C., & Avelino, J. (2022). Microclimate estimation under different coffee-based agroforestry systems using full-sun weather data and shade tree characteristics. *European Journal of Agronomy*, 132, 126396. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2021.126396>
- MinAgricultura. (2017). *Lineamientos estratégicos de política pública para la Agricultura Campesina, Familiar y Comunitaria*. Resolución 464 Del 2017.
- Mkonda, M. Y. (2021). The underway to pragmatic implementations of sustainable and intensive agricultural systems in Tanzania. *Environmental and Sustainability Indicators*, 11, 100117. <https://doi.org/10.1016/J.INDIC.2021.100117>
- Moguel, P., & Toledo, V. M. (1999). Biodiversity Conservation in Traditional Coffee Systems of Mexico. *Conservation Biology*, 13(1), 11–21. <https://doi.org/10.1046/J.1523-1739.1999.97153.X>
- Momtaz, A. M., Choobchian, S., & Farhadian, H. (2020). Factors affecting farmers' perception and adaptation behavior in response to climate change in Hamedan province, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22(4), 905–917.
- Montero, M. (2019, December 31). La incansable lucha de una monja para que las víctimas de una masacre en Colombia no caigan en el olvido. *EL PAÍS*. [https://elpais.com/elpais/2019/12/06/planeta\\_futuro/1575640738\\_623610.html](https://elpais.com/elpais/2019/12/06/planeta_futuro/1575640738_623610.html)
- Morais, H., Caramori, P. H., De Arruda Ribeiro, A. M., Gomes, J. C., & Koguishi, M. S. (2006). Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(5), 763–770. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000500007>
- Morales, L. V., Robiglio, V., Baca, M., Bunn, C., & Reyes, M. (2022). Planning for Adaptation: A System Approach to Understand the Value Chain's Role in Supporting Smallholder Coffee Farmers' Adaptive Capacity in Peru. *Frontiers in Climate*, 4. <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.788369>

- Muschler, R. G. (2001). Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 51(2), 131–139. <https://doi.org/10.1023/A:1010603320653/METRICS>
- Muschler, R. G. (2004). Shade Management and its Effect on Coffee Growth and Quality. *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers*, 391–418. <https://doi.org/10.1002/9783527619627.CH14>
- Nachmany, M., Byrnes, R., & Surminski, S. (2019). *Policy brief National laws and policies on climate change adaptation: a global review*. [www.climate-laws.org](http://www.climate-laws.org)
- Newton, L., Sheppard, C., Watson, D. W., & Burtle, G. (2005). *USING THE BLACK SOLDIER FLY, Hermetia illucens, AS A VALUE-ADDED TOOL FOR THE MANAGEMENT OF SWINE MANURE*.
- Nicholls, C. I., Henao, A., & Altieri, M. A. (2015). Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agroecología*, 10(1), 7–31. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300711>
- Nilsson, P., Bommarco, R., Hansson, H., Kuns, B., & Schaak, H. (2022). Farm performance and input self-sufficiency increases with functional crop diversity on Swedish farms. *Ecological Economics*, 198, 107465. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2022.107465>
- Noguera, I. (2017, June 28). Desde el campo caleño sale café a mercado externo. *EL TIEMPO*. <https://www.eltiempo.com/colombia/cali/produccion-de-cafe-en-cali-y-el-valle-del-cauca-102888#:~:text=Al%20a%C3%B1o%20850.000%20sacos%2C%20tenemos,muchos%20productores%20con%20sus%20marcas.>
- Nyakeri, E. M., Ogola, H. J. O., Ayieko, M. A., & Amimo, F. A. (2017). Valorisation of organic waste material: Growth performance of wild black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on different organic wastes. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(3), 193–202. <https://doi.org/10.3920/JIFF2017.0004>
- Oad, V. K., Szymkiewicz, A., Khan, N. A., Ashraf, S., Nawaz, R., Elnashar, A., Saad, S., & Qureshi, A. H. (2023). Time series analysis and impact assessment of the temperature changes on the vegetation and the water availability: A case study of Bakun-Murum Catchment Region in Malaysia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 29, 100915. <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2022.100915>
- Ocampo, O. L., Castañeda, K., & Vélez, J. J. (2017). Caracterización de los ecotopos cafeteros colombianos. *Perspectiva Geográfica*, 22(1).
- OCMAL. (2023). *¿Qué es extractivismo? | Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina*. <https://www.ocmal.org/ique-es-extractivismo/#>
- Oliosí, G., Antonio, J., Giles, D., Pereira Rodrigues, W., Ramalho, J. C., & Partelli, F. L. (2016). Microclimate and development of *Coffea canephora* cv. Conilon under different shading levels promoted by Australian cedar (*Toona ciliata* M. Roem. var. *Australis*). *528 AJCS*, 10(4), 528–538. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.04.p7295x>
- ONU. (2016). *The Millennium Development Goals Report 2015*. <https://doi.org/10.18356/6CD11401-EN>

