UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Estrategias agroecológicas orientadas a la reducción del uso de fertilizantes nitrogenados de síntesis química, en agroecosistemas cafeteros del municipio de Cajibío en el departamento del Cauca

Juan Fernando Casanova Olaya

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería Ambiental

Director (a): Judith Rodríguez Salcedo

Línea de Investigación:

Análisis de energía en sistemas agrícolas

Grupo de Investigación en Eficiencia Energética y Energías Alternativas - GEAL

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de administración e ingeniería

Palmira, Colombia

2018

RESUMEN

El cultivo de café es una de las principales actividades agrícolas en Colombia; su manejo esta direccionado bajo un enfoque de aplicación de fertilizantes nitrogenados de síntesis química para garantizar altas tasas de producción, sin embargo, este tipo de manejo nutricional resulta insostenible para el sector cafetero. El presente estudio fue realizado en agroecosistemas de café del municipio de Cajibío en el departamento del Cauca, con el objetivo de proponer estrategias agroecológicas para la reducción del uso de fertilizantes nitrogenados de síntesis química, bajo un enfoque de sostenibilidad. Se identificaron y seleccionaron 17 fincas representativas de tres (3) manejos nutricionales, manejo químico – MQ, manejo orgánico – MO y manejo mixto – MM. Se tomaron 21 muestras compuestas de suelo y se midieron variables relacionadas con la calidad fisicoquímica (pH, Carbono – C, Humedad- H) y disponibilidad de nitrógeno mineral (NO_3, NH_4). Con participación de los productores, se identificaron las percepciones, supuestos, prácticas y técnicas en torno al manejo agronómico y factores sociales, económicos y culturales del sistema, a través de un análisis de sus capitales siguiendo los lineamientos propuestos por el Marco de Capitales de la Comunidad – MCM y Enfoque de Medios de Vida Sostenibles - EMVS. Se observaron diferencias significativas entre los MM y MO con el MQ ($p<0.05$) para la calidad fisicoquímica del suelo. El amonio NH_4 no presentó diferencias significativas entre los manejos. El nitrato NO_3 presentó diferencias significativas entre el MM y los MQ y MO ($p<0.05$), pero no entre el MO y MQ. Se clasificaron los productores de café en cuatro tipologías de acuerdo con la evaluación de sus capitales (natural, económico, social y cultural) y se describieron las principales relaciones entre cada uno de los elementos asociados a estos. A partir de los resultados obtenidos se propusieron una serie de estrategias agroecológicas para fortalecer los lineamientos, programas o proyectos y políticas públicas orientados a la sostenibilidad de la producción de café.

CONTENIDO Pág

RESUMEN **2**

1 INTRODUCCIÓN **8**

2 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA **11**

3 OBJETIVOS **15**
3.1 Objetivo general 15
3.2 Objetivos específicos 15

4 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA **16**
4.1 Marco teórico 16
4.1.1 Agroecosistemas 16
4.2 Agricultura agroecológica 17
4.3 Manejo agronómico del café 19
4.3.1 Sistemas agroforestales y policultivos 19
4.3.2 Manejo de arvenses 20
4.3.3 Manejo fitosanitario 20
4.3.4 Manejo nutricional 21
4.3.5 Dinámica del nitrógeno en el suelo 23
4.3.6 Mineralización del nitrógeno 26
4.3.7 Fijación de nitrógeno 26
4.3.8 Enfoque de Medios de Vida Sostenibles y Marco de Capitales de la Comunidad 27
4.3.1 Caficultura en Colombia 29
4.3.2 Origen del conocimiento sector cafetero 30
4.3.3 Asistencia técnica en el sector cafetero 32
4.3.4 Asociatividad 33
4.4 Antecedentes 34
4.4.1 Evaluación de la dinámica del nitrógeno en agroecosistemas 34
4.4.2 Caracterización de agroecosistemas cafeteros 36
4.5 Caracterización socioeconómica y cultural de agroecosistemas de café 40

5 METODOLOGÍA **42**
5.1 Esquema del agroecosistema cafetero 42
5.2 Localización 44
5.2.1 Contexto de las fincas evaluadas 45
5.3 Caracterización del agroecosistema cafetero, considerando los supuestos, prácticas y técnicas que inciden sobre su implementación 47
5.3.1 Recopilación de información en campo 47
5.3.2 Análisis estadístico 48
5.4 Determinación de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo en diferentes tipos de manejo nutricional en agroecosistemas de café 50
5.4.1 Diseño experimental 50
5.4.2 Toma de muestras de suelo 51
5.4.3 Análisis estadístico 52

5.5 Propuesta de estrategias agroecológicas orientadas a la reducción de uso de fertilizantes nitrogenados de síntesis 53

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 54
6.1 Caracterización del agroecosistema cafetero, considerando los supuestos, prácticas y técnicas que inciden sobre su implementación 54
6.1.1 Capital social asociado a los productores de café en el agroecosistema cafetero de Cajibío..... 55
6.1.2 Capital económico asociado a los productores de café en el agroecosistema cafetero de Cajibío 59
6.1.3 Capital natural asociado a los productores de café en el agroecosistema cafetero de Cajibío 64
6.1.4 Capital cultural asociado a los productores de café en el agroecosistema cafetero de Cajibío 70
6.2 Tipificación del agroecosistema cafetero en el municipio de Cajibío 72
6.3 Disponibilidad de nitrógeno en el suelo bajo diferentes tipos de manejo nutricional en agroecosistemas cafeteros..... 79
6.4 Diseño de estrategias agroecológicas orientadas a la reducción de uso de fertilizantes nitrogenados de síntesis y mejora de la sostenibilidad en agroecosistemas cafeteros 93

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 102
7.1 Conclusiones..... 102
7.2 Recomendaciones 103

8 ANEXOS 105

9 BIBLIOGRAFÍA..... 109

Lista de figuras

Pág.

Figura 1. Ciclo del nitrógeno. Fuente: elaboración propia 24
Figura 2. Modelo causal agroecosistema cafetero (integrando diversas formas de manejo agronómico). Fuente: elaboración propia 43
Figura 3. Ubicación de las unidades de las fincas integradas en el estudio. Fuente: elaboración propia..... 45
Figura 4. Análisis descriptivo de elementos asociados al capital social. Fuente: elaboración propia..... 55
Figura 5. Análisis de Correspondencias Múltiples para el capital social. Fuente: elaboración propia..... 58
Figura 6. Análisis descriptivo de elementos asociados al capital económico. Fuente: elaboración propia..... 59
Figura 7. Análisis de Correspondencias Múltiples para el capital económico. Fuente: elaboración propia..... 63
Figura 8. Análisis descriptivo de elementos asociados al capital económico. Fuente: elaboración propia..... 64
Figura 9. Análisis de Correspondencias Múltiples para elementos del capital natural. Fuente: elaboración propia..... 69
Figura 10. Análisis descriptivo de elementos asociados al capital cultural. Fuente: elaboración propia..... 70
Figura 11. Análisis de conglomerados – Clasificación de los productores de acuerdo con la homogeneidad en sus características. Fuente: elaboración propia 73
Figura 12. Distribución de la concentración de amonio entre los tres manejos nutricionales. Fuente: elaboración propia..... 79
Figura 13. Distribución de la concentración de nitratos entre los tres manejos nutricionales. Fuente: elaboración propia..... 80
Figura 14. Distribución del porcentaje de humedad entre los tres manejos nutricionales. Fuente: elaboración propia..... 81

Figura 15. Distribución del pH entre los tres manejos nutricionales. Fuente: elaboración propia..... 81
Figura 16. Distribución del contenido de materia orgánica entre los tres manejos nutricionales. Fuente: elaboración propia..... 82

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Diseño experimental para el análisis comparativo de la disponibilidad de nitrógeno y variables de calidad del suelo en agroecosistemas cafeteros 50
Tabla 2. Métodos para la determinación de parámetros de suelo..... 52
Tabla 3. Clasificación de productores en agroecosistemas de café de Cajibío.... 74
Tabla 4. Análisis descriptivo. Fuente: elaboración propia 82
Tabla 5. Prueba de normalidad. Fuente: elaboración propia..... 84
Tabla 6. Prueba de homocedasticidad. Fuente: elaboración propia..... 84
Tabla 7. Prueba Kruskal Wallis. Fuente: elaboración propia..... 85
Tabla 8. Prueba Mann - Whitney mixto – químico. Fuente: elaboración propia ... 86
Tabla 9.Prueba Mann - Whitney mixto - orgánico. Fuente: elaboración propia.... 86
Tabla 10. Prueba Mann - Whitney químico – orgánico. Fuente: elaboración propia 86
Tabla 11. Estrategias orientadas a la sostenibilidad del agroecosistema de café – Construidas a partir del caso de estudio Cajibío Cauca..... 96

1 INTRODUCCIÓN

A nivel global, la producción de café es la principal actividad económico – productiva de aproximadamente 25 millones de pequeños productores (Bedri, 2006) y generadora de más de 5 millones de empleos directos e indirectos, considerando que alrededor del 60% de los costos de producción de café corresponde a mano de obra y 20% al uso de agroquímicos de síntesis (Cardenas, 2000). De acuerdo a datos de la Organización Internacional del Café (OIC), el consumo de café ha duplicado la tasa de crecimiento en los últimos 20 años y se estima una tendencia al alza de 2.5% promedio al año, es decir, un aumento en el consumo de 25 millones de sacos en los próximos 10 años (ICO, 2015). Esta demanda de consumo de café conlleva a un incremento en el uso de fertilizantes de síntesis química para garantizar la obtención de buenos rendimientos. No obstante, dichos fertilizantes pueden producir pérdida en la fertilidad del suelo, contaminación de fuentes de agua, incremento de costos de producción e incremento en la liberación de gases de efecto invernadero. Con base en ello, se evidencia la necesidad de desarrollar investigaciones para proponer estrategias orientadas a la reducción del uso de fertilizantes nitrogenados de síntesis química (FAO, 2013). El nitrógeno es una de las fuentes principales de contaminación en sus formas compuestas NO, nitratos, entre otros (FAO, 2013) y a su vez un elemento vital para garantizar la producción de alimentos.

En Colombia, el cultivo de café, cuenta con aproximadamente 563,000 familias productoras (FNC, 2010), siendo un producto fundamental para el mercado laboral del sector agropecuario. En el año 2012, el café fue el cultivo que generó más empleos directos e indirectos, cerca de 807,000 y 1.6 millones respectivamente (Finagro, 2014). Adicionalmente, de acuerdo a cifras del DANE, el café representó aproximadamente el 10% de las exportaciones del sector agropecuario en el 2013

(Finagro, 2014). De esta forma, el cultivo de café se convierte en uno de los principales renglones productivos del país, confiriendo a Colombia un reconocimiento internacional como uno de los principales productores y exportadores.

En el departamento del Cauca, hay 32 municipios dedicados a la caficultura como actividad agrícola principal de sustento económico, lo cual corresponde aproximadamente a 90,897 caficultores (FNC, 2014), de los cuales el municipio de Cajibío cuenta con alrededor de 8,000 productores de café (FNC, 2011). A pesar de que el cultivo no hace parte de los alimentos básicos de nutrición, es la principal actividad económico – productiva de sustento para garantizar el acceso y disponibilidad de los alimentos necesarios para la nutrición de los productores y sus familias, aportando a la reducción de los índices de inseguridad alimentaria.

Para garantizar el buen rendimiento del cultivo de café, se estima que se debe realizar una aplicación de fertilizantes nitrogenados de síntesis química de alrededor de 2,000 $Kg.ha^{-1}.año^{-1}$ (Cenicafé y FNC, 2013). El exceso en la aplicación de estos insumos genera un incremento en la volatilización del nitrógeno en forma de amonio (NH_3) (Dominghetti et al., 2016; Leal, Salamanca, y Sadeghian, 2010), contaminación de aguas superficiales y subterráneas por lixiviación de nitratos (NO_3) (Cannavo et al., 2013), incremento de gases de efecto invernadero – GEI, pérdida de fertilidad en el suelo (Gomiero, Pimentel, y Paoletti, 2011), afectación de la dinámica de carbono, pérdida de biodiversidad y alteración de las condiciones de calidad fisicoquímica y microbiológica del suelo (Bengtsson, Ahnström, y Weibull, 2005), entre otros. En ese sentido, surgen las estrategias agroecológicas orientadas al mejoramiento de los procesos fisicoquímicos y biológicos del suelo, para favorecer la disponibilidad de nitrógeno y reducir la utilización de fertilizantes nitrogenados de síntesis química. Entre estas se encuentra la implementación y/o la reconversión de los sistemas productivos convencionales (aplicación de agroquímicos) a sistemas agroecológicos, donde se realice el reciclaje de nutrientes y aporte de materia orgánica al suelo. Como también, la asociación del cultivo de café con otros cultivos u otras especies vegetales, para otorgar sombra

al cultivo o la siembra de especies de importancia alimentaria y económica (Arcila, Farfán, Moreno, Salazar, y Hincapié, 2007). Igualmente, estas sirven como beneficio para el mejoramiento de las condiciones biológicas y fisicoquímicas de los suelos, fijación de nitrógeno, sostenimiento de la biodiversidad, prevención de la erosión, disminución de la evaporación, reducción de la dependencia de fertilización química, control biológico fitosanitario, entre otros beneficios (FAO, 2013).

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó una caracterización de los agroecosistemas de café del municipio de Cajibío – Cauca, en términos de las percepciones, supuestos, prácticas y técnicas utilizados para la implementación de los sistemas productivos, bajo una evaluación de sus capitales, como también, un análisis comparativo de la disponibilidad de nitrógeno y variables de calidad del suelo en lotes cultivados bajo manejo químico, orgánico y mixto, con el propósito de proponer estrategias para la reducción de uso de fertilizantes nitrogenados de síntesis, bajo un enfoque agroecológico, de sostenibilidad ambiental y seguridad alimentaria.

2 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La demanda de alimentos a nivel global proyectada para el año 2050 requiere de un incremento en la producción agrícola de alrededor de 44.8% (FAO, 2002a). En consecuencia, se espera un aumento en 1.2% anual en la demanda de fertilizantes nitrogenados de síntesis química entre 2015 a 2019. Es decir, que a nivel mundial se espera un incremento de alrededor de aproximadamente 118 millones toneladas para el 2019. En el mismo sentido, en América Latina y el Caribe, se estima un incremento en la demanda de fertilizantes nitrogenados de síntesis química de aproximadamente 9 millones de toneladas (FAO, 2016) estos requerimientos incrementarán los impactos negativos actuales sobre el medio ambiente, considerando que la aplicación de fertilizantes nitrogenados de síntesis química sufren pérdida por procesos de lixiviación, volatilización, desnitrificación, erosión, escurrimiento e inmovilización, disminuyendo la eficiencia de la aplicación. En consecuencia, sólo una parte de los nutrientes aplicados en los fertilizantes son absorbidos por las plantas (Horváth, 2004).

En Colombia la producción de café es uno de los principales motores de la economía del sector agricultura; sin embargo, las condiciones económicas y sociales de los pequeños productores sigue siendo un problema nacional. Se ha identificado que los costos de producción de café son aproximadamente 11 millones de pesos por cosecha, de los cuales alrededor del 19% corresponde a costos en la aplicación de insumos, entre los cuales se encuentra la aplicación de aproximadamente 8 bultos de fertilizantes nitrogenados de síntesis química (simples y compuestos) (Perfetti, 2012). Situación que afecta la rentabilidad del cultivo de café y consecuentemente la calidad de vida de los pequeños

productores, ya que la baja rentabilidad afecta las condiciones de acceso a capitales para el desarrollo de la producción agrícola.

En el municipio de Cajibío, el 66% de las actividades agropecuarias corresponden a actividades agrícolas, de las cuales, se estima un área productiva de café de alrededor de 6,500 ha (FNC, 2011) , lo que conlleva a una utilización de fertilizantes nitrogenados de síntesis química de aproximadamente 13 millones de Kg/año; que representan un consumo energético asociado a su producción cercana a 1.82 * 10^{12} KJ que incrementa el consumo de combustibles fósiles y emisiones GEI como también, la generación de contaminación del recurso hídrico y suelo, elevados costos de producción, entre otros factores que repercuten en las condiciones de calidad fisicoquímica y biológica del suelo, baja rentabilidad a los pequeños productores, pérdida de biodiversidad, entre otras consecuencias derivadas del uso de fertilizantes nitrogenados de síntesis química.

En el mismo sentido, el proceso de producción de fertilizantes (Cherkasov, Ibhadon, y Fitzpatrick, 2015), por medio de la fijación industrial de nitrógeno en compuestos con formas de nitrógeno asimilables por las plantas (fertilizantes nitrogenados se síntesis química), genera amoniaco; gas que tiene efecto nocivo sobre la salud humana y es punto de partida para la conformación de gases como el óxido de nitrógeno que contribuye al calentamiento global y destrucción de la capa de ozono. La síntesis de amoniaco por medio de este proceso requiere un elevado aporte de energía, aproximadamente 1,090 – 1,250 m^3 de gas natural para la producción de 1 tonelada de amoniaco anhidro; lo que equivale a más o menos 70,000 KJ por libra de nitrógeno producido (Gellings y Parmenter, 2004). Este proceso genera impactos negativos en el medio ambiente, como las emisiones de Gases de Efecto Invernadero - GEI al incrementarse los requerimientos de combustibles fósiles; al mismo tiempo se aumentan los costos de producción, generando impactos en el precio de los insumos agrícolas (Cherkasov, Ibhadon, y Fitzpatrick, 2015).

Adicionalmente, el exceso en la aplicación de fertilizantes nitrogenados de síntesis química genera contaminación atmosférica y de las aguas superficiales y subterráneas. En condiciones ideales de desarrollo, las plantas utilizan alrededor del 50% de los fertilizantes nitrogenados aplicados al suelo, entre el 2 - 20% se pierde por evaporación, entre el 15 – 25% se adsorbe con las partículas de la materia orgánica del suelo y entre el 2 – 10 % se infiltra a las aguas subterráneas (Savci, 2012). Igualmente, bajo las recomendaciones de aplicación de fertilizantes de síntesis nitrogenado (250-380 kg/ha^{-1}), el 30% puede perderse por volatilización (NH_3) y entre un 30 – 50% por lixiviación (NO_3); generando impactos negativos sobre la calidad de los recursos.

Así mismo, bajo un manejo convencional se generan impactos negativos sobre las propiedades fisicoquímicas y biológicas de suelo. Se ha demostrado que bajo un manejo convencional las tasas de mineralización son elevadas en un 100%, incrementado los riesgos de pérdida de nitrógeno mineral (Poudel, Horwath, Lanini, Temple, y Van Bruggen, 2002); tienen un 30% menos de riqueza de especies y 50% menos de abundancia de organismos en el agroecosistema (pájaros, flora y fauna del suelo) (Bengtsson, Ahnström, y Weibull, 2005), afectando la biodiversidad; los niveles de carbono en el suelo se disminuyen en un 50% (Pimentel, Hepperly, Hanson, Seidel, y Douds, 2005), incidiendo sobre su dinámica de almacenamiento. También, los suelos presentan una menor concentración de nitrógeno orgánico en 68% (Evanylo et al., 2008) y contienen un 15% menos de diversidad microbiológica (Venter, Jacobs, & Hawkins, 2016). Igualmente, los suelos bajo un manejo convencional tienen un bajo contenido de materia orgánica y menor porcentaje de humificación (Ghabbour et al., 2017). Estos impactos inciden sobre la calidad y fertilidad del suelo, afectando los servicios ecosistémicos de provisión de alimentos y regulación de procesos fisicoquímicos y biológicos.

En este contexto, surgen las estrategias agroecológicas para reducir el uso de fertilizantes nitrogenados de síntesis química y fortalecer los capitales sociales, económicos, culturales, institucionales, físicos, políticos y humanos disponibles

para la producción agrícola; reduciendo los riesgos e incrementando la eficiencia de los sistemas agrícolas, favoreciendo el reciclaje de nutrientes, optimizando el consumo energético y formando un ciclo sostenible en el sistema (FAO, 2013). Específicamente, la implementación de un manejo orgánico disminuye la contaminación generada por las pérdidas de nitrógeno en los procesos de volatilización y lixiviación derivados de la aplicación de fertilizantes nitrogenados de síntesis química, reduce los costos de producción relacionados con la compra del insumo, mejora los ciclos biogeoquímicos, facilita el acceso a mercados internacionales y fortalece las funciones y servicios ecosistémicos.

Considerando lo anterior, se propuso una evaluación integral de agroecosistemas de café, considerando un análisis comparativo de la disponibilidad de nitrógeno y variables de calidad del suelo, bajo tres tipos de manejo nutricional (químico, orgánico y mixto), como también, un análisis de los capitales (social, cultural, natural y económico) que disponen los productores planteándose las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Se pueden encontrar condiciones adecuadas de calidad fisicoquímica del suelo y disponibilidad de nitrógeno mineral (nitrato y amonio), en suelos cultivados con café bajo un manejo nutricional orgánico?
- ¿Es posible proponer estrategias agroecológicas orientadas a la sostenibilidad del sistema, a partir de la caracterización social, cultural y económica, y la evaluación de las características de calidad del suelo y disponibilidad de nitrógeno mineral?

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Proponer estrategias agroecológicas bajo un enfoque de sostenibilidad, para la reducción del uso de fertilizantes nitrogenados de síntesis química en agroecosistemas de café del municipio de Cajibío en el departamento del Cauca

3.2 Objetivos específicos

- Realizar la caracterización de los agroecosistemas cafeteros, considerando los supuestos, prácticas y técnicas que inciden sobre su implementación

- Determinar la disponibilidad de nitrógeno en el suelo en diferentes tipos de manejo en agroecosistemas de café

- Identificar estrategias agroecológicas orientadas a la reducción de uso de fertilizantes nitrogenados de síntesis

4 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 Marco teórico

4.1.1 Agroecosistemas

Un agroecosistema puede entenderse como un ecosistema conformado por elementos bióticos y abióticos que interactúan entre sí, considerando que dentro de los elementos bióticos se encuentran poblaciones de interés agrícola para el ser humano. A diferencia de los ecosistemas los agro-ecosistemas integran el componente humano, una vez que el desempeño de un agro-ecosistema está regulado por la intervención del hombre en sus dimensiones de orden social, cultural, político y económico (Altieri y Nicholls, 2002a). Los agro-ecosistemas, se entienden como ecosistemas en los cuales el ser humano ha intervenido con el fin de implementar procesos orientados a suplir los requerimientos de alimentos de las poblaciones humanas, como también para la generación de otros bienes y servicios derivados de las actividades agrícolas (Gliessman, 1998)(Altieri y Nicholls, 2002b).

De acuerdo a (Altieri y Nicholls, 2002a), se consideran los siguientes aspectos importantes para la definición de un agro-ecosistema:

- Como unidad ecológica principal el agroecosistema contiene componentes abióticos y bióticos que son interdependientes e interactivos, a través de los cuales es posible el flujo de nutrientes y de energía.
- El cultivo es la principal unidad funcional dentro del agroecosistema, y al igual que la biodiversidad asociada juega un papel importante en el flujo de energía y ciclaje de nutrientes.
- Los cambios y fluctuaciones en el ambiente (explotación, alteración y competencia) se evidencia en forma de presión selectiva sobre los individuos, poblaciones y comunidades que conforman el agroecosistema.

- Los agroecosistemas varían de acuerdo con la naturaleza de sus componentes, a su arreglo en el tiempo, en el espacio y al nivel de intervención humana.