- Orús, A. (2023, February 17). *Principales productores de café del mundo en 2022* | Statista. Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/600243/ranking-de-los-principales-productores-de-cafe-a-nivel-mundial/>
- Osorio-Vega, N. (2009). Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. *Materia Orgánica Biología Del Suelo y Productividad Agrícola: Segundo Seminario Regional Comité Regional Eje Cafetero*, 43–71. [https://doi.org/10.38141/10791/0003\\_3](https://doi.org/10.38141/10791/0003_3)
- Ostos-Ortiz, O.-L., & Aparicio-Gómez, O.-Y. (2020). *Interdisciplinariedad*. Universidad Santo Tomas. <https://doi.org/10.15332/DT.INV.2020.02640>
- Owuor, M. A., Icely, J., & Newton, A. (2019). Community perceptions of the status and threats facing mangroves of Mida Creek, Kenya: Implications for community based management. *Ocean & Coastal Management*, 175, 172–179. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2019.03.027>
- Panhuysen, S., & Pierrot, J. (2014). Barómetro de Café 2014. *FNC*. <http://hivos.org/>
- Parada-Molina, P. C., Cerdán, C. R., Ortiz Ceballos, G., Barradas Miranda, V. L., Cervantes-Pérez, J., Parada-Molina, P. C., Cerdán, C. R., Ortiz Ceballos, G., Barradas Miranda, V. L., & Cervantes-Pérez, J. (2020). Hemileia vastatrix: una prospección ante el cambio climático. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(3). <https://doi.org/10.19136/ERA.A7N3.2507>
- Partelli, F. L., Araújo, A. V., Vieira, H. D., Dias, J. R. M., de Menezes, L. F. T., & Ramalho, J. C. (2014). Microclimate and development of “Conilon” coffee intercropped with rubber trees. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(11), 872–881. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001100006>
- Patel, R. (2013). The Long Green Revolution. *Journal of Peasant Studies*, 40(1), 1–63. <https://doi.org/10.1080/03066150.2012.719224>
- Pathak, H. (2022). Impact, adaptation, and mitigation of climate change in Indian agriculture. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(1). <https://doi.org/10.1007/S10661-022-10537-3>
- Patiño-González, M., Sadeghian-Khalajabadi, S., & Montoya-Restrepo, E. (2006). *Caracterización de la fertilidad del suelo de la zona cafetera del Valle del Cauca mediante registros históricos*. 57(1), 7–16. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/182>
- Peng, Y., Xu, Z., Wei, P., & Cheng, L. (2022). Smallholder farmers’ behavioral preferences under the impact of climate change: A comparative analysis of two agricultural areas in China. *Frontiers in Earth Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/FEART.2022.1010733>
- Pengue, W. A. (2009). Cuestiones económico-ambientales de las transformaciones agrícolas en las pampas. *Problemas Del Desarrollo*, 40(157), 137–161. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0301-70362009000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362009000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Perez-Cassarino, J., & Bezerra, I. (2016). *Soberania Alimentar (SOBAL) e Segurança Alimentar e Nutricional (SAN) na América Latina e Caribe* (Julian Perez-Cassarino & Islandia Bezerra, Eds.; 1st ed.). Editora da UFPR.