En el mismo sentido, un ecosistema natural y un agroecosistema presentan diferencias de acuerdo al nivel de fuentes auxiliares de energía que requieren, la diversidad de las poblaciones vegetales, especialmente en el caso de los monocultivos, los animales y plantas que denominan el agroecosistema son seleccionados artificialmente de acuerdo a la finalidad que se desee, los controles que se realizan son generalmente externos, volviendo el sistema dependiente de insumos artificiales, como es el caso de la utilización de insumos químicos, y la producción de biomasa es extraída del sistema, en forma de productos agrícolas o sus derivados, entre otros aspectos que generan un desequilibrio en los servicios y funciones del ecosistema (Labrador y Altieri, 1995).

De acuerdo con lo planteado, ha surgido la agroecología, como ciencia encargada de buscar senderos sostenibles para la producción de alimentos. A pesar de que la agroecología se ha venido implementando desde los inicios de la agricultura, los sistemas productivos agrícolas siguen incrementando el uso de insumos agroquímicos, con el fin de suplir los requerimientos poblacionales, perdiendo de vista el conocimiento profundo de la “naturaleza del agroecosistema y los principios que regulan su funcionamiento”. La agroecología va más allá de una mirada unidimensional de los agroecosistemas, abarca un entendimiento de los niveles ecológicos, sociales, económicos, culturales y políticos (Altieri, 1999).

4.2 Agricultura agroecológica

La agricultura agroecológica es considerada como un conjunto de estrategias para solucionar problemas asociados a la agricultura convencional. El propósito de la agricultura convencional es el incremento del rendimiento de los cultivos a través de la aplicación de fertilizantes de síntesis química, para garantizar el crecimiento

exponencial de la demanda de alimentos por parte del mercado global. Sin embargo, bajo un esquema de agricultura convencional, se pierde de vista la complejidad de los agroecosistemas, en donde se dan intra e interrelaciones entre conjuntos de elementos naturales, sociales, culturales, económicos, políticos, físico e institucionales. Algunos de los principales problemas asociados a la agricultura convencional son la pérdida de la biodiversidad, incremento de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, contaminación de las fuentes de agua, pérdida de fertilidad del suelo, afectación de los servicios ecosistémicos, pérdida de resistencia a plagas y enfermedades, entre otros. Por ello, la agricultura agroecológica, brinda las herramientas para reducir los impactos de la producción agrícola, potenciando la sostenibilidad de los agroecosistemas y favoreciendo la seguridad y soberanía alimentaria de la población (Altieri, 1999; Lapple y Van Rensburg, 2011).

Para garantizar la productividad de un agroecosistema se debe asegurar que el suelo contenga los niveles mínimos de nutrientes requeridos por las plantas. La disponibilidad de nutrientes es esencial para el desarrollo de las plantas, especialmente el N es de gran importancia por ser un elemento limitante para los sistemas productivos. El N no puede ser capturado directamente por las plantas, por lo tanto, se llevan a cabo una serie de procesos (mineralización, fijación, nitrificación y desnitrificación) por parte de los microorganismos que facilitan la transformación del elemento en su estado atmosférico (N_2) u otras formas a elementos asimilables por las plantas (NH_4 y NO_3) (Cerón y Aristizábal, 2012). Bajo todos los manejos agrícolas (químico, orgánico, mixto o agroecológico) se llevan a cabo prácticas para garantizar la disponibilidad de nitrógeno, sin embargo, su disponibilidad, como también, la incidencia sobre las condiciones del sistema varía de un manejo a otro.

Entre las prácticas asociadas al manejo agroecológico se resalta el aporte de materia orgánica al sistema. El aporte de materia orgánica (MO) regula el proceso de mineralización llevado a cabo en el suelo. A mayor disponibilidad de MO los microorganismos tendrán un mayor reservorio de insumo energético (carbono)

para llevar a cabo los procesos biológicos, como también, una mayor disponibilidad de nitrógeno para realizar su asimilación y liberar los elementos minerales esenciales como el amonio y nitratos, que en un medio soluble podrán ser tomados por las plantas para su desarrollo (Marinari, Mancinelli, Campiglia, y Grego, 2006; Xu et al., 2013).

4.3 Manejo agronómico del café

4.3.1 Sistemas agroforestales y policultivos

La integración de sistemas agroforestales o la diversificación de cultivos es una estrategia para promover la seguridad y soberanía alimentaria, ya que generan impactos significativos en la producción, permitiendo la regulación del microclima y de los procesos biogeoquímicos, mejorar la fertilidad del suelo, incrementar el aporte de nitrógeno a través de especies fijadoras, dinamizar la biodiversidad, reducir la aparición de plagas y enfermedades, generar productos adicionales para suplir los costos productivos, disminuir las brechas de inseguridad alimentaria, incentivar la soberanía alimentaria, entre otros beneficios que potencian la reducción de la vulnerabilidad del sistema productivo, costos de producción, aplicación de insumos de síntesis química, incremento de la rentabilidad, entre otros. Los factores mencionados son indispensables para garantizar la sostenibilidad del agroecosistema cafetero (Alemu, 2015; Altieri y Nicholls, 2012; Altieri y Koohafkan, 2008; Armbrecht, 2003; Langley y Zabin, 1976; Rao, Reddyl, Singh, y Reddy, 2002).

4.3.2 Manejo de arvenses

Los arvenses corresponden a las especies de vegetación nativas o silvestres que conviven con las plantas de todos los sistemas productivos (J. H. Posada, 2004). Un adecuado manejo de arvenses puede permitir que se mejoren los procesos de los ciclos bioquímicos en el suelo y disminuir la erosión generada por el impacto de la lluvia (López, Villalba, Salazar, y Cárdenas, 2012), favoreciendo las condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos. Existen diferentes formas para llevar a cabo el control de arvenses, entre las cuales se encuentra: el control manual, mecánico y químico. La forma de manejo que se utilice puede afectar directamente los costos de producción, el deterioro de los recursos naturales y la salud de los productores por causa del uso de herbicidas químicos, pérdida del suelo por erosión hídrica, alteración de los procesos bioquímicos, entre otros (Hincapié y Salazar, 2007). Debido a la variedad de efectos que puede tener el manejo de arvenses sobre el cultivo y de los diferentes mecanismos para efectuar su manejo, se genera el concepto de Manejo Integrado de Arvenses – MIA (Hincapié y Salazar, 2007; López et al., 2012; Posada, 2004; Salazar y Torres, 2000), el cual corresponde a la combinación de los métodos más adecuados para el manejo de arvenses, que permitan un control selectivo, manteniendo una cobertura de vegetación en el suelo que no afecte el proceso de desarrollo del cultivo, pero que a su vez, genere un beneficio en la reducción de costos de producción, pérdida de suelo, afectación en la salud de los productores y de los recursos naturales, entre otros aspectos a considerar.

4.3.3 Manejo fitosanitario

Las plagas y enfermedades del cultivo de café son ocasionados por agentes externos y afectan la productividad y rentabilidad del cultivo. La incidencia de las plagas y enfermedades sobre el sector cafetero es muy diversa, observándose afectación del sistema productivo en cada uno de los elementos que lo componen

(raíz, tallo, hojas, ramas y frutos), de igual forma, existen diferentes especies de los agentes generadores del problema fitosanitario y se desarrollan bajo diversas condiciones climáticas, de suelo y agronómicas (Agrobanco, 2012). Existen diferentes métodos para el control de plagas y enfermedades, entre los cuales se encuentra el control químico, integrado y biológico, cada uno de los cuales emplea diversas estrategias (poda, el mantenimiento de sombra y cobertura en el cultivo, aplicación de químicos (fungicidas, insecticidas y plaguicidas), aplicación de organismos biológicos, barreras, trampas, entre otras). En el marco del control biológico, se encuentra el fitomejoramiento de las especies, el cual consiste en la creación y /o modificación genética de especies con mayor resistencia a la afectación de plagas y enfermedades. Esta estrategia, es considerada como una de las más importantes para afrontar los impactos generados por el incremento de plagas y enfermedades a nivel mundial (FAO, 2013). En el mismo sentido, estudios realizados por CENICAFÉ, demuestran que el uso de microorganismos como el hongo *Beauveria,* puede ser una estrategia adecuada para el control biológico de la broca, resaltando la importancia de manejar el hongo bajo un contexto de manejo integrado y no como única solución (Cenicafé, 2004). Algunas experiencias llevadas a cabo en el sector agrícola, evidencian la posibilidad de reducir y/o eliminar el uso de químicos para el tratamiento de plagas y enfermedades, manteniendo altas productividades del cultivo (Howard, 1940).

4.3.4 Manejo nutricional

A partir del manejo nutricional se proveen los elementos esenciales que necesitan las plantas para su desarrollo, si el suministro de nutrientes en el suelo es alto, probablemente los cultivos tengan un mejor desarrollo, lo que repercute en una mayor producción (FAO, 2002b). Entre los manejos nutricionales del cultivo de café, se encuentra el manejo químico, el cual se ha intensificado en todo el sector agrícola desde la llegada de la “revolución verde” en los años 50.

El manejo químico tiene como finalidad el uso intensivo de insumos químicos, como los fertilizantes de síntesis nitrogenados, para la generación de altas tasas de producción (Ceccon, 2008). Los costos energéticos de la producción de fertilizantes de síntesis nitrogenados son muy elevados, llegando a consumir en el proceso de producción, aproximadamente 870 m^3 de gas natural, sin contar, los costes energéticos de los demás procesos llevados a cabo para que el fertilizante llegue a manos del productor (Dawson, Huggins, y Jones, 2008). En el mismo sentido, el desconocimiento de las cantidades requeridas de nitrógeno para el crecimiento del cultivo de café considerando la disponibilidad de nutrientes y la dinámica de los procesos en el suelo, puede conllevar a un exceso en la aplicación de fertilizantes de síntesis nitrogenados, incrementado los procesos de volatilización y lixiviación del nitrógeno en los suelos, lo que afecta la calidad del agua y aire e incrementa los costos de producción (Chen et al., 2016). La aplicación de fertilizantes de síntesis nitrogenados es una práctica que se ha posicionado en el sector cafetero en busca de generar mayor producción y rentabilidad en el cultivo, sin considerar los efectos sobre el medio ambiente que tiene su mala implementación.

Por otro lado, el manejo orgánico en los sistemas productivos ha sido llevado a cabo desde hace miles de años. La aplicación de fertilizantes orgánicos ayuda a mantener la fertilidad del suelo, proporcionándole materia orgánica, que sirve como fuente de energía para los microorganismos, regulación de los procesos biogeoquímicos, retención de humedad, entre otros (Coffee Support Network, 2009). En el mismo sentido, la producción de café orgánico permite al agricultor acceder a mercados diferenciados, potenciando el cultivo de café como eje de desarrollo comunitario y regional (Escamilla et al., 2005). El abono orgánico aplicado al cultivo puede ser generado en la misma finca, a partir de los residuos orgánicos de otras actividades agropecuarias (ganadería, porcicultura, silvicultura, etc.), residuos del proceso de beneficio del café, residuos del hogar, entre otros, favoreciendo de esta forma la reducción de costes energéticos de la producción, disminución de la contaminación, incremento de costos, mejoramiento de la seguridad y soberanía alimentaria, entre otros factores. Por otro lado, los insumos pueden ser obtenidos a partir de proveedores externos, lo que hace necesario

evaluar detenidamente el proceso de producción y comercialización del insumo, ya que se estaría incurriendo en costos financieros, energéticos y ecológicos. Cada uno de los manejos implementados, conllevan una serie de factores que deben ser evaluados bajo los contextos específicos de aplicación, con el objetivo de generar estrategias idóneas para cada sistema de aplicación.

Bajo el mismo contexto, se encuentra el manejo mixto del cultivo de café, en donde los productores hacen uso de insumos químicos y orgánicos (generados en la misma finca u obtenidos por proveedores externos), para garantizar un buen desarrollo de la planta y obtener altas tasas de producción.

Por otro lado, las labores agrícolas realizadas en el sistema productivo (labranza, fertilización, control de arvenses, control de plagas y enfermedades, etc.) dependen del tipo de manejo nutricional (químico, mixto u orgánico), pendiente del terreno, condiciones climáticas, capacidad económica, condiciones de accesibilidad a servicios e insumos, entre otras (Enríquez, 2013; Zabala, 2016).

4.3.5 Dinámica del nitrógeno en el suelo

En los sistemas naturales la disponibilidad de nitrógeno para las plantas depende de la materia orgánica disponible en el suelo. Particularmente, los diferentes procesos y/o mecanismos llevados a cabo para la transformación de nitrógeno orgánico a inorgánico están en función de las condiciones climáticas, del suelo y de la cobertura vegetal. De acuerdo a lo anterior, la dinámica del nitrógeno en los suelos no perturbados antrópicamente está en función de variables externas (clima, suelo y cobertura) y de los procesos biogeoquímicos que caracterizan en estado del sistema suelo (Perdomo y Barbazán, 1999).

En la figura 1 se puede observar la descripción del ciclo del nitrógeno:

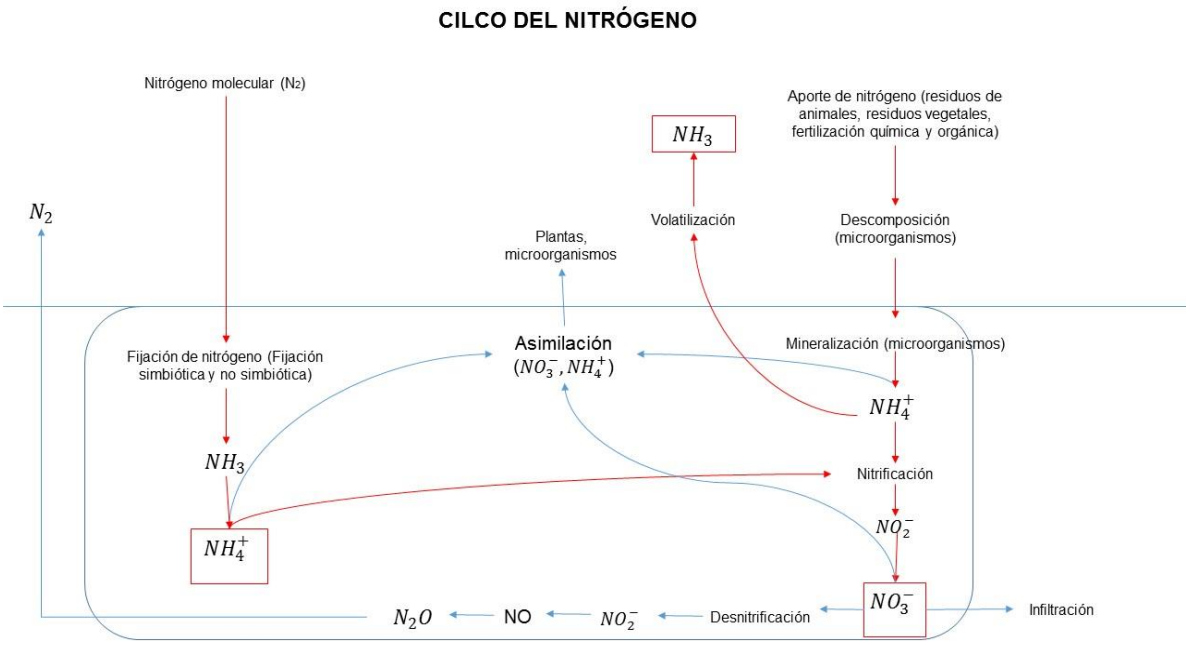

Figura 1. Ciclo del nitrógeno. Fuente: elaboración propia

Existen dos fuentes disponibles de nitrógeno para las plantas, el mayor porcentaje se encuentra en la atmósfera especialmente en forma de nitrógeno molecular (N_2), igualmente se puede encontrar en otras formas dependiendo de los procesos químicos y biológicos que se lleven a cabo en el suelo. A pesar de que existe una alta disponibilidad del elemento para las plantas, estás no pueden utilizarlo directamente debido a que la forma molecular del nitrógeno no es asimilable por las plantas, por lo que se deben llevar a cabo procesos químicos y biológicos como es el caso del proceso de fijación del nitrógeno, para garantizar la disponibilidad del nutriente para las plantas (Perdomo y Barbazán, 1999).

El nitrógeno orgánico que se encuentra en el suelo es la segunda fuente natural para las plantas y su disponibilidad depende de los aportes de residuos vegetales y animales, biomasa microbiana, entre otros. El nitrógeno orgánico no puede ser tomado por las plantas, ya que estás requieren consumir el nitrógeno en formas inorgánicas, por lo tanto, se desarrolla el proceso de mineralización para transformar el nitrógeno orgánico a amonio o nitrato. En el proceso, inicialmente el nitrógeno es transformado a amonio por un subproceso llamado amonificación, el

cual se debe desarrollar en condiciones aerobias. Posteriormente, el amonio es oxidado a nitrito y nitrato por el sub – proceso de nitrificación (Aguilar, Brovelli, Porporato, y Barry, 2011).

Por otro lado, el proceso de fijación de nitrógeno molecular de la atmósfera es la fuente natural principal de aporte de nitrógeno para las plantas y la fertilidad del suelo. Las bacterias que fijan nitrógeno solo abarcan un pequeño porcentaje de la comunidad de microorganismos en el suelo y la fijación se realiza a través de un proceso especializado que posee la enzima nitrogenasa (Webb, Rem, y Consultant, 2013). El proceso de fijación es la segunda fuente principal de aporte de nitrógeno al suelo, que globalmente contribuye aproximadamente con el 16% del ingreso total del nitrógeno a los ecosistemas. (Bannert et al., 2011).

El proceso de fijación puede ser llevado a cabo a través de dos mecanismos: simbiótico y no-simbiótico. La fijación simbiótica se lleva a cabo por medio de la estructura de un sistema entre algunas plantas leguminosas y bacterias fijadoras de nitrógeno. Generalmente, el proceso es llevado a cabo por la bacteria Rhizobium (Perdomo y Barbazán, 1999). Así mismo, la fijación no-simbiótica es llevada a cabo por bacterias de vía libre en el suelo. Algunas de las bacterias de vía libre que más se destacan en el proceso de fijación de nitrógeno son: *Azotobacter, Bejerinckia, Chromatium, Clostridium, Pseudomonas y Vibrio.*

Adicionalmente, se encuentra el proceso de volatilización de nitrógeno, el cual es uno de los mecanismos por los cuales el nitrógeno regresa a la atmósfera completando su ciclo. La volatilización se da cuando el nitrógeno que se encuentra en el suelo en forma de amonio pasa a la atmósfera en forma de amoniaco (Perdomo y Barbazán, 1999). La volatilización es un proceso natural del ciclo del nitrógeno, pero, debido al incremento en el uso intensivo de fertilizantes químicos para suplir la demanda de alimentos a nivel global, las emisiones de amoniaco cada vez son más abundantes.

4.3.6 Mineralización del nitrógeno

La mineralización es el proceso por el cual los microorganismos procesan la materia orgánica del suelo, con el fin de realizar la conversión de compuestos orgánicos a elementos inorgánicos, que serán posteriormente asimilados por los mismos microorganismos, absorbidos por las plantas, adsorbidos en las partículas del suelo, lixiviados y/o volatilizados.

En el proceso de mineralización influyen diferentes factores como el clima, la textura del suelo, el contenido de carbono y nitrógeno del suelo, la actividad microbiana, las condiciones físicas del suelo, la calidad de los materiales que ingresan al sistema, entre otros factores (León, Gónmez, Hernández, Álvarez, y Palma, 2006).

A continuación, se muestran las reacciones químicas que describen el proceso de mineralización:

$$NH_4^+ + O_2 + H^+ + 2e^- \rightarrow N\ H_2OH + H_2O \rightarrow NO_2^- + 5H^+ + 4e^-$$ Reacción 1

$$NO_2^- + H_2O \rightarrow NO_3^- + \rightarrow +2H^+ + 2e^-$$ Reacción 2

4.3.7 Fijación de nitrógeno

La fijación de nitrógeno es la captura del nitrógeno atmosférico (N_2) para su posterior transformación a formas de nitrógeno asimilables por las plantas y microorganismos (Gresshoff et al., 2015). Se conocen dos formas de fijación de nitrógeno, la fijación simbiótica y asimbiótica.

La fijación de nitrógeno asimbiótica es realizada por diferentes organismos procarioticos, incluyendo organismos anaeróbicos, aeróbicos facultativos y aeróbicos. Todos los organismos utilizan la enzima nitrogenasa como catalizador en la transformación de dinitrógeno (N_2) a amonio (Keuter, Veldkamp, y Corre, 2014).

Por otro lado, la fijación de nitrógeno simbiótica consiste en la penetración de bacterias del tipo Rhizobium en las raíces de las plantas, y que crecen luego en los tejidos corticales de las raicillas como hilos y forman un nódulo que resulta tanto de la proliferación de las bacterias como de las células corticales. Las bacterias toman carbohidratos de la planta y cambian el N_2 a NH_3, que es exudado al suelo o se agrega a este cuando los nódulos se desprenden. Cuando sucede lo último las bacterias quedan libres en el suelo y se reinicia el proceso de simbiosis en nuevas raicillas. En algunos casos, algunas plantas no leguminosas como la caña de azúcar, realizan fijación asociativa biológica de nitrógeno, sin embargo el aporte al suelo no es significativo en comparación con la fijación simbiótica en plantas leguminosas (Gresshoff et al., 2015).

Igualmente, se ha determinado que el uso de leguminosas en agroecosistemas, pueden incrementar la fijación de N atmosférico (N_2) y reducir la dependencia de fertilizantes químicos nitrogenados (Xie et al., 2015)(Cherkasov et al., 2015).

4.3.8 Enfoque de Medios de Vida Sostenibles y Marco de Capitales de la Comunidad

En el Marco de Capitales de la Comunidad – MCC y Enfoque de Medios de Vida Sostenible EMVS, son directrices a través de las cuales se pretende generar estrategias de trabajo para disminuir los niveles de pobreza en las comunidades, tomando como principios, los modos de vida, los activos que reducen la vulnerabilidad, capacidad para resistir las crisis y fortalecer la capacidad de

reacción. Considerando los medios de vida como aquellas capacidades, recursos y/o actividades que las poblaciones tienen y utilizan para alcanzar un mejor bienestar y calidad de vida (Bermúdez, 2007; Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2011, 2012; Elliot, 2008; Neely, Sutherland, y Johnson, 2004). Los componentes considerados para evaluar las capacidades de las comunidades son los capitales: natural, cultural, social, económico, físico, humano y político. Así mismo, los lineamientos del EMS permiten realizar una caracterización de los sistemas productivos, considerando la integralidad del sistema, lo que favorece el abordaje de estrategias orientadas al establecimiento de sistemas agrícolas sostenibles.

El capital cultural representa los conocimientos, saberes, costumbres, supuestos, prácticas, hábitos y técnicas utilizadas para el desarrollo de las actividades.

El capital social corresponde a todos los elementos de relaciones entre los actores del sistema, las redes, espacios de interacción y demás componentes que enriquecen el desarrollo social de la comunidad.

El capital económico, corresponde a todos los elementos y/o procesos a través de los cuales se puede obtener un beneficio económico.

El capital humano, corresponde a todas las capacidades, aptitudes, actitudes y demás elementos que caracterizan a la persona y que son utilizados para el desempeño de las diferentes actividades.

El capital físico, enmarca todos los elementos tecnológicos y de infraestructura que potencian el desarrollo de las actividades de la comunidad.

El capital natural, comprende todos los elementos, procesos e interacciones en el medio natural en donde se desarrollan las actividades socioeconómicas.

Al capital político, corresponden todos los elementos y relaciones de poder en el sistema, así como también las normas y leyes que lo regulan (Bermúdez, 2007; CATIE, 2011, 2012).

4.3.1 Caficultura en Colombia

El cultivo de café en Colombia es un eslabón representativo para la economía a nivel nacional. Desde el siglo XVIII que se evidenciaron las primeras noticias del ingreso del cultivo al territorio colombiano, fue tomando importancia a nivel económico y social, jugando un papel importante en el proceso de colonización de tierras, la conformación de unidades productivas, relaciones de trabajo, formas de comunicación, fortalecimiento del tejido social, generación de empleo, entre otros. Otorgando a Colombia un puesto importante a nivel de importaciones internacionales y finalmente convirtiéndose en una estructura fundamental y transversal para el desarrollo del sector agrícola del país (Bejarano, 1980; Kalmanovitz, 1972). La historia de la economía cafetera se puede resumir en cuatro periodos, en donde se presentaron los principales hitos de desarrollo: el establecimiento de la industria cafetera (1880-1910), la expansión precapitalista de la economía (1910-1930), la transición del capitalismo (1940-1970) y la modernización de la economía cafetera y su crisis estructural (1970 – presente).

Durante los últimos años, el sector cafetero ha generado cerca del 26% del total de empleos agrícolas, se han generado ingresos por las cosechas de alrededor de 5.2 billones de pesos que son distribuidos entre más de 550 mil familias dedicadas a la actividad. Así mismo, en el año 2014 el sector cafetero aportó el 56% de la variación del PIB del sector agropecuario, con lo que se continua evidenciando la fortaleza del sector para la economía colombiana (FNC, 2015).

A pesar de la fortaleza que se evidencia en cifras, el sector cafetero presenta marcadas deficiencias socioeconómicas. Las familias dedicadas a la actividad cafetera, se enfrentan a problemas de acceso a servicios básicos (agua potable, energía, etc.), mayor exposición a los eventos que desencadena la variabilidad y el cambio climático, débiles mecanismos de financiación para la producción, afectación de los cultivos por plagas y enfermedades, variación de precio en el mercado, conflictos armados por el uso del suelo y agua, bajas oportunidades para

el acceso a la educación y alimentos, entre otros aspectos socioeconómicos que afectan la calidad de vida de los productores de café a nivel nacional e internacional, considerando que más de un 90% de los productores de café tienen una tenencia de tierra no mayor a 4 hectáreas y viven bajo condiciones de alta vulnerabilidad y exposición y baja capacidad adaptativa frente a los eventos que puedan afectar su desarrollo. Igualmente, a pesar de los esfuerzos llevados a cabo por la Federación Nacional de Cafeteros en términos de gestión y apropiación del conocimiento a través de los programas de asistencia técnica virtual y demás elementos, se encuentran brechas en la conformación del tejido social del sector, interacción institución – comunidad y planteamiento de mecanismos acordes a las necesidades específicas del sector, afectando de esta forma la sostenibilidad el sector cafetero (Echavarría, Esguerra, McAllister, y Robayo, 2015; Fajardo, 2014). Por otro lado, la política cafetera ha estado orientada a incentivar la producción con el fin de mantenerse en el mercado internacional como uno de los países con mayor producción. En este sentido, se ha focalizado en la transformación de la estructura productiva (renovación de cafetales, mayor densidad de siembra, modificación genética de especies, entre otras), como también, en el uso de fertilizantes de síntesis química con el fin de incrementar la producción a escala de finca. En contraste, han diseñado programas como el de “Gestión inteligente del agua” y el “Programa forestal”, orientados a la conservación de los recursos naturales (FNC, 2014), sin embargo, no son estrategias suficientes para generar un impacto positivo significativo en la sostenibilidad de los sistemas productivos, ya que la política agrícola cafetera está condicionada principalmente por factores económicos del mercado internacional.

4.3.2 Origen del conocimiento sector cafetero

El conocimiento aplicado en los sistemas productivos es una combinación de saberes ancestrales, aprendizaje empírico y conocimiento transmitido por parte de actores externos al sistema. No obstante, todo el conocimiento generado y

transmitido se encuentra regido por los focos impuestos bajo los diferentes escenarios de modelos de crecimiento económico y regulados por políticas y lineamientos propuestos por las instituciones líderes del sector productivo a nivel mundial. Muestra de ello se evidencia en el siglo XIX, en donde se presenta la revolución industrial, que tiene un impacto en la agricultura al sustituir la energía mecánica otorgada por el trabajo animal, por la energía generada a partir del carbón, generando un declive de la tierra como principal fuente de poder, intensificación de la rotación de cultivos y ganado, y desplazamiento de la población de las zonas rurales a las urbanas debido al incremento de la actividad industrial. Logrando finalmente la eliminación de la agricultura como fuente principal de riqueza (Chaves, 2004).

Posteriormente, hacia la década de los 60, llega la “revolución verde”, como una iniciativa para mejorar la producción agrícola y afrontar el hambre, a través del mejoramiento genético de las especies vegetales, pero, siendo necesario un incremento en la dependencia de maquinaria e insumos químicos y la especialización de la agricultura en monocultivos, lo que redirecciona el foco de la agricultura hacía la obtención de altas cantidades de producción y grandes extensiones de tierra (Sicard, 2009). Con el pasar de los años se evidencia que el problema no era la falta de alimentos en la tierra, lo cual correspondía a la base de desarrollo de la revolución agrícola, por el contrario, radica en la distribución de los alimentos producidos. A pesar de ello, los lineamientos establecidos por la revolución verde se establecieron permanentemente, generando pérdida de fertilidad en los suelos, de la biodiversidad, erosión, eutrofización, agotamiento de acuíferos, liberación de gases de efecto invernadero, pérdida de la seguridad y soberanía alimentaria e incremento de desigualdad social y económica (Pengue, 2005).

El sistema productivo de café no está exento de los impactos generados por los hitos de la agricultura. Diferentes leyendas hablan acerca del origen del grano y como se fue distribuyendo a través de los continentes. Se dice que es originario de África Oriental, específicamente de Etiopía, también se menciona que los

holandeses fueron los primeros en enviar el café a la Guayana, de donde ingreso posteriormente al continente americano. En Colombia se estima que se plantaron las primeras semillas en el Orinoco en 1732 por parte de misioneros Jesuitas españoles (Echeverri, Buitrago, Montes, Mejía, y González, 2005). A partir de ahí, se comenzó a gestar una cultura cafetera, que posteriormente se convirtió en un eslabón sobresaliente de la economía nacional y fortaleciendo los tejidos sociales.

4.3.3 Asistencia técnica en el sector cafetero

Es a partir del fortalecimiento del sector cafetero que en 1835 se produce la primera exportación del grano (2,565 sacos de café), en el año 1927 se da el nacimiento de la Federación Nacional de Cafeteros, en 1938 la creación de Cenicafé, la del Fondo Nacional del Café en 1940, que corresponde a la implementación de una cuenta parafiscal en la cual contribuyen exclusivamente los caficultores colombianos (Cuéllar, 1998). La oficialización del Servicio de Extensión y el inicio de Juan Valdez en 1959, la Fundación Manuel Mejía en 1960, Almacafé en 1965 (Uribe, 2016). Con la oficialización del servicio de extensión, se plantea una estrategia orientada a la educación del caficultor y su familia, con el objeto de soportar la reducción de los costos de producción e incremento de los rendimientos, mejorando el nivel de calidad de vida de las familias agricultoras en un nivel integral. Posteriormente, en el año 1975 se presenta una fuerte helada que afecto la producción de café en Brasil, dejando una gran porción de la cuota de mercado libre, para lo cual los demás países exportadores del grano dedicaron esfuerzos por cubrirla. Para ello, en Colombia se enfocaron todos los recursos en la tecnificación del sector cafetero, propiciando una política de fomento de la producción de café y tecnificación de cafetales tradicionales. En el mismo sentido, la transferencia tecnológica, basada en las investigaciones del Centro Nacional de Investigaciones del Café - CENICAFÉ, tuvieron énfasis en la producción bajo altas densidades de siembra, café a libre exposición, conservación del suelo, beneficio del grano y el uso de fertilizantes de síntesis química (Saldías y Jaramillo, 1999). Marcando un hito en

las prácticas y técnicas utilizadas para la producción del grano. De esta forma, la producción de café se encontró inmersa bajo los lineamientos establecidos por la tendencia de desarrollo global, focalizada en una agricultura tecnificada para la obtención de grandes volúmenes de producción.

4.3.4 Asociatividad

La asociatividad es considerada como una estrategia en la cual los actores se agrupan para aunar esfuerzos en la consecución de objetivos comunes (Zabala, 2016). En el sector agrícola, particularmente en el sector cafetero, esta unión contribuye a la generación de beneficios individuales que se traducen en mejoras en el proceso de producción y comercialización de café, apoyos económicos en la obtención de insumos agrícolas, intercambio de experiencias con otros productores, enriquecimiento del conocimiento acerca del manejo del cultivo, apropiación de conceptos para la conservación de los recursos naturales, transferencia y apropiación de tecnologías, entre otros. Facilitando elementos necesarios para el mejoramiento de la calidad de vida y aportando a la sostenibilidad del sistema productivo.

4.4 Antecedentes

4.4.1 Evaluación de la dinámica del nitrógeno en agroecosistemas

En Paraguay, (González, 2012) estudió el destino del nitrógeno aplicado a un cultivo de sésamo, para ello, se utilizó un diseño experimental al azar con 8 tipos de tratamientos, combinando la aplicación de abono verde (avena + lupino), fertilizante químico y tipo de labranza. El cálculo del destino del nitrógeno fue realizado a partir de una técnica isotópica. Los resultados encontrados, evidencian que el uso de abono verde puede servir como estrategia para la reducción en la dependencia de fertilizantes químicos.

En China, (Liu et al., 2016) evaluaron el efecto de la reducción en la aplicación de nitrógeno sintético sobre la producción en un sistema de rotación de cultivos de arroz – trigo. El estudio fue desarrollado variando la cantidad de insumos nitrogenados aplicados a los cultivos. Los resultados obtenidos permitieron establecer, que la reducción en la aplicación de insumos nitrogenados puede incrementar la eficiencia en el uso del nitrógeno y reducir las pérdidas por los procesos de volatilización, lixiviación y desnitrificación

En Colombia, (Reyes, Torres, y Acevedo, 2012) determinaron la eficiencia energética de un sistema agrícola de rotación (fríjol – maíz), bajo diferentes tipos de tratamiento nutricional, con el fin de determinar el balance energético y el aporte nutricional, haciendo uso del software Energía 3.01. En el análisis realizado, se determinó que el tratamiento con abono verde de *Mucuna pruriens* sin fertilizar, fue el que dio la mayor eficiencia energética con un valor de 114.1. El mayor aporte nutricional, considerando el uso eficiente de los recursos energéticos, fue con los tratamientos de acolchado orgánico de *Mucuna pruriens* sin fertilizar y abono verde de *Mucuna pruriens* más abono orgánico compostado (tipo bocachi). Identificando estos tratamientos, como alternativas para la optimización de recursos y uso en la agricultura familiar.

En Estados Unidos, (Attia, Shapiro, Kranz, Mamo, y Mainz, 2015).evaluaron la eficiencia de uso de nitrógeno en un sistema de rotación de cultivos (soja – maíz). Se determinaron las cantidades óptimas de nitrógeno requerido para los diferentes tratamientos, con el fin de maximizar el rendimiento del cultivo.

En Costa Rica, (Castro, Dietsch, Urena, Vindas, y Chandler, 2012) identificaron las relaciones existentes entre la aplicación de fertilizantes inorgánicos, indicadores de calidad y rendimiento del cultivo e indicadores de calidad del suelo en agroecosistemas de café.

También, (Castillo, Harmand, y Dambrine, 2004) realizaron un estudio para determinar la concentración de nitrógeno mineral (amonio y nitratos) y el nitrógeno potencialmente mineralizable en el suelo en conjunto con siembra de leguminosas usadas como sombra en sistemas agroforestales. Tomando como referencia los resultados de análisis de suelo del estudio, se determinó que existe correlación entre el nitrógeno mineral y el potencialmente mineralizable, con un coeficiente de correlación de 0.73, para todas las fincas estudiadas.

En Italia, (Marinari, Lagomarsino, Moscatelli, Di Tizio, y Campiglia, 2010) determinaron la tasa de mineralización de C y N en dos sistemas de cultivos, orgánico y convencional. Se observó que en el sistema de manejo orgánico se puede cubrir, durante un periodo más extenso, la demanda de nitrógeno del cultivo. La entrada de abono orgánico incrementa el nitrógeno potencialmente mineralizable en el suelo, pero, el incremento depende de la relación No/Nt del abono orgánico.

En México, (Acevedo, Sánchez, Acosta, y Massiotti, 2011) evaluaron el efecto del manejo nutricional orgánico y convencional, sobre las concentraciones de nitrógeno a diferentes profundidades, en parcelas cultivadas con maíz. Después del periodo de estudio (2 ciclos de cultivo, 2001 y 2008), se determinó que en las parcelas bajo un manejo orgánico se incrementó el contenido de materia orgánica y nitrógeno total en la capa superficial (0-30 cm), mientras que, en las parcelas con

un manejo convencional, se evidenció el incremento del nitrógeno en formas inorgánicas en la misma profundidad.

En Uganda, (Pincus, Margenot, Six, y Scow, 2016).evaluaron el efecto sobre la producción y la eficiencia de uso de fertilizantes en cultivos de nakati (*Solanum aethiopicum*). El estudio fue realizado comparando entre rangos de manejo orgánico, desde un manejo 100% orgánico hasta un manejo 100% con productos de síntesis química, y diferentes tasas de N en los fertilizantes. Se evidenció que el manejo mixto no genera un incremento en la cantidad de producción del cultivo, sin embargo, el incremento la tasa o proporción de nitrógeno si genera un incremento en la producción

4.4.2 Caracterización de agroecosistemas cafeteros

En Colombia, (Vera-Acevedo, 2016) evaluaron el impacto de tres tipos de fertilizantes (nitrogenados de síntesis química, estiércol de aves y compost) sobre la producción de café; encontrándose que el uso de compost presentó la menor cantidad de impactos negativos sobre el medio ambiente.

Por otro lado, en Colombia y México (R. H. Posada, Sánchez de Prager, Heredia-Abarca, y Sieverding, 2018), evaluaron el efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo y las prácticas de manejo agronómico sobre la comunidad y diversidad de micorrizas en el cultivo de café. Se encontró que en los dos países la diversidad microbiológica fue influenciada por las prácticas y los parámetros del suelo, el grado de afectación en cada país depende de las características de sus suelos.

Así mismo, (Rodríguez Garay, 2015) realizó un estudio de la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas en rendimiento y calidad del café, evidenciando relaciones para establecer dos tipos de manejo del cultivo de café.

Igualmente, (Paz, Sánchez De P, y Sadeghian, 2006) estimaron la actividad microbiana en la rizosfera de plantas de café y su relación con propiedades del suelo y sistemas de sombrío. Se determinó que bajo un sombrío medio hay mayor cantidad de materia orgánica, la capacidad de retención de humedad y la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y manganeso. También se evidenció mayor respiración y biomasa microbiana en época de verano.

En Costa Rica, (Castro et al., 2012) estudiaron la relación entre la aplicación de fertilizantes de síntesis química, cantidad y calidad de producción, y propiedades químicas del suelo. Determinando que la aplicación de fertilizantes nitrogenados de síntesis química (212 +/- 16.7 kg/ha*y) tienen una alta relación con el rendimiento del cultivo. Igualmente, se determinó un pH bajo en el suelo. Así mismo, (Bermúdez, 2007) desarrolló un estudio integrado entre Costa Rica, Nicaragua y Colombia, orientado a una línea base de evaluación y monitoreo del estado agroambiental de los sistemas agroforestales con café y pasturas. Se realizó una clasificación de los agroecosistemas en cada uno de los países de acuerdo con la caracterización de cada uno de sus capitales (natural, social, humano, político, infraestructura y cultural). Igualmente, se determinaron algunos indicadores agroecológicos para complementar el estudio

Por otro lado, (Bhattarai et al., 2017) realizó un estudio para caracterizar los productores de café en una zona de alta producción en Costa Rica, se determinaron las principales variables limitantes en la producción mediante una clasificación de las unidades de análisis combinada con el rendimiento del cultivo durante dos ciclos productivos, la clasificación identificada corresponde a 4 tipos: grandes granjas dependientes de labores externas, grandes granjas con sistemas ganado, pequeñas granjas dedicadas al café y pequeños granjas con ingresos fuera de la finca.

Igualmente, (Tully, Lawrence, y Wood, 2013) evaluaron el efecto del manejo convencional y orgánico en sistemas agroforestales, sobre los reservorios de nutrientes en el suelo y sus mecanismos de retención. No se encontraron diferencias significativas entre el manejo orgánico y convencional en los reservorios

de nutrientes, textura y pH de la superficie del suelo (0-15 cm). Por el contrario, en suelos intermedios (15 -50cm), los reservorios de N y C fueron mayores en los sistemas agroforestales con manejo convencional, contrariamente el fósforo total fue mayor bajo el manejo orgánico. Igualmente, se determinó que no hay diferencias significativas entre los reservorios de nutrientes en sistemas agroforestales de solo café y asociación con *Masusa* y *Erythrina*.

En otro sentido, (Munroe, Soto, Virginio Filho, Fulthorpe y Isaac, 2015). evaluaron la dinámica entre microorganismos y nutrientes presentes en la rizosfera y a una profundidad mayor, en suelos cultivados con café como monocultivo y en asociación con una especie fijadora de N y de sombrío (*E. poeppigiana*). Entre los análisis realizados se encuentra el nitrógeno inorgánico (nitratos), potasio disponible, intercambio catiónico y pH. Se encontró un incremento entre el 11 – 158% en la disponibilidad de nutrientes, particularmente nitratos, en la rizosfera comparada con suelos más profundo. El incremento de la disponibilidad de nitratos fue mayor en la rizosfera de los suelos cultivados con café y la especie asociada (*E. poeppigiana).*

En Costa Rica y Nicaragua, (Haggar et al., 2011) mostraron los beneficios del uso de árboles de sombra y la reducción de fertilizantes sintéticos nitrogenados en el cultivo de café. Para ello, se llevaron a cabo experimentos en los cuales se evaluó el rendimiento del cultivo bajo libre exposición al sol, con sombrío de especies leguminosas y no leguminosas, y bajo aportes de fertilizantes sintéticos y abono orgánico. En Nicaragua no se observaron diferencias entre la producción bajo los dos tipos de manejo nutricional, pero en Costa Rica la producción bajo manejo orgánico fue menor durante 3 de las 6 cosechas estudiadas. La producción en Costa Rica bajo el café a libre exposición fue mayor que el café bajo sombrío (61.8 vs 44.7 t/ha respectivamente). El manejo orgánico intensivo incrementó el pH y fósforo del suelo.

En México, (Grossman, 2003). evaluó la comprensión de los productores de café en torno a los procesos que mejoran la fertilidad del suelo (descomposición de hojarasca, compostaje, biomasa y fijación biológica de nitrógeno) bajo una

producción agroecológica, como base para la toma de decisiones y experimentaciones. Se encontró que los productores tienen un buen entendimiento del proceso de descomposición y mineralización, sin embargo, no tienen mucha comprensión de la relación de los procesos con la humedad del suelo, la absorción de nutrientes por las plantas y la dinámica biológica que determina los procesos.

En India, (Velmourougane, 2016) evaluó el impacto a largo tiempo del manejo convencional y orgánico del cultivo de café, sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. Bajo un manejo orgánico se evidenció un incremento significativo en el carbón orgánico, mayor macrofauna (31.4%), población microbiana (34%) y diversidad microbiana, y menor pH (24%). Mostrando como resultado, que un manejo orgánico del café durante un periodo largo de tiempo repercute en unas mejores condiciones del suelo.

En Brasil, (Lammel et al., 2015).estudió el efecto de diferentes manejos del cultivo de café orgánico (cáscara de café y ricino), convencional (síntesis química) e integrado (*A. pintoi* y *B. decumbens*), en las propiedades biológicas del suelo, como indicadores de cambio en el agroecosistema. Como resultado se evidenció que bajo un manejo orgánico se presenta la mayor disponibilidad de materia orgánica y mayor población y diversidad de comunidades microbianas, corroborando que bajo un manejo orgánico se pueden garantizar la sostenibilidad del sistema, al menos en términos biofísicos.

Así mismo, (Partelli et al., 2012) evaluaron las características químicas y biológicas en suelos cultivados con café bajo manejo convencional y orgánico, tomando como referencia un blanco que corresponde a suelo de bosque. Evidenciando que el cultivo de café bajo un manejo orgánico es más sostenible que bajo el manejo convencional. Igualmente, el carbón y la biomasa microbiana fueron los factores más relevantes en la comparación de los manejos.

En Perú, (Jezzer, Santos, Boot, Junginger, y Verweij, 2018) realizaron un análisis económico de cultivos de café Arábica, comparando la productividad, costos, ingresos netos y ratio del costo – beneficio. El análisis fue hecho en cultivos bajo

diferentes tipos de manejo de sombrío y manejo nutricional. Se utilizó análisis de clustering para clasificar las fincas evaluadas bajo tres escalas (bajo, medio y alto).

4.5 Caracterización socioeconómica y cultural de agroecosistemas de café

En Colombia, (Suarez, Suárez, y Mercedes, 2013) aplicaron la metodología de Marco de los Capitales de la Comunidad – MCC para realizar una caracterización de los activos disponibles por los productores de café en la zona de Pitalito – Huila. Con la información de los capitales se determinó el Índice Integral de Medios de Vida – IMV.

En Ecuador, se desarrolló un estudio para explorar las limitaciones e identificar opciones para fortalecer las estrategias de sustento de los pequeños productores de café y cacao. Como resultado se obtuvo cuatro tipologías de productores con sus respectivas características (productores de café y cocoa, productores de solo cocoa, productores de solo café y productores con producción de cocoa, café y palma) (Viteri Salazar, Ramos-Martín, y Lomas, 2018).

En México, se realizó una caracterización de la producción y comercio del café en Puebla. A través de entrevistas estructuradas se determinaron elementos sociales, naturales, culturales y económicos, señalando la necesidad de proponer estrategias diferenciadas para fortalecer la producción de café (Benítez-García, Jaramillo-Villanueva, Escobedo-Garrido, y Mora-Flores, 2015).

En Ethiopia, (Mitiku, Nyssen, y Maertens, 2018).estudiaron como los estándares privados de sostenibilidad, como es el caso de las instituciones de certificación, incrementan los beneficios en los sistemas productivos de café. Se compararon sistemas productivos certificados con Rainforest y no certificados, en donde se evalúo la producción, retornos para la tierra, retornos para las labores y ganancia

neta, determinando que los sistemas productivos que cuentan con certificaciones tienen mayores beneficios.

En Kenia, se evaluaron elementos sociales y económicos que direccionan la producción de café. Mostrando que el rendimiento del café está condicionado por las prácticas existentes y la intensificación en la producción está condicionada por las características de la vivienda y los servicios recibidos (Wairegi et al., 2018).