[https://www.researchgate.net/publication/322643794\\_Soberania\\_Alimentar\\_SOBAL\\_e\\_Seguranca\\_Alimentar\\_e\\_Nutricional\\_SAN\\_na\\_America\\_Latina\\_e\\_Caribe](https://www.researchgate.net/publication/322643794_Soberania_Alimentar_SOBAL_e_Seguranca_Alimentar_e_Nutricional_SAN_na_America_Latina_e_Caribe)

- Perfecto, I., Rice, R. A., Greenberg, R., & Van Der Voort, M. E. (1996). Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity: Shade coffee plantations can contain as much biodiversity as forest habitats. *BioScience*, 46(8), 598–608. <https://doi.org/10.2307/1312989/2/46-8-598.PDF.GIF>
- Perfecto, I., Vandermeer, J., Mas, A., & Pinto, L. S. (2005). Biodiversity, yield, and shade coffee certification. *Ecological Economics*, 54(4), 435–446. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2004.10.009>
- Perfecto, I., Vandermeer, J., & Philpott, S. M. (2014). Complex Ecological Interactions in the Coffee Agroecosystem. <https://doi.org/10.1146/Annurev-Ecolsys-120213-091923>, 45, 137–158. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ECOLSYS-120213-091923>
- Pham, Y., Reardon-Smith, K., Mushtaq, S., & Cockfield, G. (2019). The impact of climate change and variability on coffee production: a systematic review. *Climatic Change*, 156(4), 609–630. <https://doi.org/10.1007/S10584-019-02538-Y>
- Picado, W. (2021). *DICCIONARIO DEL AGRO IBEROAMERICANO* (J. Muzlera & A. Salomón, Eds.). Alejandra Salomón José Muzlera (editores). [http://www.pertuba.com.ar/archivos/publicaciones/Diccionario-del-agro-iberoamericano-1575648456\\_17782.pdf](http://www.pertuba.com.ar/archivos/publicaciones/Diccionario-del-agro-iberoamericano-1575648456_17782.pdf)
- Porter, J. R., & Semenov, M. A. (2005). Crop responses to climatic variation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1463), 2021–2035. <https://doi.org/10.1098/RSTB.2005.1752>
- Poveda, G. (2004). La Hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala interdecadal hasta la escala diurna (Colombia's hydroclimatology: A synthesis from interdecadal to diurnal timescales). *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. [https://www.researchgate.net/publication/233860161\\_La\\_Hidroclimatologia\\_de\\_Colombia\\_Una\\_sintesis\\_desde\\_la\\_escalainterdecadal\\_hasta\\_la\\_escaladiurna\\_Colombia%27shydroclimatology\\_A\\_synthesis\\_from\\_interdecadal\\_to\\_diurnal\\_timescales](https://www.researchgate.net/publication/233860161_La_Hidroclimatologia_de_Colombia_Una_sintesis_desde_la_escalainterdecadal_hasta_la_escaladiurna_Colombia%27shydroclimatology_A_synthesis_from_interdecadal_to_diurnal_timescales)
- Poveda, G., Jaramillo, A., Gil, M. M., Quiceno, N., & Mantilla, R. I. (2001). Seasonally in ENSO-related precipitation, river discharges, soil moisture, and vegetation index in Colombia. *Water Resources Research*, 37(8), 2169–2178. <https://doi.org/10.1029/2000WR900395>
- Poveda, G., Jaramillo-R, Á., & Mantilla, R. (2000). *Influencia del evento cálido del pacífico en la humedad del suelo y el índice normalizado de vegetación en Colombia*. 51(4), 263–271. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4195>
- Poveda Jaramillo, G., & Mesa Sanchez, O. J. (1996). Las fases extremas del fenómeno ENSO (El Niño y La Niña) y su influencia sobre la hidrología de Colombia. *Ingeniería Hidráulica En México (1985)*, ISSN 0186-4076, Vol. 11, N°. 1 (Enero-Abril de 1996), 1996, Págs. 21-37, 11(1), 21–37. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7357498&info=resumen&idioma=ENG>
- Quandt, A., Neufeldt, H., & Gorman, K. (2023). Climate change adaptation through agroforestry: opportunities and gaps. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101244>