5 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del estudio, se trabajó considerando un enfoque de investigación mixta, que corresponde a un proceso en donde se recolectan, procesan, analizan y vinculan datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio, para responder al planteamiento de un problema. La premisa en este tipo de enfoque, radica en la capacidad de lograr una perspectiva más precisa del fenómeno estudiado, enriqueciendo el estudio, con un conjunto de datos de diferentes tipos, obtenidos a partir de diferentes fuentes y métodos de captura (Hernández, Fernández, y Baptista, 2006).

5.1 Esquema del agroecosistema cafetero

Inicialmente, se parte de un esquema en donde se observan los diferentes elementos que hacen parte del agroecosistema cafetero y las relaciones presentadas entre ellos, como insumo para la estructuración del diseño experimental y el análisis cualitativo.

En la figura 2, se muestra una síntesis de información de los procesos considerados en el agroecosistema de café:

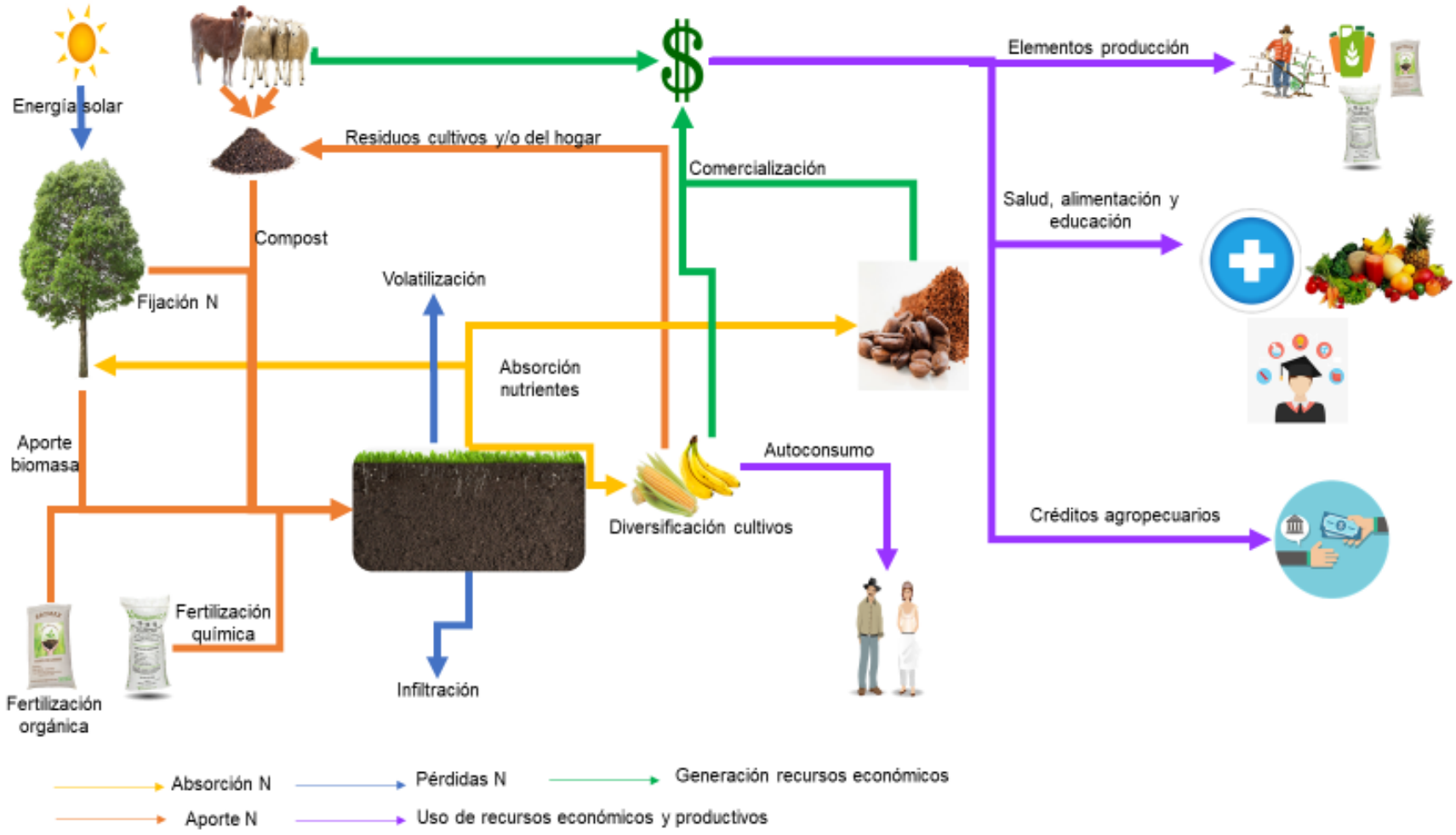

Figura 2. Modelo causal agroecosistema cafetero (integrando diversas formas de manejo agronómico). Fuente: elaboración propia

5.2 Localización

El municipio de Cajibío se encuentra ubicado en el departamento del Cauca en el área de influencia de la cuenca del Alto Cauca, el cual atraviesa al municipio de sur a norte y hace que éste se ubique sobre la Cordillera Central y la Cordillera Occidental del sistema montañoso de los Andes Colombianos, se encuentra demarcado por las siguientes coordenadas geográficas: 2°31’12” N, 76°28’40” E y 2°45’06” N, 76°53’03” E. Su altura promedio es de 1765 m.s.n.m. con una temperatura ambiental que varía en un rango de 12 a 24 °C. Se encuentra ubicado a 24 km de la capital (Popayán). Se llega por vía Panamericana pavimentada, en perfecto estado de conservación, en 18 Km hasta el sitio conocido como El Cairo y desde este lugar se desvía hacia el occidente en una longitud de 6 Km por vía pavimentada en regular estado de conservación y mantenimiento. Cajibío pertenece a la cuenca hidrográfica del alto río Cauca. Su principal río es el Cauca (cuenca) y comprende la subcuenca del rio Piendamó microcuencas de los ríos Dinde, Pedregosa, Cajibío, entre otros.

Cajibío limita al norte con los municipios de Morales y Piendamó, al sur con los municipios de Popayán y Totoró, hacia el occidente con el municipio del Tambo y al oriente con el municipio de Silvia. La cabecera municipal se encuentra a una distancia de 24 Km. en referencia a la capital del departamento. Este territorio hace parte del sistema montañoso de los Andes, el cual se encuentra ubicado entre las vertientes oriental y occidental de las cordilleras Occidental y Central respectivamente, haciendo parte de la región alta de la gran Cuenca del río Cauca que lo atraviesa de sur a norte por su margen izquierda paralelamente a la vía panamericana. El corregimiento cuenta con una población de 441 habitantes (Alcaldía de Cajibío, 2002).

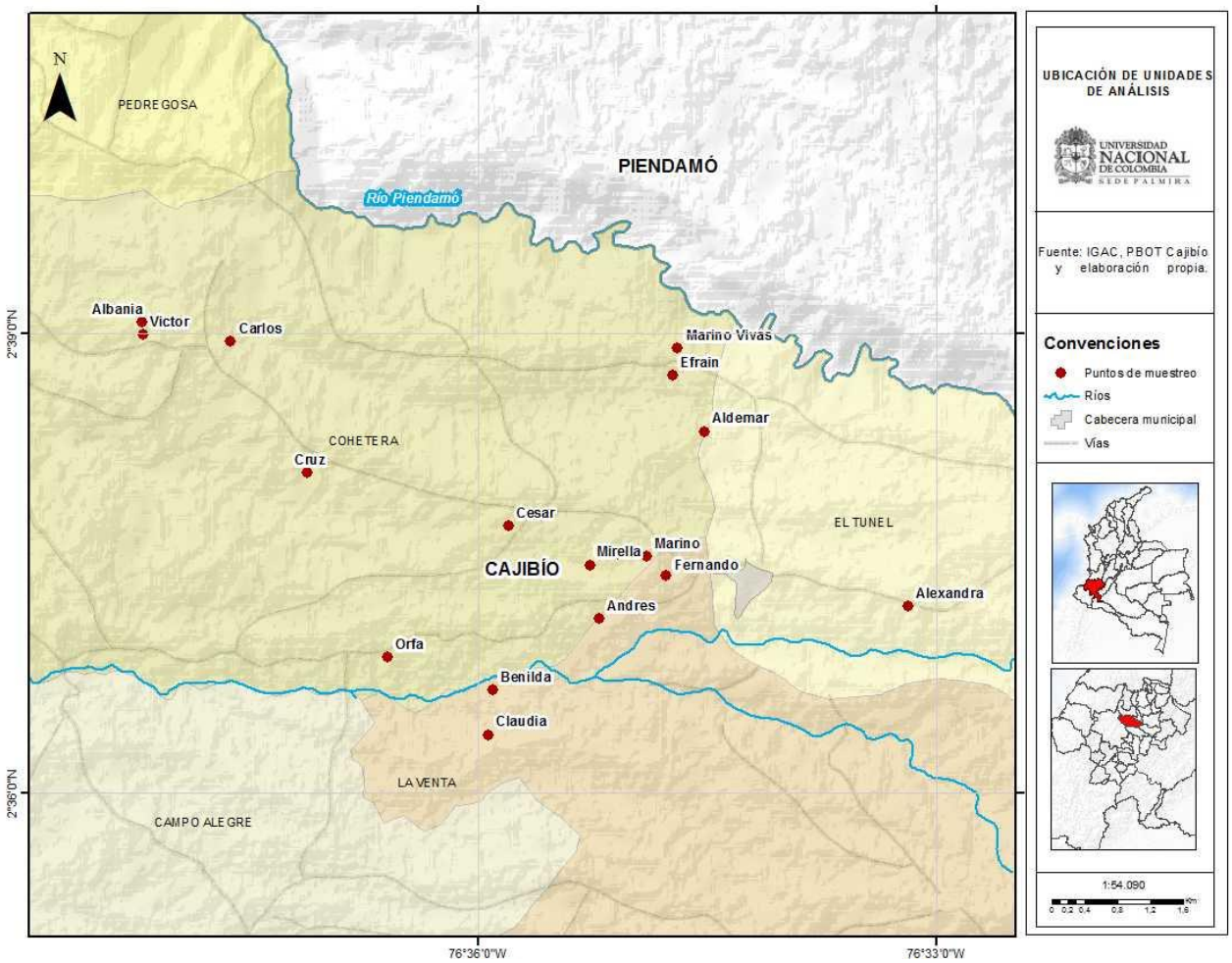

Figura 3. Ubicación de las unidades de las fincas integradas en el estudio.
Fuente: elaboración propia

5.2.1 Contexto de las fincas evaluadas

El trabajo fue llevado a cabo en fincas cafeteras en el municipio de Cajibío – Cauca. Los suelos de las fincas corresponden a Andisoles, suelos formados sobre materiales piroclásticos, que surgen a partir de erupciones volcánicas. Dependiendo de las condiciones climáticas de las zonas, este tipo de suelos pueden tener una evolución rápida, por lo tanto en la zona de Cajibío que

corresponde a una zona tropical, este tipo de suelos tiene una evolución más rápida que en zonas áridas (Moreno, Ibáñez, y Gisbert, 2011).

Las fincas evaluadas se encuentran distribuidas en diferentes veredas de Cajibío (la Cohetera, Cenegueta, Cimarrona, Guayabal y la Aurelia). Se identificaron fincas con diferentes variaciones en los manejos y prácticas establecidas, cafetales a libre exposición, bajo sombrío con diversidad de cultivos como el plátano, banano, guamo, frutales, entre otros. En su mayoría, los productores se encuentran vinculados a asociaciones de cafeteros, especialmente la Asociación de Productores Agropecuarios de Cajibío – ASPROACA; algunos productores no se encuentran vinculados a ninguna asociación. En el mismo sentido, la asociatividad ha facilitado la transferencia de conocimiento a partir de programas y/o proyectos orientados a garantizar la sostenibilidad de la actividad cafetera, como también, a través del intercambio de saberes y conocimiento empírico de los productores con más años de experiencia. Aspectos que se evidencian en ciertos manejos orientados a la protección y conservación de los recursos naturales, como bosques, humedales, nacimientos de ríos, fauna, etc. Igualmente, la implementación de manejo de residuos, reciclaje y en su mayoría aprovechamiento de los residuos sólidos derivados de la producción de café y demás actividades agropecuarias.

Algunas de las fincas se encontraban lejanas a vías pavimentadas, lo que dificultad el transporte del producto al momento de su comercialización. En otro sentido, los productores en su mayoría son personas entre los 40 – 60 años. En ninguna de las fincas visitadas se percibió el interés o acompañamiento por parte de los integrantes jóvenes de las familias, lo que fue corroborado con los productores al momento de realizar la entrevista al indagar sobre la dedicación de la familia a las actividades de campo. En general los productores mostraron interés y apoyo en todo el proceso de recolección de muestras y entrevistas, compartiendo siempre sus conocimientos y saberes.

5.3 Caracterización del agroecosistema cafetero, considerando los supuestos, prácticas y técnicas que inciden sobre su implementación

Para realizar la caracterización de los agroecosistemas, se buscó la ayuda de una productora de la zona de estudio, con quién se logró hacer el contacto con 17 productores incluidos en el estudio (incluyendo la productora que facilitó la comunicación). En la selección de las fincas objeto de estudio, se consideró que los sistemas productivos tuvieran la mayor homogeneidad posible con relación a sus características biofísicas (tipo de suelo, pendiente, pisos térmicos, paisaje, entre otras) (Shaner, Philipp, y Schmehl, 1988). Así mismo, fue posible la selección de este número de unidades de análisis debido a la disponibilidad de recursos económicos y tiempo requerido para el desarrollo del trabajo de investigación.

5.3.1 Recopilación de información en campo

Se elaboró una entrevista semiestructurada (grabación de audio) con cada uno de los 17 productores. La entrevista fue diseñada considerando los lineamientos establecidos por el Enfoque de Medios de Vida Sostenibles (EMVS) y Marco de Capitales de la Comunidad (MCC), orientados a la evaluación de los productores considerando siete (7) capitales para su desarrollo (humano, social, político, natural, cultural, institucional e infraestructura).

Las preguntas orientativas de la entrevista semiestructurada fueron las siguientes:

- ¿Cuáles son los supuestos, prácticas y técnicas utilizadas por los productores de café en torno al manejo del sistema productivo?
- ¿De dónde proviene el conocimiento para el establecimiento de las prácticas y técnicas en el sistema productivo?

- ¿Cuál es la percepción de los productores en torno al servicio de asistencia técnica de la Federación Nacional de Cafeteros?
- ¿Cuál es la percepción y/o supuestos que rodean la asociatividad en el sector cafetero?

Seguidamente, los audios recopilados fueron transcritos a textos. A partir de las transcripciones realizadas, se identificaron las unidades de análisis a ser categorizadas y codificadas, es decir, los temas o segmentos que responden a las preguntas definidas. Se realizó la revisión de las transcripciones y la verificación nuevamente con los audios, para reducir el sesgo de pérdida de datos y/o datos erróneos. Haciendo uso de algunos de los temas y categorías identificados (anexo 1), se elaboró una encuesta (anexo 2) que fue aplicada a 30 productores de la zona de estudio. No fue posible hacer uso de todos los capitales, temas y categorías identificadas, ya que la encuesta se realizó vía telefónica, impidiendo incrementar la duración de esta. La herramienta fue aplicada a productores registrados en la base de datos de la empresa Ecotecma S.A.S.

La encuesta elaborada para la caracterización de los productores de café considera para el capital social el tema de asistencia técnica, asociatividad y acceso a servicio de agua y energía eléctrica. Para el capital económico el tipo de comercialización, el estado de certificación y el origen de los ingresos económicos. Para el capital natural el tipo de arreglo productivo, el manejo de arvenses, manejo de plagas y enfermedades y el tipo de manejo nutricional, y para el capital cultural el origen del conocimiento.

5.3.2 Análisis estadístico

Con la información recopilada, se realizó un análisis descriptivo (frecuencias) de los datos y se aplicó un conglomerado jerárquico, haciendo uso del método de vinculación intra-grupos y una medida de recuento “Chi-cuadrado”, utilizada para

medidas de frecuencia, con el objeto de clasificar los productores evaluados en grupos con características homogéneas. Igualmente, se aplicó un análisis de correspondencias múltiples - ACM para identificar las relaciones que se presentan entre cada uno de los elementos representativos del capital natural, económico, cultural y social. Como resultado se determinaron las tipologías del agroecosistema cafetero evaluado y se realizó una descripción de cada uno de los capitales disponibles para los productores.

5.4 Determinación de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo en diferentes tipos de manejo nutricional en agroecosistemas de café

5.4.1 Diseño experimental

Se consideró un diseño experimental unifactorial completamente al azar, con un factor (manejo nutricional), tres niveles (químico, orgánico y mixto) y dos repeticiones (tabla 1). Como variables de respuesta se tomaron los parámetros fisicoquímicos del suelo (materia orgánica, nitratos, amonio, pH y humedad).

Tabla 1. Diseño experimental para el análisis comparativo de la disponibilidad de nitrógeno y variables de calidad del suelo en agroecosistemas cafeteros

Factor	Nivel	Variables de respuesta
Manejo nutricional	Químico	Amonio
	Orgánico	Nitratos
	Mixto	Materia orgánica
		pH
		Humedad

A continuación, se muestra la ecuación correspondiente al diseño planteado:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \qquad (1)$$

Donde,

Y_{ij}: Amonio, nitratos, carbono (materia orgánica), pH y humedad

μ: Media poblacional

τ_i: Efecto del i-ésimo tratamiento

ε_{ij}: Error experimental

Se seleccionó el manejo nutricional como factor de análisis, ya que el tipo y calidad del aporte al sistema productivo puede mejorar la estructura del suelo, incrementar el contenido de materia orgánica, mejorar los procesos biológicos y potenciar el incremento de la productividad del suelo (Drinkwater y Snapp, 2007)(Howard, 1940), entre otros beneficios que generan un impacto positivo sobre los condiciones socioeconómicas y culturales de los agroecosistemas cafeteros.

5.4.2 Toma de muestras de suelo

Considerando el diseño experimental establecido, se procedió a realizar la toma de muestras haciendo uso de un muestreo compuesto en cada una de las parcelas evaluadas. El muestreo compuesto consiste seleccionar núcleos de análisis al azar en la zona de estudio seleccionada (lote), se limpia la superficie de hojarasca y se realiza la toma de la muestra haciendo uso de un barreno o pala. La muestra compuesta contempló entre 15 – 20 muestras individuales, considerando que el número de muestras recolectadas para construir la muestra compuesta este entre 15 y 40; a mayor número de muestras se incrementa la precisión y exactitud de los resultados (McKean, 1993). Igualmente, se tuvo en cuenta una misma estacionalidad y operaciones de manejo del sistema productivo, ya que las propiedades del suelo pueden variar bajo diferentes escenarios (USDA, 1999).

En las fincas establecidas, se seleccionaron lotes bajo los diferentes manejos nutricionales; en total fueron muestreados 21 lotes representativos de los 3 manejos nutricionales, de los cuales, 14 lotes corresponden a un manejo mixto, 3

lotes corresponden a un manejo orgánico y 4 lotes corresponden a un manejo químico. En cada unidad de análisis se realizaron dos muestreos compuestos, es decir, dos repeticiones por cada lote evaluado, para un total de 42 muestras. Cada una de las muestras compuestas fue llevada al laboratorio de agroquímica de la universidad del Cauca, en donde se realizó la cuantificación de carbono orgánico, humedad, pH, nitratos y amonio, siguiendo las metodologías propuestas en la tabla 2.

Tabla 2. Métodos para la determinación de parámetros de suelo

DESCRIPCIÓN	FUENTE O MÉTODO
Humedad del suelo	Termogravimetría, agua retenida después de que el suelo se ha saturado y sometido a P = 0,3 atm NTC ISO / IEC 17025: 2005 (Bittelli, 2011) y/o sensores en campo
Concentración de Nitratos	Método espectrofotométrico ultravioleta selectivo
Concentración de Amonio	Método espectrofotométrico
Contenido de Carbono orgánico	Método Walkley and Black (Qureshi, Pariva, Badola, y Hussain, 2012)(Galantini, Rosell, y Iglesias, 1994)
pH	Medidor de pH

5.4.3 Análisis estadístico

A partir de los resultados de laboratorio, se procedió a realizar el análisis estadístico de los datos. Inicialmente, se aplicó un análisis de “outliers” con el fin de eliminar datos atípicos. Seguidamente, se aplicaron análisis estadísticos descriptivos (rango, media, mediana y desviación estándar), con el fin de describir tendencia central y variabilidad del conjunto de datos. Posteriormente, se evaluaron los criterios de normalidad de los datos, haciendo uso del estadístico de Levene para homocedasticidad y la prueba de Shapiro-Wilk para normalidad. Al corroborar que

el conjunto de datos no corresponde a una distribución normal, se utilizó la prueba de Kruskal Wallis para identificar si existen diferencias significativas entre todos los manejos nutricionales (orgánico, químico y mixto) y la prueba U de Mann – Whitney, para identificar entre que parejas (químico – orgánico, químico – mixto, orgánico – mixto) existen las diferencias significativas.

5.5 Propuesta de estrategias agroecológicas orientadas a la reducción de uso de fertilizantes nitrogenados de síntesis

Con la información obtenida a partir del análisis de las entrevistas, la caracterización de los productores de café con base a los capitales disponibles (natural, económico, cultural y social) y el análisis comparativo de la disponibilidad de nitrógeno mineral y calidad fisicoquímica del suelo entre los diferentes manejos nutricionales; se propusieron una serie de estrategias agroecológicas específicas. Las estrategias se proponen a partir de la gestión de conocimiento y se complementan con información secundaria; sirviendo como línea base para el establecimiento y/o fortalecimiento de políticas públicas, lineamientos, programas o proyectos orientados a la sostenibilidad del sector cafetero.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Caracterización del agroecosistema cafetero, considerando los supuestos, prácticas y técnicas que inciden sobre su implementación

Los agroecosistemas cafeteros son sistemas complejos, en los cuales se puede observar la dinámica e interrelación entre el componente ecológico, económico, social, cultural y político-institucional. A través del entendimiento de dicha dinámica, es posible identificar los supuestos, prácticas y técnicas que llevan a los caficultores a la implementación de uno u otro tipo de sistema productivo. Así mismo, la variedad de elementos considerados en la dinámica, permiten vislumbrar las diferentes categorías que caracterizan la vida cotidiana de los caficultores, logrando de esta forma caracterizar cada uno de los sistemas bajo un enfoque de sostenibilidad.

6.1.1 Capital social asociado a los productores de café en el agroecosistema cafetero de Cajibío

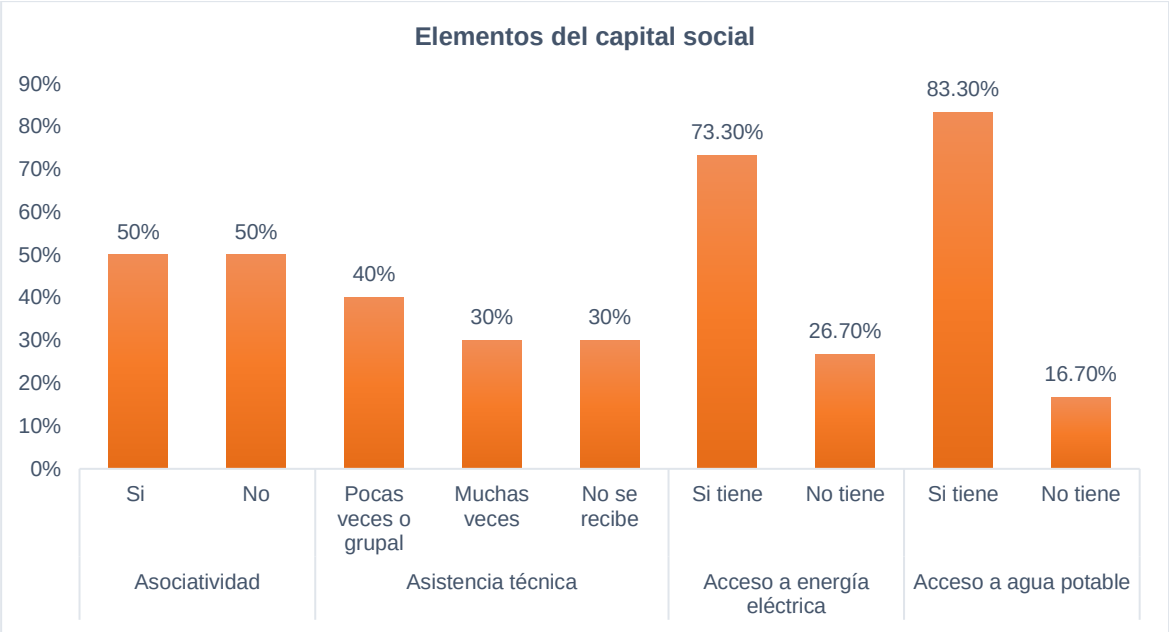

Figura 4. Análisis descriptivo de elementos asociados al capital social. Fuente: elaboración propia

En relación la capital social, se evidencia la falta de asociatividad de los productores en un 50% de los casos, condición que afecta las capacidades individuales y sociales del productor, considerando que la ausencia de procesos asociativos debilita la estructura del tejido social (Herrera, 2000). La falta de asociatividad se genera debido a que algunos productores desconocen los beneficios que pueden obtener al estar asociados, no disponen de tiempo para dedicarse a las labores de la asociación, o desconfían de las personas que lideran las asociaciones, entre otros aspectos.

Sin embargo, a pesar de que se refleja un alto porcentaje de productores no asociados, también hay productores asociados (30%) que reconocen que bajo un esquema asociativo se puede mejorar la articulación entre los productores e instituciones del sector productivo, facilitar los canales de acceso a información, servicios básicos y la inclusión en mercados que brindan mejores condiciones para la adquisición del producto, entre otros beneficios que permiten el fortalecimiento

del capital social; otorgando una mayor resiliencia e incidiendo sobre la disminución de la vulnerabilidad frente a eventos que puedan afectar su proceso de desarrollo (Toro, 2017).

En el mismo sentido, es importante resaltar que existen diversas asociaciones donde se brindan servicios a los productores, generalmente orientados a incrementar la tracción y garantizar su permanencia en la asociación. Por lo cual, es importante definir un conjunto de estrategias para el fortalecimiento de la red de actores, en donde se busque una sinergia que facilite la focalización de esfuerzos para estructurar un número bajo de organizaciones que centralicen los servicios.

Por otro lado, el acceso a los servicios básicos de agua y energía eléctrica está condicionado por diversos factores de nivel económico, social, cultural y físico. Los resultados obtenidos muestran un nivel de acceso a agua potable y energía eléctrica correspondiente a un 83 y 73% respectivamente. El alto porcentaje de productores con acceso a los servicios básicos facilita el desarrollo social de la familia, como también, la reducción de la vulnerabilidad a eventos que afecten negativamente el estado de salud de la familia, principalmente derivados de amenazas asociadas a la cantidad y calidad del recurso hídrico. En algunos casos evaluados, las fincas se encontraban ubicadas en zonas más alejadas de la cabecera municipal, lo que dificulta la provisión de los servicios, problema que se generaliza en zonas rurales a nivel nacional (Perry, 2010). En el mismo sentido, se visualiza una relación directa entre los predios que cuentan o no cuentan con acceso a los dos servicios básicos simultáneamente (figura 5), posiblemente debido a que la finca donde se encuentra establecido el cultivo no corresponde al lugar de residencia de la familia, por lo tanto, no cuenta con ningún tipo de servicio requerido por la familia.

Siguiendo el contexto expuesto, algunos productores tienen más de un tipo de mecanismo de acceso al recurso de agua potable y energía, como por ejemplo estructuras que les permite obtener agua subterránea o capturar agua lluvia, lagunas y humedales en el predio de la finca o el uso de leña, pipas de gas o

biodigestores para la obtención de energía. La diversificación de los mecanismos identificada para el acceso a los servicios básicos, mejora las condiciones de adaptabilidad de los productores frente a periodos de escasez o dificultad en la disponibilidad del recurso hídrico y fuentes de energía eléctrica en el sistema productivo (CEPAL, 2015). Sin embargo, no fue posible considerar todas las categorías para el análisis cuantitativo, por lo que se requiere incluir una evaluación del capital físico, considerando no solo el acceso al servicio sino también los mecanismos por los cuales acceden.

En otro sentido, la asistencia técnica favorece la transferencia y apropiación de conocimiento en los productores. Se observó que un 40% de los productores recibe asistencia técnica pocas veces o de forma grupal, 30% recibe muchas veces y 30% no recibe asistencia. Un alto porcentaje (70%) recibe asistencia técnica, ya sea muchas veces o solo de forma grupal, lo que facilita una mayor capacidad para la solución de problemas que afecten la producción, evitando pérdidas derivadas de deficientes prácticas o técnicas que afectan el cultivo, lo que finalmente se ve representado en una mayor rentabilidad.
Sin embargo, algunos productores tienen una mala perspectiva de los esquemas de asistencia técnica, mencionando la falta de confianza en las recomendaciones que dan los técnicos al desconocer los contextos específicos de cada sitio y la ausencia de un acompañamiento particular; la mala perspectiva de los productores en torno a la asistencia técnica, conlleva a proponer mecanismos que permitan mejorar la implementación y el alcance de los programas de asistencia técnica otorgados por las instituciones a cargo.

Por otro lado, se observó una relación directa entre los productores que reciben asistencia técnica y el estado de asociatividad (figura 5), probablemente debido a que la generación de espacios de discusión, como es el caso de los talleres impartidos en el marco de una asistencia técnica grupal o la asistencia individual, favorecen el intercambio de conocimiento entre los productores y la generación de ideas orientadas a la consecución de logros conjuntos (Snider, Gutiérrez, Sibelet, y Faure, 2017).

Complementariamente, se observó una relación directa entre los productores asociados y que reciben asistencia técnica, con una condición de acceso a los servicios básicos de agua potable y energía eléctrica (figura 5). Siendo consistente con el beneficio de facilitar el acceso a servicios básicos, obtenido al estar asociado o al recibir asistencia técnica.

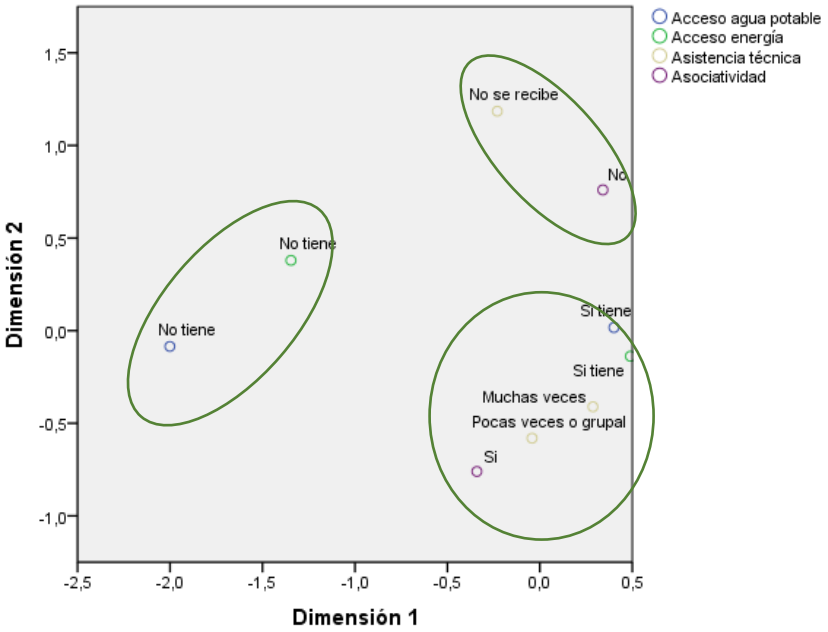

Figura 5. Análisis de Correspondencias Múltiples para el capital social. Fuente: elaboración propia

6.1.2 Capital económico asociado a los productores de café en el agroecosistema cafetero de Cajibío

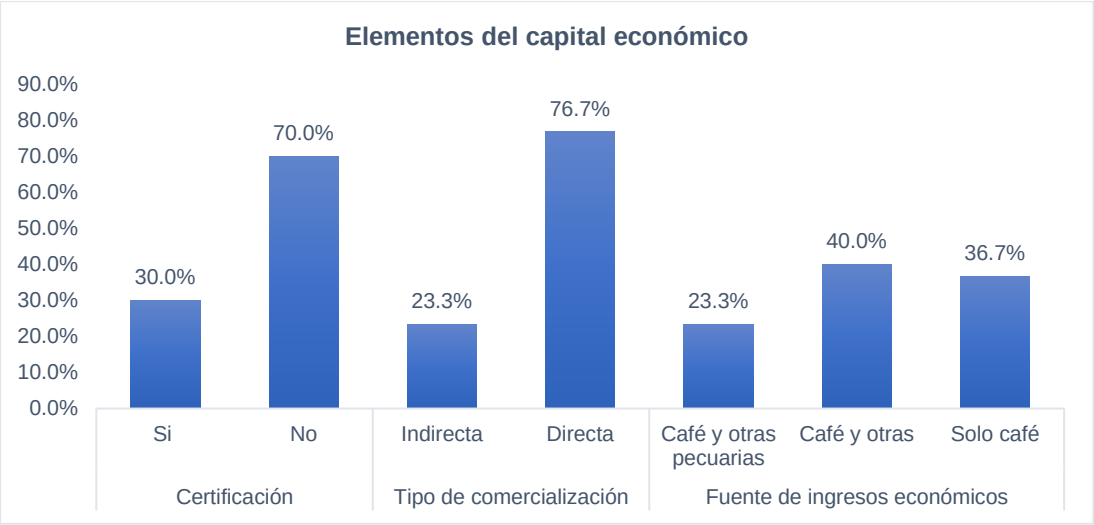

Figura 6. Análisis descriptivo de elementos asociados al capital económico. Fuente: elaboración propia

En relación con el componente de certificación de cultivos, se observó mayor presencia de productores que no cuentan con ninguna certificación para el cultivo de café (70%). La falta de productores certificados se debe al desconocimiento del proceso para la obtención de la certificación, desconocimiento de los beneficios que se pueden obtener al tener productos certificados, la percepción en torno a la dificultad para la obtención de la certificación, en términos de tiempo y costos, entre otros factores. Siendo consistente con algunos autores, que resaltan la necesidad de realizar cambios en las prácticas de manejo del cultivo e incurrir en un incremento de los costos de producción para garantizar el cumplimiento de los estándares definidos para acceder a certificaciones (Ibanez y Blackman, 2016); limitando de esta forma, el acceso a información, canales de comunicación y demás mecanismos que pueden potencializar la rentabilidad del cultivo.

En contraste, hay un 30% de productores que cuentan con certificaciones, resaltando beneficios como el establecimiento e implementación de lineamientos, métodos, prácticas, técnicas y herramientas orientados al fortalecimiento de los

mecanismos de producción y comercialización de los productos agrícolas, gracias a los estándares, políticas y requisitos para la obtención de la certificación, implementación de estrategias orientadas a la conservación y reducción de impactos negativos sobre los recursos naturales, acceso a programas y/o proyectos, inclusión en nuevos mercados, entre otros. Beneficios que son consistentes con estudios realizados en agroecosistemas cafeteros a nivel internacional, donde se resalta el papel de las certificaciones para mejorar las prácticas agrícolas y acceso al mercado (Van Rijsbergen, Elbers, Ruben, y Njuguna, 2016)(Ibanez y Blackman, 2016), como también, la reducción la vulnerabilidad de los pequeños productores de café (Bacon, 2005). Así mismo, (Meemken, Spielman, y Qaim, 2017; Mitiku et al., 2018; Snider et al., 2017) reconocen el proceso de certificación como un elemento importante en el establecimiento de estrategias orientadas a una producción sostenible en los sistemas agrícolas y el fortalecimiento de las condiciones de calidad de vida de los pequeños productores, en términos de acceso a educación, mejora de la salud, intercambio e incremento del conocimiento, entre otros. Igualmente, se observó una relación directa entre los productores certificados y que realizan una comercialización directa del producto (figura 7), resaltando la importancia que tienen las certificaciones en el fortalecimiento del componente de diversificación de canales y acceso al mercado.

Por otro lado, se observó que un 76% de los productores realiza la comercialización directa del producto. El mecanismo de venta directa del producto reduce los costos asociados al uso de intermediarios, facilita la obtención de beneficios económicos extras por sobretasas y permite crear vínculos de largo plazo entre oferta y demanda del producto. Algunos estudios resaltan la comercialización directa como una estrategia para asegurar el suministro de café sostenible y satisfacer la demanda del consumo (Borrella, Mataix, & Carrasco-Gallego, 2015).

Sin embargo, en el 23% de los casos los productores realizan una comercialización indirecta (intermediarios) del producto, principalmente cuando no se cuenta con los recursos económicos necesarios para suplir los requerimientos de insumos para la

producción o cuando la ubicación de las fincas es muy distante de la zona urbana. En los casos mencionados, los productores tienden a hacer uso de intermediarios, ya que facilitan el proceso de transporte del producto reduciendo los costos asociados u otorgan créditos para la compra de insumos cuando no se ha tenido ingresos económicos por la cosecha. Factores que son consistentes con estudios donde la distancia entre los productores y los sitios de compra, el costo del transporte y la asignación de tierras para otros cultivos, afecta negativamente la comercialización del café (Diro, Assefa, y Erko, 2016).

En adición, la volatilidad de la dinámica del mercado global de café, afecta de forma directa los procesos comerciales locales (Borrella, Mataix, y Carrasco-Gallego, 2015), ocasionando que los productores realicen la búsqueda del mejor postor en términos de oferta económica para la venta de su producto o en los casos donde el café deja de ofrecer la rentabilidad requerida para cubrir los costos de producción y suplir las necesidades básicas de las familias, se impulsa la incursión en nuevas actividades por fuera de la finca, tal como se observa en la figura 7, donde se presenta una relación cercana entre los productores que no cuentan con certificaciones, realizan una comercialización indirecta del producto y se encuentran desarrollando la actividad cafetera junto a otras actividades que no están relacionadas con la producción agropecuaria.

Bajo el contexto expuesto, como una alternativa para afrontar los problemas derivados de la comercialización indirecta, surge la economía colaborativa entre los productores; con el propósito de reducir costos asociados a las actividades de comercialización del café, como también, el intercambio de información concerniente al manejo del cultivo para evitar pérdidas. La economía colaborativa es resaltada por algunos autores (Camacho, 2015; Minet et al., 2017; Tang, 2018) que mencionan su importancia para el fortalecimiento de las cadenas productivas, desde las tareas básicas de producción hasta el intercambio y generación de información y conocimiento relevante para el sector agrícola, potenciando de esta forma todos los eslabones de la cadena productiva e incidiendo sobre las condiciones de calidad de vida de los actores relacionados.

Por otro lado, se evidenció que un 40% de los productores tienen como principal fuente económica la actividad agrícola cafetera en conjunto con actividades desarrolladas por fuera de la finca. La diversificación de actividades económicas que no tienen relación con el componente agropecuario, se debe principalmente a la búsqueda de alternativas que permitan suplir los requerimientos económicos necesarios para garantizar la disponibilidad y acceso a los recursos básicos de las familias productoras, en un contexto donde las poblaciones rurales son proclives a ser más vulnerables (Breu, Guggenbichler, y Wollmann, 2003). Igualmente, al no tener una dedicación exclusiva a la producción de café, no se concentran esfuerzos en mejorar las condiciones de accesibilidad al mercado, como por ejemplo la obtención de procesos de certificación o la venta directa del producto, tal como se observa en la figura 7, donde los productores que realizan otras actividades por fuera la finca presentan mayor relación con la comercialización indirecta y la falta de certificaciones; al contrario de aquellos productores (37%) que están dedicados solo a la producción de café como principal actividad económica, casos en donde se presenta una mayor relación con el proceso de comercialización directa y la obtención de certificaciones.

Siguiendo el contexto expuesto, hay presencia de productores (23%) que tienen dedicación a la producción de café en conjunto con otras actividades pecuarias. La integración de actividades pecuarias u otras actividades agrícolas con el cultivo de café, es una alternativa para incrementar los ingresos económicos continuando con el desarrollo de actividades en la finca. Igualmente, a partir de las actividades pecuarias se generan productos o residuos que sirven como complemento para la producción de café y el cubrimiento de los costos básicos de vida, como es el caso del reúso de residuos orgánicos generados como insumo para la producción de café, la producción y venta de abono orgánico a partir de los excrementos del ganado o la venta de productos adicionales derivados de la actividad pecuaria (leche, carne, huevos, entre otros). Siendo consistente con algunos estudios que señalan el beneficio económico obtenido de la venta de abono orgánico producido a partir de actividades pecuarias en sistemas integrados (McRoberts et al., 2018),

como también el beneficio económico generado en la integración de actividades agropecuarias y su influencia sobre la seguridad alimentaria de los productores (Amede y Delve, 2008; Shikuku et al., 2017)

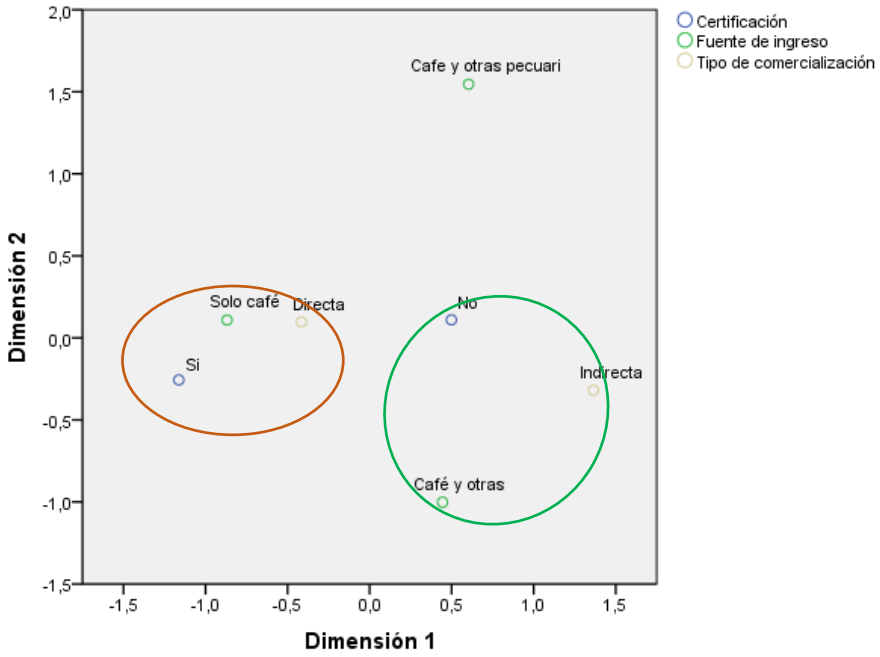

Figura 7. Análisis de Correspondencias Múltiples para el capital económico. Fuente: elaboración propia

6.1.3 Capital natural asociado a los productores de café en el agroecosistema cafetero de Cajibío

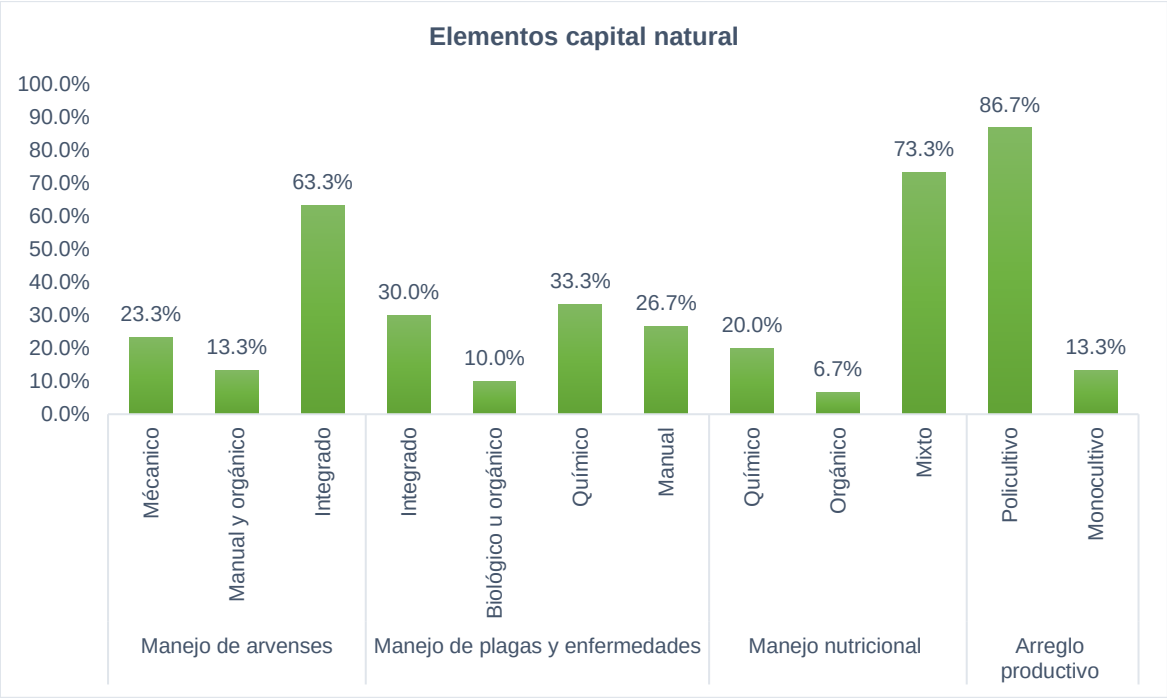

Figura 8. Análisis descriptivo de elementos asociados al capital económico. Fuente: elaboración propia

En relación con el manejo de arvenses, se evidenció mayor presencia de los productores que realizan un manejo de forma integrado (63%). El elevado porcentaje de manejo integrado de arvenses se debe a que en la mayoría de los casos los productores interactúan con diversos métodos para eliminar las arvenses, dependiendo del grado de incidencia sobre el terreno. Igualmente, bajo un manejo integrado se realiza la aplicación de agroquímicos (herbicidas), que corresponde a las recomendaciones brindadas a los productores en el marco de la asistencia técnica grupal e individual. La observación en el uso de agroquímicos por parte de pequeños productores, contrasta con algunos estudios donde se observa que en pequeñas unidades productivas los productores disponen de mano de obra familiar, lo que conlleva a que realicen un control manual de arvenses en lugar de recurrir al uso de agroquímicos (Bellamy, 2011)(Pretty, 2012). En este caso de

estudio el porcentaje obtenido para un manejo manual u orgánico (13%) está más relacionado con la intención de reducir el uso de agroquímicos para evitar impactos sobre el medio ambiente, reducir costos asociados a la compra de insumos o porque la incidencia de las enfermedades y plagas se logra mantener en niveles adecuados bajo el manejo manual. Así mismo, se establece un manejo orgánico de arvenses cuando se define un manejo nutricional orgánico, ya que se trata de direccionar todas las actividades agronómicas bajo el principio del manejo orgánico, tal como se relaciona en la figura 9.