- Quintero-Angel, M., Carvajal-Escobar, Y., & Aldunce, P. (2012). Adaptación a la variabilidad y el cambio climático: intersecciones con la gestión del riesgo TT - Adatation to varriability and climate change: intersections with risk managemenet. *Rev. Luna Azul*, 34.
- Ramvalho, J. C., DaMatta, F. M., Rodrigues, A. P., Scotti-Campos, P., Pais, I., Batista-Santos, P., Partelli, F. L., Ribeiro, A., Lidon, F. C., & Leitão, A. E. (2014). Cold impact and acclimation response of *Coffea* spp. plants. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 26(1). <https://doi.org/10.1007/s40626-014-0001-7>
- Ramírez-Builes, V. H., Peña-Quiñonez, A. J., Jaramillo-Robledo, A., Giraldo-Escobar, J. P., Suárez-Arcila, H. E., & Duque-Rincón, N. (2012). Riesgo agroclimático para zona cafetera colombiana : Método para regionalizar la variabilidad climática. *Revista Cenicafé*, 63(2). <https://doi.org/10.38141/10778/63208>
- Ramirez-Villegas, J., Salazar, M., Jarvis, A., & Navarro-Racines, C. E. (2012). A way forward on adaptation to climate change in Colombian agriculture: Perspectives towards 2050. *Climatic Change*, 115(3–4). <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0500-y>
- RCN Radio. (2016). *Fenómeno del Niño afectó 600 mil hectáreas de café en Colombia* | RCN Radio. <https://www.rcnradio.com/colombia/eje-cafetero/fenomeno-del-nino-afecto-600-mil-hectareas-cafe-colombia>
- RENDÓN S., J. R., & BERMÚDEZ F., L. N. (2017). *Criterios para el establecimiento de cultivos de café en Colombia*. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4211>
- Riedo, J., Yokota, A., Walther, B., Bartolomé, N., van der Heijden, M. G. A., Bucheli, T. D., & Walder, F. (2023). Temporal dynamics of total and bioavailable fungicide concentrations in soil and their effect upon nine soil microbial markers. *Science of the Total Environment*, 878. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.162995>
- Rigal, C., Xu, J., & Vaast, P. (2020a). Young shade trees improve soil quality in intensively managed coffee systems recently converted to agroforestry in Yunnan Province, China. *Plant and Soil*, 453(1–2), 119–137. <https://doi.org/10.1007/S11104-019-04004-1/TABLES/4>
- Rigal, C., Xu, J., & Vaast, P. (2020b). Young shade trees improve soil quality in intensively managed coffee systems recently converted to agroforestry in Yunnan Province, China. *Plant and Soil*, 453(1–2), 119–137. <https://doi.org/10.1007/S11104-019-04004-1/TABLES/4>
- Rivera, C. C., & Sicard, T. E. L. (2013). Anotaciones para una historia de la agroecología en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 16(3), 73–89. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/40885>
- Rodríguez, N., & Zambrano, D. (2013). *Los subproductos del café: Fuente de energía renovable*. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/351>
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR: Experiencias en América Latina* (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Ed.). FAO. [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)