En el mismo contexto, cuando no se cuenta con la mano de obra requerida para realizar un manejo manual de arvenses, pero se mantiene el objetivo de reducir el uso de agroquímicos; los productores optan por realizar un manejo mecánico (23%), haciendo uso de guadaña. Siendo consistente con la consideración del manejo mecánico como una estrategia que permite un adecuado tratamiento de arvenses sin alterar las condiciones del suelo, reduciendo el tiempo de trabajo, la mano de obra requerida y evitando el uso de agroquímicos (Gallandt, 2014). Igualmente, algunos productores tienden a realizar un manejo de arvenses selectivo, con el fin de mantener la cobertura en el suelo; lo que favorece la disponibilidad hídrica al reducir la evaporación, evita la erosión, evita la proliferación de arvenses más agresivos, entre otros factores benéficos para el sistema productivo. Coincidiendo con algunos estudios que resaltan los beneficios derivados del mantenimiento de la cobertura vegetal en el suelo sobre los servicios ecosistémicos (Lemessa y Wakjira, 2015).

Por otro lado, se observó mayor incidencia de productores que aplican algún tipo de agroquímico para el control de plagas y enfermedades, ya sea bajo un manejo estrictamente químico (33%) o bajo la integración de diferentes métodos en asocio con el manejo químico, es decir, un manejo integrado (30%). Al igual que el manejo químico de arvenses, este tipo de manejo es sugerido por los programas de asistencia técnica a los pequeños productores. Igualmente, algunos productores expresan la necesidad de utilizar agroquímicos cuando se incrementa la incidencia de plagas y enfermedades por causa de la variabilidad climática, aparecen

enfermedades en plantas que suponen son resistentes o perciben que las especies resistentes a las enfermedades no otorgan la misma calidad en taza. La percepción acerca de la calidad, contrasta con algunos estudios donde se demuestra que las especies de café resistentes mantienen las mimas condiciones de calidad en taza (Vossen, 2009), por otro lado, algunos estudios demuestran la incidencia de la variabilidad y cambio climático en el incremento en la aparición de plagas y enfermedades (Avelino et al., 2015), siendo consistente con factores que direccionan el uso de agroquímicos en los productores.

Sin embargo, se presentaron casos donde los productores realizan un manejo manual (27%) y un manejo biológico u orgánico (10%) de las plagas y enfermedades. La realización de un manejo manual se presenta en contextos donde no se resaltan las enfermedades y plagas como uno de los principales problemas asociados a la producción de café, indicando que bajo un monitoreo adecuado del cultivo se logra prevenir la infestación por algún tipo de elemento fitosanitario. En otro sentido, el manejo biológico u orgánico se presenta en contextos donde se ha realizado la transición del manejo nutricional químico a un manejo nutricional orgánico; donde se propone el uso de bio-preparados para combatir la presencia de plagas y enfermedades (Infante, 2011). Condición que se evidencia en la figura 9, donde el manejo orgánico de plagas y enfermedades presenta relación con el manejo nutricional orgánico.

Respecto al manejo nutricional, se observó un mayor porcentaje de productores con un manejo mixto (73%), principalmente debido a que en el proceso de beneficio de café se generan residuos (cereza de café) que utilizan como abono orgánico para el cultivo, no obstante, en algunos casos el proceso de beneficio de café no es generado en el mismo lote donde se encuentra el cultivo o el manejo agronómico ha sido implementado de forma química desde el establecimiento del cultivo, perdiendo de vista los efectos positivos que trae para el suelo la aplicación de materia orgánica; situaciones en donde prevalece el manejo nutricional químico (20%).

Por otro lado, se observó una baja incidencia en el manejo nutricional orgánico (6.7%). En los casos evaluados, el manejo orgánico del cultivo esta direccionado por la búsqueda de alternativas que potencien los ingresos económicos, considerando que el café orgánico puede venderse a mejores precios en el mercado, siendo consistente con estudios que demuestran los beneficios económicos derivados de la producción de café orgánico (Chiputwa, Spielman, y Qaim, 2015). Igualmente, los productores son conscientes de los efectos negativos que tiene el uso de agroquímicos sobre el medio ambiente o en algunos casos han sido inducidos a realizar el cambio por personas cercanas que han avanzado en estudios relacionados con el sector agrícola y reconocen los beneficios económicos y sobre el medio ambiente que se pueden generar bajo un manejo nutricional de tipo orgánico.

No obstante, en diferentes zonas las características topográficas del terreno no permiten la adaptación de un manejo orgánico, ya que poder transportar los bultos de abono hacía terrenos con pendientes muy altas dificultad su implementación, por lo tanto, realizan un manejo orgánico en las zonas cercanas al lugar de generación del abono orgánico, pero en las zonas alejadas se sigue manteniendo un manejo químico, efectuando un manejo orgánico sectorizado. En el mismo sentido, algunos productores agregan abono orgánico a las plantas que observan en un estado deficiente; realizando de esta forma un manejo orgánico selectivo. Igualmente, los productores resaltan la dificultad de realizar el cambio de manejo químico a orgánico, ya que se requiere mucho tiempo para poder mantener las condiciones agronómicas requeridas por la planta; como también, la dificultad en realizar un manejo completamente orgánico cuando la finca no cuenta con la generación de los insumos suficientes para los bio-preparados, siendo necesaria su compra y de esta forma elevando los costos de producción.

Por otro lado, se evidenció una mayor representación del arreglo productivo de tipo policultivo (87%); los productores enfatizan la necesidad de realizar una integración de cultivos para mejorar la productividad del sistema a partir de la obtención de productos agrícolas para la venta o autoconsumo, incrementar el aporte de materia

orgánica al suelo o favorecer la fijación de nitrógeno con la siembra de leguminosas (maíz, fríjol, etc.). Los beneficios de la integración de cultivos u otras especies forestales, es consistente con estudios que han demostrado su eficiencia para potenciar los beneficios económicos del agricultor (Ho, Hoang, Wilson, y Nguyen, 2017; Jezeer, Santos, Boot, Junginger, y Verweij, 2018a; van Asten, Wairegi, Mukasa, y Uringi, 2011) mitigar los impactos generados por la variabilidad y cambio climático (Moreira et al., 2018), entre otros.

Igualmente, algunos productores destacan la integración de árboles frutales (cítricos, zapotes, mango, guamo, aguacate, entre otros), como estrategia para la generación de sombrío al cultivo de café o venta de otros productos agrícolas; sin embargo, los productores resaltan que una integración del cultivo de café con cítricos puede afectar el cultivo, siendo coherente con estudios que recomiendan mantener una distancia adecuada entre los árboles frutales y las plantas de café, con el fin de evitar afectación de los factores eco-fisiológicos y del suelo (Mithamo, 2013); no obstante, algunos estudios muestran que la integración del cultivo de café, específicamente la especie *Arábica*, con árboles frutales (mango y yaca), favorece el secuestro y almacenamiento de carbono en el suelo (Tumwebaze & Byakagaba, 2016), favoreciendo los procesos biológicos y fisicoquímicos en el suelo.

En el mismo sentido, los productores establecen un arreglo productivo de tipo policultivo con el propósito de poder satisfacer las necesidades básicas de las familias, ya sea a través de la diversificación de ingresos económicos o haciendo uso de los productos agrícolas para autoconsumo; mecanismos requeridos bajo escenarios en los cuales se dispone de poca tierra para el desarrollo de las actividades productivas, siendo necesario buscar alternativas que disminuyan las brechas de inseguridad alimentaria y económica que no pueden ser otorgadas por el manejo del sistema productivo como monocultivo. Sin embargo, son pocos los productores que logran rentabilizar la producción de otros cultivos, debido a que los costos asociados a la comercialización son más elevados que los ingresos

obtenidos; por ello, la generalidad es utilizar los productos agrícolas adicionales como autoconsumo.

Adicionalmente, se observó una relación directa entre el establecimiento de policultivos y el manejo químico e integrado de plagas y enfermedades, como también, con el manejo integrado de arvenses; posiblemente debido a que bajo la diversificación de especies vegetales se propicia la proliferación de arvenses, enfermedades y plagas (Pretty, 2012); requiriendo de esta forma el uso de diferentes mecanismos para su control. Igualmente, se presenta relación con el manejo nutricional mixto, considerando que los residuos generados por otros cultivos sirven como insumo para los bio-preparados, lo que facilita la aplicación de abonos orgánicos en el cultivo de café.

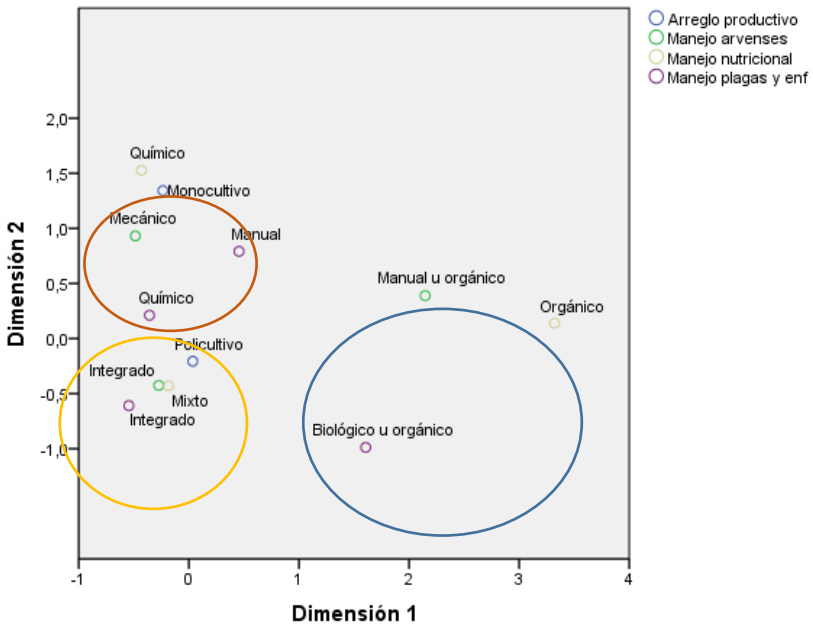

Figura 9. Análisis de Correspondencias Múltiples para elementos del capital natural. Fuente: elaboración propia

6.1.4 Capital cultural asociado a los productores de café en el agroecosistema cafetero de Cajibío

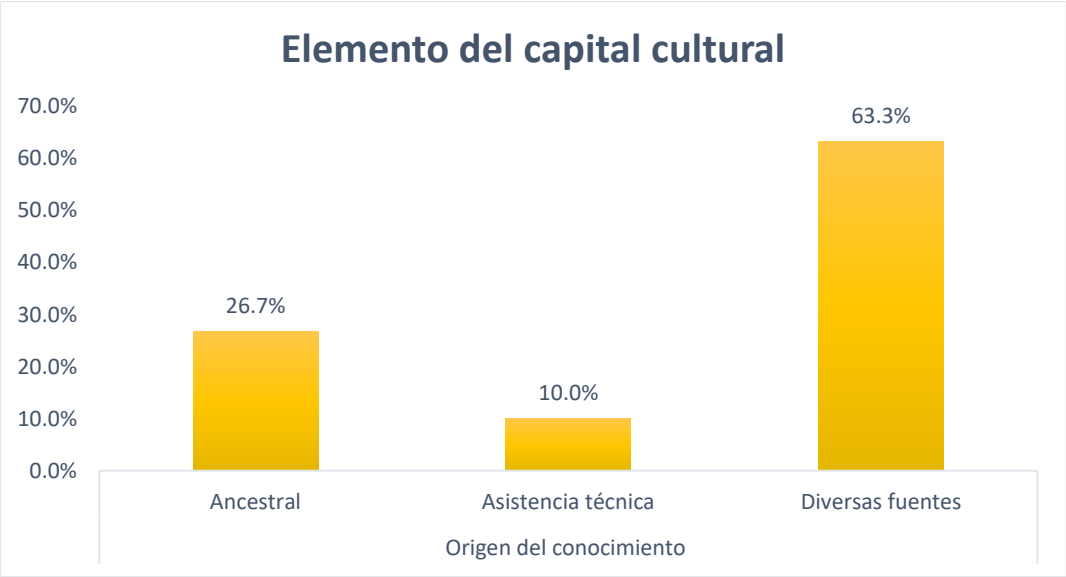

Figura 10. Análisis descriptivo de elementos asociados al capital cultural. Fuente: elaboración propia

En el capital cultural (figura 10) prevalece la adquisición de conocimiento por diversas fuentes (ancestral, asistencia técnica, talleres, programas o proyectos, experiencias compartidas con otros productores, academia, entre otras) correspondiente a un 63% de los productores; la diversificación de fuentes para la gestión del conocimiento inciden sobre la toma de decisiones en la selección e implementación de prácticas y técnicas de manejo agronómico del cultivo, apropiación de estrategias de adaptación, fortalecimiento del tejido social, entre otros aspectos que repercuten directamente en la sostenibilidad del sistema. Siendo consistente con algunos estudios que resaltan como la combinación de diferentes fuentes de conocimiento (empírico, interacción con otros productores y asistencia técnica) ayudan al entendimiento de los diferentes procesos llevados a cabo en la actividad agrícola (Pauli, Barrios, Conacher, y Oberthür, 2012).

Por otro lado, en algunos casos la implementación de prácticas y técnicas para el manejo del cultivo ha sido transmitido a través de las generaciones de la familia

(27%); en estos casos los productores han estado involucrados toda la vida en el desarrollo de la actividad agrícola cafetera conservando prácticas ancestrales, como la realización de actividades considerando las fases de la luna, el uso de elementos naturales para afrontar la aparición de plagas y enfermedades, la definición de características para el establecimiento del cultivo, estimular las plantas a través del diálogo, entre otros factores culturales que caracterizan la cosmovisión de los productores. No obstante, en algunos casos resaltan la necesidad de modificar algunas prácticas culturales, considerando que afectan el medio ambiente, como, por ejemplo, la tala de bosques para la expansión del cultivo o como insumo para la cocina, el vertimiento directo a fuentes de agua superficial de los residuos generados en el proceso de producción, entre otros.

6.2 Tipificación del agroecosistema cafetero en el municipio de Cajibío

A partir del gráfico generado (figura 11) se identificaron cuatro (4) clúster o grupos, compuestos por las fincas que poseen características similares en los capitales evaluados. Los grupos I y III representan la mayor cantidad de productores asociados, que cuentan con alguna certificación, realizan una comercialización directa del producto, tienen acceso a agua potable y energía eléctrica y realizan un manejo mixto del cultivo. El grupo II tiene una mayor representación de los productores que reciben asistencia técnica pocas veces o de forma grupal, la principal fuente de ingresos corresponde solo al cultivo de café, no hay presencia de productores certificados, el conocimiento ha sido transmitido principalmente por sus ancestros, todos realizan un manejo de plagas y enfermedades de forma manual u orgánica, el mayor porcentaje de productores no cuenta con acceso a agua potable y no hay presencia del tipo de manejo nutricional orgánico. El grupo IV sobresale por presentar un mayor porcentaje de productores que reciben asistencia técnica muchas veces, todos cuentan con un arreglo de policultivo u otras plantas asociadas, mayor incidencia de productores que han adquirido el conocimiento por diversas fuentes, mayor porcentaje de productores que realizan una comercialización indirecta y que no cuentan con acceso a agua potable.
En la tabla 5, se observan todas las características de los grupos identificados.

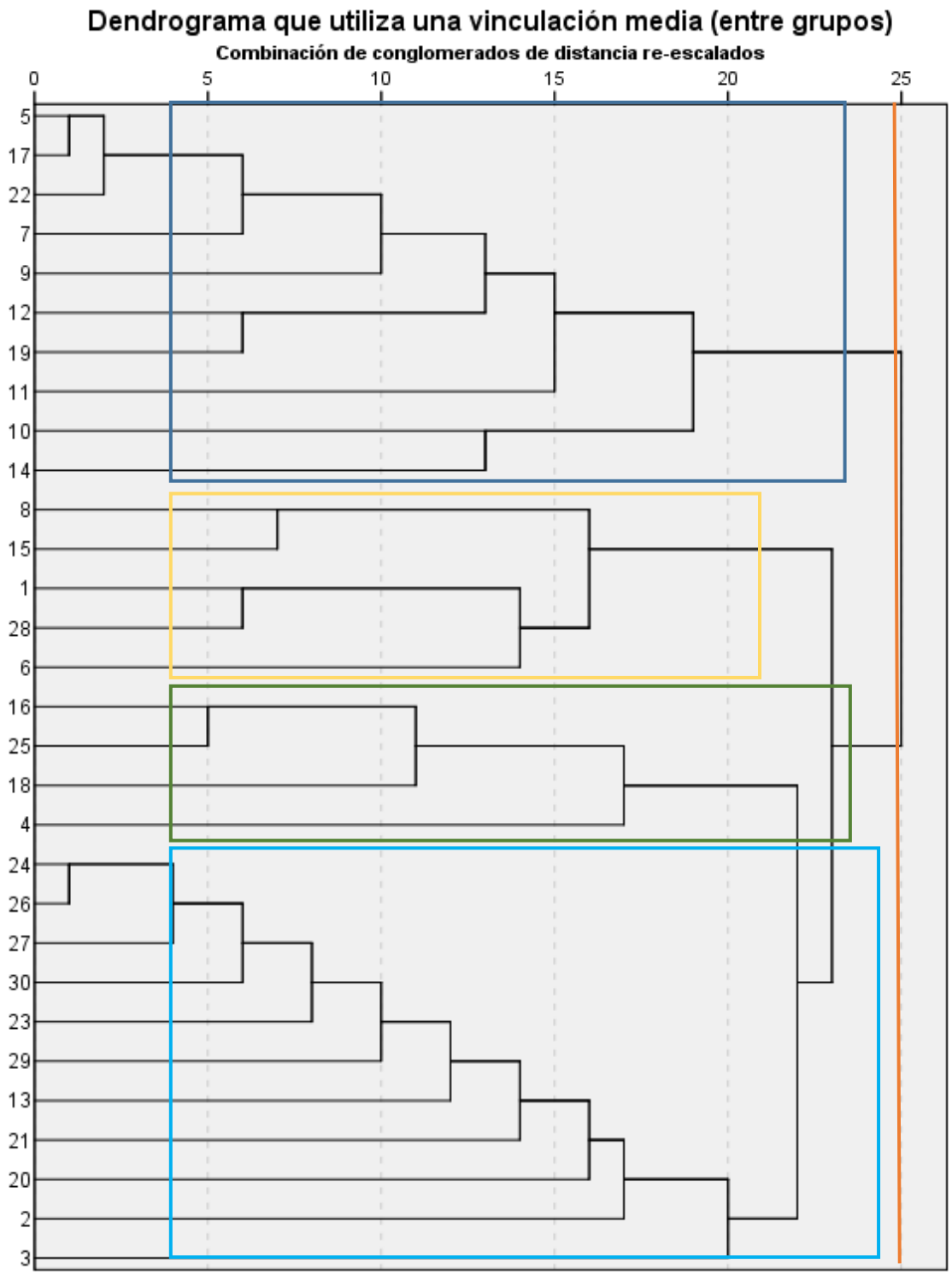

Figura 11. Análisis de conglomerados – Clasificación de los productores de acuerdo con la homogeneidad en sus características. Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Clasificación de productores en agroecosistemas de café de Cajibío

Grupo	Capital social	Capital económico	Capital cultural	Capital natural
I	El 60% de los productores se encuentran asociados. El 60 % de los productores recibe pocas veces asistencia técnica, el 30% no recibe nunca asistencia y solo el 10% la recibe muchas veces durante el ciclo productivo. El 90% de los productores cuenta con acceso a agua potable y energía eléctrica. Solo un 10% no cuenta con acceso a los servicios básicos mencionados.	El 50% de los productores se dedican al café y a otras actividades no agropecuarias. Un 40% se dedica solo al cultivo de café y un 10% tiene café y otras actividades agropecuarias. El porcentaje de productores con cultivo certificado corresponde a un 50% y el tipo de comercialización es realizada en un 80% de forma directa.	El conocimiento proviene en un 70% de diversas fuentes, como la academia, programas de certificación, reuniones intercambio de saberes entre productores, programas y/o proyectos, entre otras. El 30 % del conocimiento es referido como de origen ancestral, es decir, el transferido a través de las generaciones.	Un 80% de los productores realizan un manejo integrado de arvenses. Hay presencia de productores con manejo mecánico de arvenses (10%) y manual u orgánico (10%), y un 20% realiza manejo biológico u orgánico de plagas y enfermedades. Así mismo, el 80% de los productores realiza un manejo nutricional mixto del cultivo, con baja presencia de manejos solamente orgánico (10%) y químico (10%). El 90% maneja un arreglo de policultivo.

II	Mayor incidencia de productores no asociados (60%). La asistencia técnica se recibe muy pocas veces a través de los ciclos productivos o solamente de forma grupal (100%), en talleres convocados por los asistentes técnicos de la Federación. Se evidencia un incremento de los productores con falta de acceso a agua potable (40%) y energía eléctrica (40%).	La mayor fuente de ingreso corresponde a la producción del cultivo de café (60%). Poca inmersión en actividades por fuera de la finca o en integración de otras actividades agropecuarias como fuentes de ingreso, con un 20% cada una. Los productores no cuentan con ninguna certificación para el cultivo (100%). El tipo de comercialización se realiza en su mayoría de forma directa (80%).	El conocimiento proviene principalmente de sus ancestros (60%). Es decir que las prácticas y técnicas utilizadas provienen de la transferencia de saberes y conocimiento por parte de sus padres, abuelos y demás familiares. Muy poca incidencia en la transferencia de conocimiento por parte de la asistencia técnica (20%) u otras fuentes externas (20%).	Se realiza en mayor medida (60%) el manejo de arvenses integrado. El manejo mecánico y manual u orgánico se realiza en un 20% cada uno. El manejo de plagas y enfermedades se realiza de forma manual en un 100%. Se realiza una recogida constante de granos RERE, para evitar la presencia y ataque de la broca. No se resaltan las enfermedades como uno de los problemas principales. Mayoritariamente presentan arreglos de policultivos o integración de otras especies para generación de sombra en el cultivo de café (80%).

				El manejo es realizado de forma mixta (60%) y química (40%), hay ausencia de manejos exclusivamente orgánicos.
III	Un 75% de los productores se encuentran asociados. Se evidencian los dos extremos en el aspecto relacionado con asistencia técnica, un 50% recibe muchas veces asistencia durante el año y el otro 50% nunca recibe. El 100% de los productores cuenta con acceso a agua potable y energía eléctrica.	Principalmente se tiene dedicación exclusiva al cultivo de café (50%), hay presencia de productores con dedicación a otras actividades agropecuarias y no agropecuarias, con un 25% cada una. El 50% de los productores cuenta con alguna certificación. El tipo de comercialización del café se realiza únicamente de forma directa (100%), no se da la presencia de intermediarios para su comercialización.	No hay transmisión de conocimiento de forma ancestral. El conocimiento es adquirido a través de la asistencia técnica (50%) o de otras fuentes adicionales (50%).	El manejo de arvenses se realiza principalmente de forma mecánica (75%), es decir, hacen uno de guadaña para el corte. Un bajo porcentaje (25%) hace uso de métodos orgánicos o manuales para el manejo de arvenses, es decir, el plateo con machete. El manejo de plagas y enfermedades se realiza mayormente de forma química (75%), con un bajo porcentaje (25%) dedicados al manejo integrado. El manejo

				nutricional se da en mayor medida de forma mixta (75%) y en menor medida de forma química (25%). Se observa presencia por igual (50%) de los dos tipos de arreglo productivo (monocultivo y policultivo).
IV	Principalmente los productores pertenecen a alguna asociación (58.3%), aunque hay alta presencia (41.7%) de productores que no se encuentran asociados. La asistencia técnica se recibe muchas veces en un 58.3% de los casos, no se recibe en un 33.3% y se recibe pocas veces o de forma grupal en un 8.3%.	El 41.7% y 33.3% de los productores tienen dedicación al café y otras actividades no agropecuarias y café y otras actividades agropecuarias respectivamente. El 75% no cuenta con ninguna certificación para el cultivo. La comercialización se realiza de forma directa en un 66.7% de los casos, evidenciándose la presencia	El conocimiento proviene en un 83.3% de diversas fuentes (talleres, grupos de productores, cursos, entre otras) y en un 16.7% tiene origen ancestral.	El manejo de arvenses se da en un 75% de forma integrada, con presencia de manejos solamente orgánico o manual (8.3%) y manejo mecánico (16.7%). El manejo de plagas se realiza especialmente de forma química (58.3%), pero, hay presencia de manejos de tipo biológico u orgánico (8.3%) y de forma manual (33.3%).

	El 83.3% de los productores cuenta con acceso a agua potable y el 58.3 % cuenta con acceso a energía eléctrica. Se observa una mayor presencia de productores sin acceso a energía eléctrica que agua potable.	de productores que hacen uso de intermediarios para su comercialización (33.3%).		El 75% realiza un manejo nutricional mixto, sin embargo, hay presencia de manejo solamente orgánico (8.3%) y químico (16.7%). La totalidad de los productores tiene un arreglo de policultivo.

6.3 Disponibilidad de nitrógeno en el suelo bajo diferentes tipos de manejo nutricional en agroecosistemas cafeteros

En relación con el amonio (figura 12) se observó que en el manejo mixto se presenta mayor variabilidad de los datos, mientras que el manejo orgánico presenta mayor homogeneidad; en el manejo orgánico se presenta la mayor concentración de amonio en el suelo, mientras que en el manejo mixto se presentan los valores más bajos.

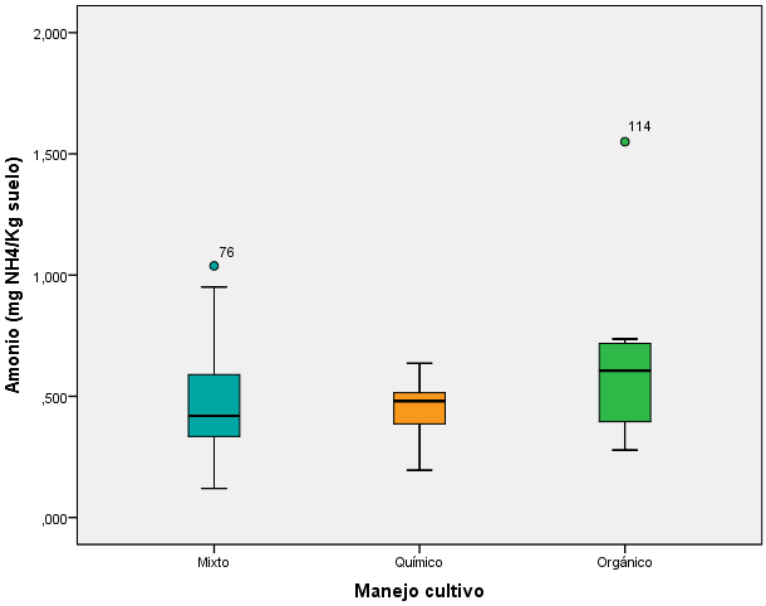

Figura 12. Distribución de la concentración de amonio entre los tres manejos nutricionales.
Fuente: elaboración propia

Para el caso de nitratos (figura 13) se encontró que bajo un manejo mixto se presentan los valores más elevados de concentración, sin embargo, presenta mayor variabilidad de los datos; el manejo orgánico presenta mayor homogeneidad en las concentraciones; el manejo químico presentó los menores valores de concentración.

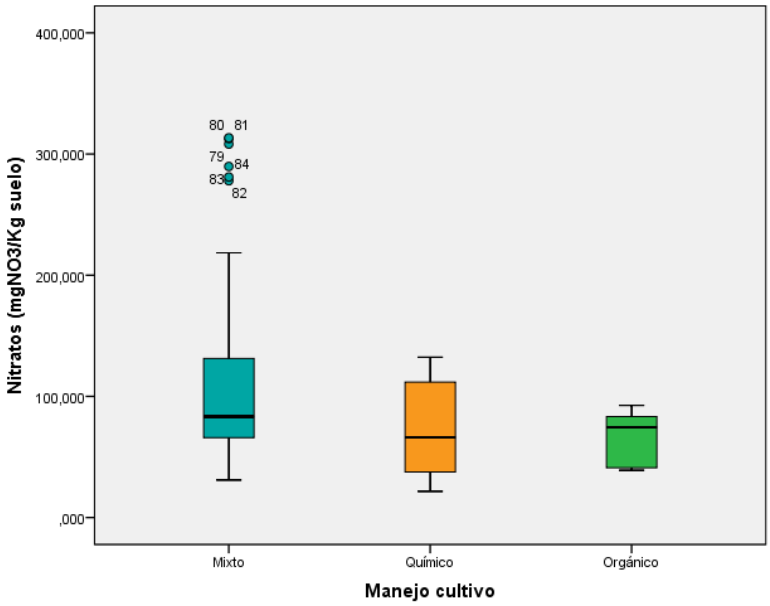

Figura 13. Distribución de la concentración de nitratos entre los tres manejos nutricionales.

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, la humedad (figura 14) presentó alta variabilidad de los datos para el caso de los manejos químico y mixto; el manejo orgánico presento la mayor homogeneidad; los porcentajes más bajos de humedad se evidenciaron en el manejo nutricional químico, mientras que los valores más altos se encontraron en el manejo nutricional mixto; en el manejo químico se observó mayor concentración de los datos para los valores comprendidos entre el 50% de los datos y el valor máximo, a diferencia de los valores comprendidos entre el valor mínimo y el 50% de los datos, donde se observó mayor dispersión.

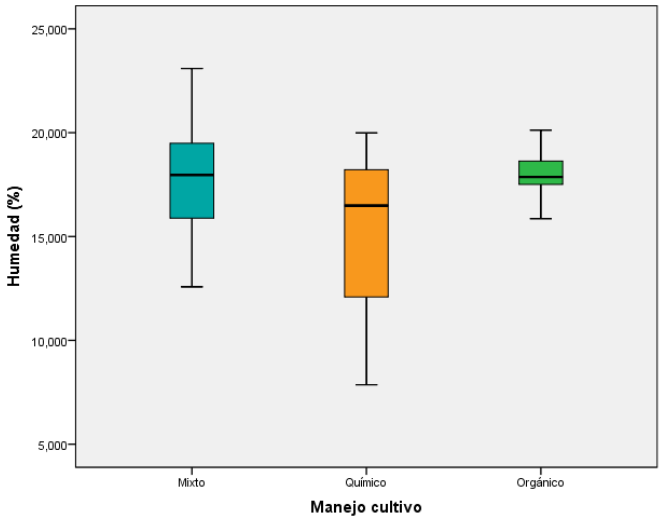

Figura 14. Distribución del porcentaje de humedad entre los tres manejos nutricionales. Fuente: elaboración propia.

En el caso del pH, se observó mayor variabilidad bajo un manejo nutricional mixto, al igual que la presencia de los valores más bajos y altos del pH; el manejo orgánico presentó la menor variabilidad de los datos, como también una dispersión similar entre los cuartiles de la muestra; bajo el manejo químico se observó el mayor valor de centralidad de los datos.

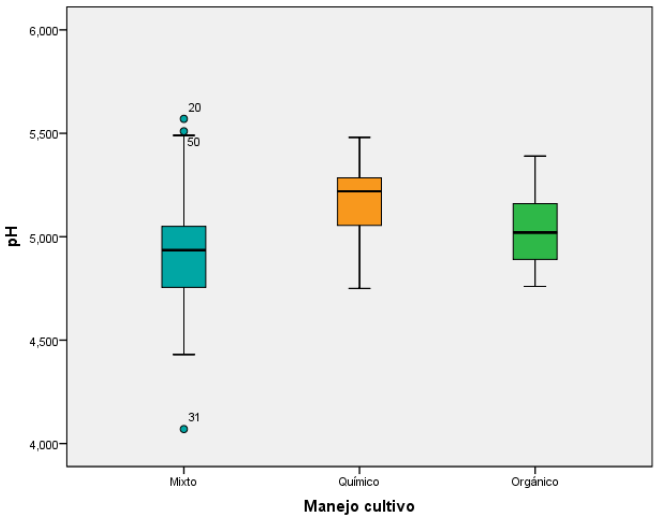

Figura 15. Distribución del pH entre los tres manejos nutricionales. Fuente: elaboración propia.

Para la Materia Orgánica (MO) se observó alta variabilidad de los datos en los manejos químico y mixto; la medida central del porcentaje de MO fue mayor en el manejo nutricional mixto; en el manejo químico se observó la menor medida de centralidad del porcentaje de MO, la igual que los valores más bajos; en el manejo orgánico todos los valores de MO están por encima del porcentaje mínimo observado en el manejo mixto.

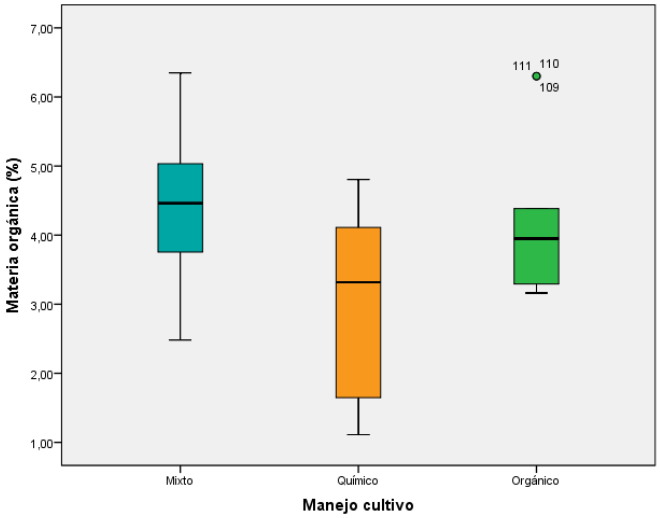

Figura 16. Distribución del contenido de materia orgánica entre los tres manejos nutricionales. Fuente: elaboración propia.

Seguidamente, se realizó el análisis estadístico descriptivo haciendo uso de pruebas de centralidad y dispersión (tabla 4):

Tabla 4. Análisis descriptivo. Fuente: elaboración propia

Manejo	Variable	Medidas de tendencia central		Medida de dispersión	
		Media	Mediana	DS	Rango
Mixto	NO_3 (mgNO_3/Kg S)	105,02	82,68	63,46	282,35
	NH_4 (mg NH_4/Kg S)	0,46	0,42	0,18	0,92
	MO (%)	4,41	4,42	0,89	3,87
	H (%)	17,94	17,95	2,17	10,51
	pH	4,92	4,94	0,27	1,50
Orgánico	NO_3 (mgNO_3/Kg S)	68,77	74,68	20,52	53,60

	NH_4 (mg NH_4/Kg S)	0,59	0,61	0,30	1,27
	MO (%)	4,23	3,97	1,07	3,14
	H (%)	17,99	17,91	1,08	4,26
	pH	5,01	5,02	0,16	0,49
Químico	NO_3 (mgNO_3/Kg S)	70,65	66,22	36,81	110,70
	NH_4 (mg NH_4/Kg S)	0,43	0,48	0,11	0,44
	MO (%)	3,00	3.32	1,33	3,69
	H (%)	15,32	16.50	3,65	12,13
	pH	5,16	5,22	0,19	0,73

Con base a los análisis descriptivos, se observó que el manejo químico presenta los menores valores de las medidas de centralidad (NH_4 = 0.43 mgNH_4/kg S, NO_3 = 66.22 mgNO_3/kgS, MO = 3% y H = 15.32%). Para la evaluación de NO_3 se tomó como referencia la mediana debido a que el conjunto de datos presenta mucha heterogeneidad y la media es afectada por la presencia de valores extremos. Para el caso del pH, el manejo mixto presentó la menor media (pH = 4.92). En relación con las medidas de dispersión, el rango presentado en el manejo orgánico fue menor para todas las variables, a excepción del NH_4, que presentó el menor valor en el manejo químico. En el caso de la desviación estándar, el manejo orgánico fue el que presentó los menores valores, a excepción de NH_4 que presentó menor variación en el manejo químico y la MO cuya desviación fue menor en el manejo mixto.

Posteriormente, se evaluaron los criterios para corroborar que los datos no corresponden a una distribución normal, supuesto considerado por la heterogeneidad de las unidades de análisis en el diseño experimental. Para ello, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk (tabla 5) (Isaza, Acevedo, y Hernández, 2016) y la prueba de homocedasticidad de Levene basándose en la media (tabla 6)(Correa, Iral, y Rojas, 2006).

Tabla 5. Prueba de normalidad. Fuente: elaboración propia

Variable	Manejo cultivo	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.
Amonio (mg NH_4/Kg suelo)	Mixto	,952	83	,003
	Químico	,898	24	,019
	Orgánico	,776	17	,001
Nitratos (mgNO_3/Kg suelo)	Mixto	,784	83	,000
	Químico	,911	24	,038
	Orgánico	,832	17	,006
Humedad (%)	Mixto	,981	83	,269
	Químico	,913	24	,040
	Orgánico	,984	17	,986
pH	Mixto	,980	83	,236
	Químico	,945	24	,208
	Orgánico	,952	17	,495
Materia orgánica (%)	Mixto	,966	83	,028
	Químico	,883	24	,010
	Orgánico	,783	17	,001

En la tabla 5 se observó que NH_4, NO_3, MO y H (manejo químico), presentan diferencias estadísticamente significativas (Sig. < 0.05), es decir, se rechaza la hipótesis nula de que las variables presentan una distribución normal.

Tabla 6. Prueba de homocedasticidad. Fuente: elaboración propia

Variable	Método	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Amonio (mg NH_4/Kg suelo)	Basándose en la media	3,546	2	121	,032
Nitratos (mgNO_3/Kg suelo)	Basándose en la media	6,058	2	123	,003
Humedad (%)	Basándose en la media	20,277	2	123	,000
pH	Basándose en la media	1,831	2	122	0,165
Materia orgánica (%)	Basándose en la media	5,610	2	123	,005

En la tabla 6 se observó que el NH_4, NO_3 y H presentan diferencias estadísticamente significativas (Sig. < 0.05), es decir, que se rechaza la hipótesis nula de que las varianzas son iguales.

Considerando que el tipo de muestreo fue completamente al azar y el suelo presenta cambios significativos en sus propiedades fisicoquímicas y biológicas las unidades de muestreo tienen características muy heterogéneas; por lo tanto, es de esperar que los datos no presenten una distribución normal, tal como se evidenció en las pruebas realizadas.

De acuerdo con ello, se optó por hacer uso de pruebas no paramétricas para el análisis comparativo de la disponibilidad de Nitrógeno y condiciones fisicoquímicas en el suelo. Se hizo uso de las pruebas de Kruskal Wallis y Mann Whitney (Canavos, 1988) para evaluar si existen diferencias entre los valores de materia orgánica, nitratos, amonio, pH y humedad, y de esta forma determinar si bajo los tres tipos de manejo nutricional (químico, orgánico y mixto) se presentan condiciones similares de calidad del suelo y disponibilidad de nitrógeno mineral.

Tabla 7. Prueba Kruskal Wallis. Fuente: elaboración propia

Estadísticos de contraste a,b					
	Nitratos (mgNO3/Kg suelo)	Amonio (mg NH4/Kg suelo)	Humedad (%)	pH	Materia orgánica (%)
Chi-cuadrado	9,533	3,713	9,121	18,955	17,636
gl	2	2	2	2	2
Sig. asintót.	,009	,156	,010	,000	,000

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Manejo cultivo

Al aplicar la prueba de Kruskal Wallis (tabla 7), se observó que la única variable para la cual se acepta la hipótesis nula de igualdad de medianas es para el amonio

(NH_4). Para las demás variables (NO_3, MO, H y pH) se procedió a identificar entre qué tipo de manejos se presentaban las diferencias. Para ello, se utilizó la prueba de Mann Whitney para cada una de las combinaciones entre parejas, para identificar entre que manejos nutricionales se presentan las diferencias en la disponibilidad de nitrógeno mineral y las variables de calidad del suelo.

Tabla 8. Prueba Mann - Whitney mixto – químico. Fuente: elaboración propia

Estadísticos de contraste [a]				
	Nitratos (mgNO3/Kg suelo)	Humedad (%)	pH	Materia orgánica (%)
U de Mann-Whitney	636,000	600,000	444,000	438,000
W de Wilcoxon	936,000	900,000	3930,000	738,000
Z	-2,689	-2,958	-4,123	-4,167
Sig. asintót. (bilateral)	,007	,003	,000	,000
a. Variable de agrupación: Manejo nutricional cultivo				

Tabla 9.Prueba Mann - Whitney mixto - orgánico. Fuente: elaboración propia

Estadísticos de contraste [a]				
	Nitratos (mgNO3/Kg suelo)	Humedad (%)	pH	Materia orgánica (%)
U de Mann-Whitney	487,000	686,500	524,000	579,000
W de Wilcoxon	640,000	4172,500	4010,000	732,000
Z	-2,005	-,174	-1,666	-1,161
Sig. asintót. (bilateral)	,045	,862	,096	,246
a. Variable de agrupación: Manejo cultivo				

Tabla 10. Prueba Mann - Whitney químico – orgánico. Fuente: elaboración propia

Estadísticos de contraste [a]				
	Nitratos (mgNO3/Kg suelo)	Humedad (%)	pH	Materia orgánica (%)

U de Mann-Whitney	191,000	123,000	106,500	123,000
W de Wilcoxon	491,000	423,000	259,500	423,000
Z	-,344	-2,144	-2,581	-2,144
Sig. asintót. (bilateral)	,731	,032	,010	,032
a. Variable de agrupación: Manejo cultivo				

En la aplicación de la prueba U de Mann – Whitney, se evidenció que el manejo mixto y químico presentan diferencias estadísticamente significativas (sig <0.05) para todas las variables medidas. El manejo mixto y orgánico presentan diferencias estadísticamente significativas (sig <0.05) para nitratos NO_3.
Para el caso del manejo químico y orgánico, hay diferencias estadísticamente significativas para las variables de H, MO y pH. El NO_3 no presentó diferencias estadísticamente significativas.

Al realizar un manejo mixto u orgánico, se está aportando al suelo materia orgánica, que a través de los procesos de descomposición y humificación pasará a formar el humus (estructura del suelo con mayor resistencia), garantizando de esta forma la regulación de los procesos fisicoquímicos y biológicos, y favoreciendo la fertilidad y calidad del suelo, representados en valores adecuados de H, pH y MO, que para el caso de los dos manejos no presentaron diferencias significativas (sig =0,862, sig = 0.096, sig = 0.246 respectivamente). Caso contrario a los presentados entre el manejo mixto y químico (sig = 0.003, sig = 0.000, sig = 0.000) y el manejo orgánico y químico (sig = 0.032, sig = 0.010, sig = 0.032), evidenciando la afectación que conlleva un manejo nutricional químico sobre las propiedades de calidad del suelo.

En el mismo sentido, el manejo químico presentó los menores valores de H en el suelo (H (%) = 15.32), posiblemente debido a que no se realiza ningún tipo de aporte orgánico al sistema; considerando que el aporte de MO mejora las condiciones de humedad del suelo (H), fortaleciendo su estructura y permitiendo que se reduzca la pérdida de agua por infiltración y evapotranspiración, favoreciendo de esta forma la disponibilidad hídrica bajo condiciones extremas del

temperatura y ausencia de precipitaciones (Velmourougane, 2016). De igual forma, la disponibilidad de agua en el suelo facilita la absorción de nutrientes por las plantas a través de la solución del suelo.

En relación a la concentración de nitratos, no se encontraron diferencias significativas entre el manejo orgánico y químico (sig 0.731), evidenciando que la cantidad de MO aportada facilita la disponibilidad de los elementos minerales (NO_3 y NH_4) en el suelo; la MO posee aproximadamente entre un 5 – 8% de nitrógeno orgánico (N), por lo tanto, su aplicación provee el nitrógeno orgánico requerido para que los microorganismos realicen los procesos considerados en el ciclo del nitrógeno y de esta forma asimilar el N requerido para su crecimiento y liberar el N restante, que será absorbido por las plantas en sus formas asimilables (NO_3 y NH_4) u adsorbido por la MO, en este caso el NH_4, considerando la diferencia de cargas entre la MO (-) y el NH_4 (+). A pesar de que el NO_3 es un elemento muy volátil, la regulación de los parámetros fisicoquímicos del suelo a partir de la aplicación de MO, facilita que se optimice la dinámica del elemento facilitando su disponibilidad (Cerisola, 2015).

Igualmente, se debe considerar que la transformación de la MO a elementos minerales conlleva un tiempo determinado que depende de las tasas de mineralización, reguladas por factores de clima, manejo, características y periodicidad del material orgánico aportado, y propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo. Por lo tanto, su aplicación debe ser caracterizada si se desea garantizar que efectivamente se mantenga la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

El pH es un indicador del grado de acidez de los suelos, que corresponde a una de las mayores limitaciones en la producción de café. En torno al pH, se presentaron diferencias significativas entre el manejo químico y orgánico (sig = 0.010) y químico y mixto (sig = 0.00). Entre el manejo orgánico y mixto no se presentaron diferencias significativas. Se presentó una media de pH de 5.16 en el manejo nutricional químico, mayor que la presentada en el manejo orgánico y mixto, 5.01 y 4.92 respectivamente. El valor pH en el manejo químico puede deberse a que cuando

se realiza la aplicación de fertilizantes nitrogenados de síntesis química, especialmente aquellos productos nitrogenados amoniacales (sulfato de amonio, nitrato de amonio, urea, entre otros), al llegar al suelo y pasar por un proceso de oxidación, se liberan iones hidronio (H^+) que incrementan el nivel de acidificación de los suelos. Por otro lado, bajo un manejo orgánico es posible que se disminuya el pH debido a que en la descomposición y mineralización de la materia orgánica se producen ácidos orgánicos de cadena corta, que pueden incrementar el pH de los suelos. En el mismo sentido, la acidificación del suelo también depende de la forma en que las plantas toman los nutrientes; al tomar los iones o cationes por las raíces deben equiparar las cargas en el citoplasma liberando H^+ u OH^-, por lo tanto, cuando se da una absorción en mayor medida de cationes (NH_4) el pH tiende a disminuir y cuando se da una absorción en mayor medida de un anión (NO_3) el pH tiende a aumentar (Ginés y Mariscal, 2002; Zapata, 2004).

Igualmente, el proceso de nitrificación también es uno de los factores que puede incrementar el pH del suelo. Cuando el NH_4 es oxidado a NO_3, se liberan protones en la solución del suelo, exactamente 2 H^+ por cada mol de NH_4 oxidada. Uno de los protones liberados es intercambiado por la raíz de la planta, como se mencionó en el proceso anterior y el otro protón queda en la solución generando un incremento de la acidez del suelo (Zapata, 2004).