- Rosset, P. (2001). LA CRISIS DE LA AGRICULTURA CONVENCIONAL, LA SUSTITUCION DE INSUMOS, Y EL ENFOQUE AGROECOLÓGICO. In *Agroecología y Agricultura Sostenible. Módulo I*.
- Ruiz-Rosado, O. (2006). Agroecología: una disciplina que tiende a la transdisciplina. *Interciencia*, 31(2), 140–145. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442006000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Samanta, M. O. (2005). *Sistemas agroforestales y su clasificación*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35616>
- Sánchez de Prager, M. (2018). *Aportes De La Biología Del Suelo a La Agroecología*.
- Sarandón, S., & Flores, C. (2014). *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables*. [www.editorial.unlp.edu.ar](http://www.editorial.unlp.edu.ar)
- Schewe, J., Heinke, J., Gerten, D., Haddeland, I., Arnell, N. W., Clark, D. B., Dankers, R., Eisner, S., Fekete, B. M., Colón-González, F. J., Gosling, S. N., Kim, H., Liu, X., Masaki, Y., Portmann, F. T., Satoh, Y., Stacke, T., Tang, Q., Wada, Y., ... Kabat, P. (2014). Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(9), 3245–3250. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1222460110/-DCSUPPLEMENTAL>
- Schiavone, A., Dabbou, S., De Marco, M., Cullere, M., Biasato, I., Biasibetti, E., Capucchio, M. T., Bergagna, S., Dezzutto, D., Meneguz, M., Gai, F., Dalle Zotte, A., & Gasco, L. (2018). Black soldier fly larva fat inclusion in finisher broiler chicken diet as an alternative fat source. *Animal*, 12(10), 2032–2039. <https://doi.org/10.1017/S1751731117003743>
- Schroth, G., Laderach, P., Dempewolf, J., Philpott, S., Hagggar, J., Eakin, H., Castillejos, T., Moreno, J. G., Pinto, L. S., Hernandez, R., Eitzinger, A., & Ramirez-Villegas, J. (2009). Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14(7). <https://doi.org/10.1007/s11027-009-9186-5>
- Sedano Cruz, K., & Carvajal Escobar, Y. (2013). Variabilidad climática, cambio climático y gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia. *Revista Semillas, Cc*.
- Sevilla-Guzmán, E., Gonzalez, M., & Guzmán, G. I. (2000). Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible. In *Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible* (Mundi-Prensa, Vol. 1). Mundi-Prensa.
- Silva, M. D. C., Várzea, V., Guerra-Guimarães, L., Azinheira, H. G., Fernandez, D., Petitot, A. S., Bertrand, B., Lashermes, P., & Nicole, M. (2006). Coffee resistance to the main diseases: Leaf rust and coffee berry disease. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 119–147. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100010>
- Soman, D., & Anitha, V. (2020). Community dependence on the natural resources of Parambikulam Tiger Reserve, Kerala, India. *Trees, Forests and People*, 2, 100014. <https://doi.org/10.1016/J.TFP.2020.100014>

- Somporn, C., Kamtuo, A., Theerakulpisut, P., & Siriamornpun, S. (2012). Effect of shading on yield, sugar content, phenolic acids and antioxidant property of coffee beans (*Coffea Arabica* L. cv. Catimor) harvested from north-eastern Thailand. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(9), 1956–1963. <https://doi.org/10.1002/JSFA.5568>
- Staver, C., Guharay, F., Monterroso, D., & Muschler, R. G. (2001). Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: Shade-grown coffee in central america. *Agroforestry Systems*, 53(2), 151–170. <https://doi.org/10.1023/A:1013372403359/METRICS>
- Sujakhu, N. M., Ranjitkar, S., Yang, H., Su, Y., Xu, J., & He, J. (2020). Quantifying farmers' climate change adaptation strategies and the strategy determinants in Southwest China. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 12(4), 511–532. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-12-2019-0073>
- Sumardiono, S., Jos, B., Dewanti, A. A. E., Mahendra, I., & Cahyono, H. (2021). Biogas production from coffee pulp and chicken feathers using liquid-and solid-state anaerobic digestions. *Energies*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/EN14154664>
- Talhinhas, P., Batista, D., Diniz, I., Vieira, A., Silva, D. N., Loureiro, A., Tavares, S., Pereira, A. P., Azinheira, H. G., Guerra-Guimarães, L., Várzea, V., & Silva, M. do C. (2017). The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: one and a half centuries around the tropics. *Molecular Plant Pathology*, 18(8), 1039. <https://doi.org/10.1111/MPP.12512>
- Tang, Q., Cotton, A., Wei, Z., Xia, Y., Daniell, T., & Yan, X. (2022). How does partial substitution of chemical fertiliser with organic forms increase sustainability of agricultural production? *Science of the Total Environment*, 803. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.149933>
- Tanner, T., & Mitchell, T. (2008). Introduction: Building the Case for Pro-Poor Adaptation. *IDS Bulletin*, 39(4), 1–5. <https://doi.org/10.1111/J.1759-5436.2008.TB00470.X>
- Thomas, C. W., & Koontz, T. M. (2011). Research Designs for Evaluating the Impact of Community-Based Management on Natural Resource Conservation. *Journal of Natural Resources Policy Research*, 3(2), 97–111. <https://doi.org/10.1080/19390459.2011.557877>
- Turbay, S., Nates, B., Jaramillo, F., Vélez, J. J., & Ocampo, O. L. (2014). Adaptation to climate variability among the coffee farmers of the watersheds of the rivers Porce and Chinchiná, Colombia. *Investigaciones Geograficas*, 85. <https://doi.org/10.14350/ig.42298>
- Udawatta, R. P., Rankoth, L. M., & Jose, S. (2021). Agroforestry for Biodiversity Conservation. *Agroforestry and Ecosystem Services*, 245–274. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-80060-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-80060-4_10)
- Van Kanten, R., & Vaast, P. (2006). Transpiration of arabica coffee and associated shade tree species in sub-optimal, low-altitude conditions of Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 67(2), 187–202. <https://doi.org/10.1007/S10457-005-3744-Y/METRICS>
- Vandermeer, J., Van Noordwijk, M., Anderson, J., Ong, C., & Perfecto, I. (1998). Global change and multi-species agroecosystems: Concepts and issues. In *Agriculture, Ecosystems and Environment* (Vol. 67, Issue 1). [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(97\)00150-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(97)00150-3)

- Vargas, D. E., Boada, M., Araca, L., Vargas, W., & Vargas, R. (2015). Agrobiodiversidad y economía de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en comunidades aymaras de la cuenca del Titicaca. *Idesia (Arica)*, 33(4), 81–87. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292015000400011>
- Varnero, M. (2011). Manual de Biogas. *Manual de Biogas Proyecto CHI/00/G32*, 1–119.
- Villalobos, V. M., & Engelmann, F. (1995). Ex situ conservation of plant germplasm using biotechnology. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 11(4), 375–382. <https://doi.org/10.1007/BF00364612/METRICS>
- Wang, Y., Liu, Y., Song, S., Yao, Y., & Fu, B. (2022). A review of community-based social-ecological system adaptation pathways. *Progress in Geography*, 41(5), 935–944. <https://doi.org/10.18306/DLKXJZ.2022.05.015>
- Watson, C. A., Reckling, M., Preissel, S., Bachinger, J., Bergkvist, G., Kuhlman, T., Lindström, K., Nemecek, T., Topp, C. F. E., Vanhatalo, A., Zander, P., Murphy-Bokern, D., & Stoddard, F. L. (2017). Grain Legume Production and Use in European Agricultural Systems. *Advances in Agronomy*, 144, 235–303. <https://doi.org/10.1016/BS.AGRON.2017.03.003>
- Wedwitschka, H., Gallegos Ibanez, D., & Jáquez, D. R. (2023). Biogas Production from Residues of Industrial Insect Protein Production from Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* (L.): An Evaluation of Different Insect Frass Samples. *Processes*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/PR11020362>
- Wezel, A., Herren, B. G., Kerr, R. B., Barrios, E., Gonçalves, A. L. R., & Sinclair, F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. In *Agronomy for Sustainable Development* (Vol. 40, Issue 6). <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>
- WMO. (2022, January 19). *2021 one of the seven warmest years on record, WMO consolidated data shows* | World Meteorological Organization. 2021 One of the Seven Warmest Years on Record, WMO Consolidated Data Shows. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/2021-one-of-seven-warmest-years-record-wmo-consolidated-data-shows>
- Yachi, S., & Loreau, M. (1999). Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(4), 1463–1468. <https://doi.org/10.1073/PNAS.96.4.1463/ASSET/45AAACE38-EE10-460F-AB46-61C158719E30/ASSETS/GRAPHIC/PQ0294529003.JPEG>
- Zamora Martínez, M. C. (2015). Cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(31), 04–07. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322015000500001&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322015000500001&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Zullo, J., Pinto, H. S., Assad, E. D., & de Ávila, A. M. H. (2011). Potential for growing Arabica coffee in the extreme south of Brazil in a warmer world. *Climatic Change*, 109(3–4). <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0058-0>

## 10. ANEXOS

Los anexos de este documento podrán ser descargados en el siguiente enlace de mega:

[https://mega.nz/file/bFwnyISK#oOQS9F4wkR\\_77jpyRIZnt8Ep7Bxd4-r6m21AF4i7N2Y](https://mega.nz/file/bFwnyISK#oOQS9F4wkR_77jpyRIZnt8Ep7Bxd4-r6m21AF4i7N2Y)