En el mismo sentido, en los procesos biológicos metabólicos de los microorganismos y de las plantas, se genera CO_2 y ácidos orgánicos solubles acidificantes, que se comportan como ácidos libres en el suelo, generando una reducción del pH; situación que puede verse incrementada bajo un manejo mixto u orgánico, en donde se presenta una mayor adición de MO, que puede inducir a mayores magnitudes en los procesos de mineralización, humificación y asimilación, procesos que conllevan a un mayor metabolismo de los microorganismos y por ende un mayor incremento de los productos que reducen el pH en el suelo (McCauley, Jones, y Jacobsen, 2009). En el caso del manejo mixto, en donde se presentó el menor valor de pH, puede estar asociado a que simultáneamente se llevan a cabo dos procesos que influyen sobre el incremento de la acidez del suelo.

Así mismo, sin considerar procesos externos que pueden afectar los niveles de pH en el suelo, se puede inferir que los procesos fisicoquímicos y biológicos relacionados con la dinámica de la MO tienen un mayor efecto en la disminución del pH o incremento de la acidez del suelo.

No obstante, la diversidad de procesos y elementos que contribuyen a los niveles de acidificación en los suelos, dotan de una alta complejidad su explicación y requiere de una evaluación más profunda para evaluar por qué se dan determinados niveles bajo los tipos de manejo. Sumado a los procesos biofísicos antes mencionados, se debe considerar que cada una de las unidades de análisis tiene una historia de uso del suelo e implementa diferentes prácticas de manejo agronómico, como la aplicación de enmiendas, diversificación de cultivos, mantenimiento de cobertura vegetal, entre otras, que para el análisis corresponden a factores que deben ser consideraros al momento de evaluar la influencia sobre los cambios en el pH del suelo y cuál es su efecto sobre la disponibilidad de nutrientes en el mismo.

En relación con los nitratos (NO_3), el manejo mixto presentó los mayores valores para NO_3, sin embargo, como se observó en el análisis comparativo, presentó diferencias significativas con el manejo orgánico y químico (sig = 0,045 y sig = 0,007 respectivamente). En contraste, los manejos orgánico y químico no presentaron diferencias significativas (sig = 0,731). Los resultados obtenidos pueden deberse a que en el manejo químico solamente se realiza un aporte de nitrógeno y demás elementos minerales esenciales para el crecimiento de las plantas, pero no se consideran los requerimientos para fortalecer procesos fisicoquímicos y biológicos que permiten garantizar la sostenibilidad del recurso suelo. En este sentido, al llevar un periodo largo de tiempo bajo un manejo químico, los microorganismos no tendrán un aporte de material orgánico como fuente de energía, por lo tanto, su consumo será obtenido a partir del humus del suelo, generando un impacto sobre los servicios ecosistémicos de regulación y almacenamiento de carbono, provisión de alimentos, entre otros. Así mismo, el bajo aporte de MO, bajas coberturas de

material vegetal en el suelo, manejo de monocultivos y en algunos casos uso de prácticas como labranza que afectan la estructura del suelo, facilita que se den procesos de erosión en el cultivo, pérdida de biodiversidad, mayor afectación del cultivo bajo escenarios de eventos climáticos extremos, incremento de los procesos de infiltración, volatilización y lixiviación del nitrógeno, baja disponibilidad de nutrientes en solución, entre otros; dinámica que afecta en gran medida la disponibilidad de nutrientes, caso específico del nitrato y amonio.

Sumado a lo anterior, la aplicación de dosis elevadas de fertilizantes químicos de síntesis y en periodos inadecuados, bajo unos niveles inadecuados de las condiciones fisicoquímicas y biológicas del suelo, tal como se evidenció en los valores de MO, H y pH obtenidos, genera un impacto negativo sobre el ecosistema, ocasionando un incremento de los niveles de contaminación de fuentes hídricas por causa de los procesos de lixiviación e infiltración, e incremento de la contaminación atmosférica (óxido nitroso, amoniaco) derivados de los procesos de desnitrificación y volatilización. Favoreciendo de esta forma el incremento de la vulnerabilidad y la baja sostenibilidad del agroecosistema.

Por otro lado, al realizar un manejo mixto se asegura que el suelo tenga un aporte de material orgánico constante para mantener niveles adecuados de las características fisicoquímicas y biológicas. Sin embargo, al estar aplicando las mismas cantidades de fertilizantes nitrogenados de síntesis química que en el manejo químico, se podría estar adicionando cantidades elevadas de elementos minerales (NO_3 y NH_4). Garantizando de esta forma la disponibilidad de nitrógeno para las plantas, pero, generando un exceso que puede conllevar a los mismos problemas de contaminación mencionados en el manejo nutricional químico e igualmente incurriendo en altos niveles de consumo energético indirecto derivados del uso de fertilizantes de síntesis química. Así mismo, se estaría incurriendo en gastos adicionales derivados de la compra y aplicación de fertilizantes nitrogenados de síntesis química y, por otro lado, los costos asociados a la elaboración y aplicación del compost, por lo tanto, bajo este tipo de manejo es necesario evaluar la cantidad de nitrógeno aportado por las dos fuentes (orgánica y química), con el

fin de reducir costos de manejo del sistema productivo e impactos negativos generados sobre el medio ambiente.

Este exceso de fuentes de nitrógeno es lo que genera que se den diferencias significativas en la disponibilidad de NO_3 entre el manejo mixto y los manejos químico y orgánico.

6.4 Diseño de estrategias agroecológicas orientadas a la reducción de uso de fertilizantes nitrogenados de síntesis y mejora de la sostenibilidad en agroecosistemas cafeteros

Uno de los principales objetivos de los sistemas productivos agrícolas es incrementar la producción para garantizar la cobertura de la demanda en los mercados, demanda establecida por los requerimientos nutricionales básicos de la población o como insumo para la elaboración de productos de alta relevancia en el mercado. En el caso del cultivo de café, el producto resultante de la producción agrícola pasa por diferentes etapas de post cosecha para convertirse en un producto comercial de talla mundial, para el cual crece la demanda en mercados globales. Por ello, los lineamientos han estado enfocados en el incremento de la cantidad de producción, perdiendo de vista la integralidad de los agroecosistemas, que finalmente es lo que permite garantizar un stock en el mercado. Las estrategias incentivadas son el resultado de un modelo de oferta y demanda a nivel global, en donde se pierden de vista los impactos negativos generados sobre los funciones y servicios ecosistémicos, calidad de los recursos naturales, vulnerabilidad de las comunidades productoras, entre otros aspectos que repercuten sobre la sostenibilidad del sistema.

Por otro lado, factores como la deficiencia en el acceso a servicios básicos, ubicación de la finca, afectación por plagas y enfermedades, desinterés de miembros jóvenes de la familia en actividades agropecuarias, desconocimiento de prácticas y técnicas de mejora productiva, débiles mecanismos de estructura del tejido social, entre otros; incrementan la condición de vulnerabilidad de los productores, siendo más proclives a ser afectados por eventos externos, lo que finalmente se traduce en una disminución de las condiciones de calidad de vida del productor y su familia.

En el mismo sentido, el conocimiento de los productores es la base para la implementación de prácticas y técnicas que repercuten en el desarrollo del sistema

productivo. La obtención del conocimiento se genera a partir de transferencia por parte de generaciones anteriores que han desarrollado la actividad cafetera como principal medio de sustento, conocimientos que han ido variando de generación en generación por causa de direccionadores globales en el desarrollo agrícola. Igualmente, al considerar la importancia del sector cafetero en el marco del crecimiento económico agrícola nacional, se han implementado programas orientados al fortalecimiento de los productores, con el objeto de transferir conocimiento y generar apropiación por parte de estos. El conocimiento transferido es el resultado de diversas investigaciones orientadas al mejoramiento de las prácticas agrícolas para alcanzar una mayor producción agrícola. Sin embargo, en el proceso de pierde de vista el análisis integral del agroecosistema. Esta condición sumada a otros factores internos y externos ha generado una cultura de manejo nutricional dependiente de fertilizantes de síntesis química.

El manejo nutricional bajo fertilizantes nitrogenados de síntesis química favorece la pérdida de servicios y funciones ecosistémicas. Considerando, que la dinámica de los procesos llevados a cabo en el suelo es altamente sensible a las condiciones de manejo de los agroecosistemas, se presenta una relación directa entre las condiciones de manejo y las capacidades de regulación y provisión de servicios por parte del sistema suelo. Resultados que se ven reflejados en el estado biológico y fisicoquímico del agroecosistema, que, en conjunto con factores sociales, culturales, político institucionales y económicos, representan las condiciones de desarrollo de los productores agrícolas.

Por otro lado, la realización de un manejo orgánico del sistema productivo para reducir los impactos negativos sobre el medio ambiente e incrementar de esta forma la sostenibilidad del recurso suelo. Bajo un manejo orgánico se mantiene una regulación de las condiciones fisicoquímicas y biológicas del suelo y la disponibilidad de elementos minerales para las plantas (Barry, Merfield, Advisory, y Cork, 2008) , se genera una reducción de la contaminación de fuentes hídricas subterráneas por nitratos (Benoit, Garnier, Beaudoin, y Billen 2016), entre otros beneficios.

En contraste, algunos estudios han demostrado que el manejo orgánico mejora las condiciones de calidad y fertilidad del suelo, pero no garantiza la misma disponibilidad de nitrógeno mineral para las plantas o mejora la composición biológica más no las condiciones fisicoquímicas (Acevedo et al., 2011; Van Diepeningen, De Vos, Korthals, y Van Bruggen, 2006). Es de esperar que se presenten respuestas diferentes bajo las diferentes características de los agroecosistemas de café evaluados, ya que su respuesta depende de diversos factores naturales, como también de las prácticas y técnicas implementadas en el manejo del cultivo.

En otro sentido, es importante considerar que el cambio hacia un manejo orgánico debe realizarse de forma paulatina, ya que las plantas se encuentran bajo un régimen de aporte considerable de elementos minerales y el suelo no tiene las condiciones fisicoquímicas y biológicas para proveer estos requerimientos. Así mismo, debe considerarse la periodicidad y calidad del material orgánico aportado, ya que las características del agregado condicionan la respuesta de los microorganismos, garantizando de esta forma la disponibilidad de los nutrientes para las plantas a partir de los procesos de descomposición y mineralización, determinantes para el desarrollo de las plantas.

Por otro lado, la diversificación de especies vegetales en agroecosistemas de café favorece la regulación del microclima, las condiciones de calidad y fertilidad del suelo, a través del aporte de material orgánico y la fijación de nutrientes, reducción de problemas fitosanitarios, incremento de la biodiversidad, entre otros (Alemu, 2015; Altieri y Nicholls, 2012; Armbrecht, 2003; Mithamo, 2013; Sturm-flores, 2012), (Jezeer, Santos, Boot, Junginger, y Verweij, 2018; Meylan et al., 2017). En el presente estudio no se tomó como factor de análisis el tipo de arreglo productivo, sin embargo, se consideró para el análisis del capital natural, encontrándose relación con el manejo integral de arvenses, plagas y enfermedades, y con el manejo nutricional mixto, en donde se presentan unas condiciones adecuadas de calidad de suelo en términos de los parámetros determinados. Finalmente, al implementar el arreglo productivo se deben considerar diversos factores que

determinan el tipo de relación entre las especies, seleccionando de esta forma las especies que pueden aportar beneficios al agroecosistema más no entrar en conflicto entre el desarrollo fenológico de las mismas.

Para finalizar, se presenta una serie de estrategias agroecológicas orientadas para la sostenibilidad del agroecosistema de café, tomando como referencia el análisis de las entrevistas, la evaluación de capitales y evaluación de la disponibilidad de nitrógeno mineral y calidad fisicoquímica del suelo. Las estrategias han sido clasificadas de acuerdo con el tema y capital que pertenecen, como también al tipo de evaluación a partir de la cual fueron generadas:

Tabla 11. Estrategias orientadas a la sostenibilidad del agroecosistema de café – Construidas a partir del caso de estudio Cajibío Cauca

Estrategias agroecológicas
Capital natural
Tema: manejo de arvenses Hacer uso de la guadaña y/o machete para el tratamiento de los arvenses, con el objetivo de garantizar el mantenimiento de la cobertura vegetal y evitar impactos negativos sobre el recurso suelo y agua generados al utilizar herbicidas de síntesis química. Así mismo, se propone el uso de bio-preparados como herbicidas, elaborados a partir de los residuos del beneficio del café y otros elementos.
Tema: manejo nutricional Se propone realizar un manejo nutricional orgánico en el cultivo de café, considerando que los resultados del análisis bajo este tipo de manejo el suelo, presenta mejores características fisicoquímicas (MO, H y pH), lo que repercute en el mejoramiento de la fertilidad y calidad de este, potenciando de esta forma la sostenibilidad del recurso. En el mismo sentido, se encontró que no hay diferencias significativas en la disponibilidad de nitrógeno mineral (NO_3 y NH_4), entre el manejo nutricional químico y orgánico, mostrando que bajo este último es posible mantener la calidad del recurso suelo y al mismo tiempo garantizar la disponibilidad de nitratos para el cultivo. En otro sentido, bajo un manejo nutricional químico se presentaron los valores más bajos para las características fisicoquímicas del suelo (H, MO y pH); mostrando que bajo este manejo se

afecta negativamente la calidad del recurso suelo, incidiendo sobre la sostenibilidad del agroecosistema.

Por otro lado, se observó mayor disponibilidad de nutrientes (NO_3) bajo un manejo nutricional mixto, debido a que se realiza el aporte de fertilizantes nitrogenados de síntesis química y aporte de abonos orgánicos. Sin embargo, las plantas tienen unos requerimientos específicos de nutrientes y unos rangos de tasas de absorción definidas, por lo tanto, si se excede el aporte de nutrientes al suelo se pueden estar potenciando procesos como la volatilización o infiltración que conllevan a un incremento en los niveles de contaminación de los recursos naturales, como también, un incremento de los costes energéticos asociados al uso de los dos tipos de insumos nutricionales; lo que hace necesario evaluar las cantidades específicas que se deben agregar de cada uno de los elementos, o completar la transferencia hacía un manejo orgánico.

El cambio de un manejo nutricional químico a orgánico debe realizarse de forma paulatina, ya que la planta se encuentra acostumbrada a un “coctel” de nutrientes de fácil acceso, mientras que bajo un manejo orgánico se deben surtir procesos biológicos para disponer de los nutrientes. Igualmente, se recomienda realizar la caracterización del tipo de abono orgánico agregado y los procesos biológicos derivados del mismo, con el fin de determinar los tiempos y cantidades adecuados de aplicación para garantizar la disponibilidad de nutrientes en el cultivo. Igualmente, se propone que el cambio de un manejo químico a orgánico se realice por lotes y no de forma general, ya que el cambio inicialmente produce una reducción en la cantidad de producción.

Por otro lado, algunos productores manifestaron ciertos inconvenientes al realizar la aplicación de abonos orgánicos, debido a las condiciones topográficas y de ubicación del terreno, lo que dificulta el transporte de los bultos de abono orgánico hasta la zona del cultivo. Para estos casos, se proponen alternativas como la fertilización con abonos orgánicos líquidos o la adecuación del terreno a través de zanjas u otras estructuras que facilite el acceso.

Tema: manejo de plagas y enfermedades

Se propone realizar un manejo manual y orgánico de plagas y enfermedades. El manejo consiste en hacer diagnósticos periódicos de las condiciones de la planta, recoger manualmente todos los granos caídos para evitar la infestación por roya, utilizar agentes biológicos como el hongo *Beauveria bassiana* y elaborar biopreparados a partir de los residuos del beneficio del café y otros elementos (hiervas, suelo, miel de purga, botón de oro, nacedero, entre otros elementos). Se puede hacer uso de algunos supuestos y/o saberes, como el caso de colocar arroz cocinado en el cultivo para atraer y atrapar la broca; como este, puede haber diferentes estrategias culturales orientadas al control de las plagas y enfermedades que pueden ser indagadas con mayor profundidad a través del intercambio de experiencias entre productores.

En el mismo sentido, el aporte de materia orgánica al suelo y arreglos productivos en asocio con otras especies facilita el incremento de la biodiversidad, lo que puede aumentar la presencia de agentes biológicos que regulen los agentes patógenos para el cultivo. Cuando la incidencia de una enfermedad o plaga está en estado crítico, es necesario el uso de un herbicida químico para reducir su impacto, sin embargo, si se lleva un control adecuado del cultivo se reduce el riesgo de afectación por cualquier plaga o enfermedad.
Tema: arreglo productivo Se propone realizar la siembra de leguminosas (fríjol, maíz), al inicio de la siembra del café, para favorecer la fijación de nitrógeno al suelo. Algunos productores mencionan que las leguminosas solo pueden manejarse al inicio de la cosecha por cuestiones de espacio entre las plantas de café, pero, es posible definir un arreglo productivo que permita la siembra de las leguminosas durante todo el ciclo productivo, beneficio muy importante para reducir los requerimientos de nitrógeno en el suelo. En el mismo sentido, se recomienda incluir en el arreglo productivo otras especies leguminosas como el Guamo o la Leucaena, también para favorecer la fijación de nitrógeno y aportar sombrío al cultivo. Sin embargo, en algunos lotes se encontró que el crecimiento de las raíces del Guamo propicia la aparición de colonias de hormigas, caso que resalto uno de los productores al mencionar que no hace uso del árbol porque le toca invertir en la aplicación de plaguicidas para el control de la hormiga que genera. En este sentido, es necesario que se evalúe la asociación del guamo a este problema. Por otro lado, se propone un arreglo productivo en asocio con otros cultivos como el plátano y la yuca que pueden proveer sombrío (caso del plátano) y servir como autoconsumo o generación de ingresos económicos extras por la venta de sus productos. Igualmente, los residuos generados sirven de insumo para la elaboración de los biopreparados en la finca.
Tema: conservación de recursos naturales Un porcentaje elevado de productores implementa estrategias orientadas a la conservación de los recursos naturales, como el cerramiento de zonas de relictos de bosque, restauración de nacimientos de agua, instauración de puntos ecológicos para el reciclaje de residuos, entre otras. Que pueden ser replicadas por todos los productores, con el objeto de fortalecer los servicios y funciones ecosistémicas, promoviendo la sostenibilidad del agroecosistema.
Capital cultural

Tema: origen del conocimiento Se propone la creación y/o fortalecimiento de espacios, en donde se convoquen actores relevantes del sistema, en términos de capacidades para transmitir el conocimiento ancestral en torno a supuestos, prácticas y técnicas orientadas al mejoramiento del agroecosistema cafetero. De igual forma, es necesario que se generen iniciativas desde el nivel institucional para fortalecer la transferencia y apropiación de conocimiento técnico y científico para una gestión adecuada del agroecosistema.
Capital social
Tema: asistencia técnica Implementar mecanismos que facilite una asistencia técnica personalizada al productor, reduciendo las brechas de tiempo en las respuestas requeridas para la solución de problemas y fortaleciendo de esta forma la percepción que tienen los productores en torno al acompañamiento institucional. Mejorar los mecanismos de convocatorias a talleres realizados en el marco de la asistencia técnica grupal. Considerar la programación de los talleres de forma participativa con los productores.
Tema: asociatividad El fortalecimiento del tejido social radica en la generación de capacidades grupales a partir del aprovechamiento de las capacidades individuales de cada integrante de la asociación. Por ello, es necesario que se promuevan espacios para la estructuración de proyectos orientados al fortalecimiento de los agroecosistemas. Buscar expandir la red de actores a través de la vinculación de actores externos para fortalecer la formulación, consecución de recursos y posterior ejecución de los proyectos. En el mismo sentido, incluir en los lineamientos y/o objetivos de la asociación, el fortalecimiento de las capacidades individuales de los productores y sus familias, a través de estrategias de educación. Otorgar beneficios como sobreprecios en la compra del café, de acuerdo con la calidad y cumplimiento de la cantidad comprometida, facilitar el acceso a insumos para la producción de café e implementación de estrategias colaborativas entre la comunidad de productores, como también, la incursión en mercados locales con enfoque agroecológico. En este estudio, se evidenciaron algunas estrategias como el ofrecimiento de servicios post-cosecha

entre los productores o compartir los gastos asociados a la contratación del transporte para sacar el café.
Tema: acceso a servicios básicos En el caso del acceso al servicio de agua potable, se evidenciaron algunas deficiencias como la falta de continuidad del servicio o en algunos casos más críticos la falta de acceso. En este sentido, se propone la implementación de mecanismos para suplir el acceso al recurso, como es el caso del uso de bombas para la captura de agua subterránea, la construcción de estructuras para la captación de agua lluvia, cosecha y siembra de agua, entre otros. Se debe considerar que estos mecanismos deben ir acompañados de procesos para la potabilización del recurso. Para el acceso a energía, se puede realizar la construcción de biodigestores alimentados con los residuos generados de las actividades pecuarias o la siembra de especies vegetales para la generación de leña, mediante la conformación de sistemas agroforestales, bajo prácticas que promuevan la conservación de los recursos naturales intervenidos.
Capital humano
Tema: mano de obra Se propone el fortalecimiento de los mecanismos de vinculación de mano de obra externa para las labores de la finca. Se deben establecer pautas legales como estrategia para fortalecer los lazos entre el productor y los trabajadores, incentivando de esta forma la confianza, compromiso y pertenencia por parte de los actores externos, reduciendo las deficiencias en la oferta del servicio de mano de obra, problema que se generaliza entre todos los productores. Igualmente, se propone definir condiciones que facilite el trabajo de los productores, como es el caso de elementos de seguridad, mantenimiento de distancias adecuadas entre las plantas para la recolección del café, entre otras. Así mismo, establecer compromisos y penalizaciones para incentivar la apropiación del cultivo en los trabajadores contratados.
Capital económico
Tema: diversificación de fuentes de ingreso Se propone la formalización y/o fortalecimiento de la comercialización de productos derivados de otros cultivos asociados al cultivo del café o productos pecuarios (leche, huevos, yuca, plátano, entre otros). Para el caso del plátano, se menciona la dificultad en el transporte del producto, por

lo tanto, se puede realizar un trabajo asociativo similar al realizado en el café, donde se contrate en conjunto el transporte para sacar a la venta el producto. Algunos ejemplos muestran que con el ingreso de la venta de productos agrícolas adicionales es posible suplir gran parte de los costos asociados al cultivo de café.
Tema: certificación Se recomienda la vinculación a programas de certificación que orienten lineamientos para el mejoramiento del agroecosistema en términos de conservación de recursos naturales, reducción de impactos negativos sobre el medio ambiente e incremento de la calidad del producto. En la mayoría de los casos evaluados, los productores certificados contaban con la certificación Rainforest, resaltando que no obliga a los productores a llevar un manejo orgánico del cultivo, pero, exige ciertos requisitos de conservación de recursos, reciclaje de residuos sólidos, disminución de agroquímicos, entre otros aspectos, enfocados en la sostenibilidad del agroecosistema. Entre las certificaciones encontradas esta Rainforest, Nespresso y Fairtrade.
Tema: comercialización Propiciar la venta directa del café, reduciendo los sobrecostos generados en el proceso de venta indirecta (a través de intermediarios). Igualmente, los productores resaltan que al vender el café directamente a una asociación o centro de acopio, se establecen compromisos de compraventa, garantizando que toda la producción que se tiene sea comprada, se establecen sobreprecios para la compra de acuerdo con la calidad del producto, entre otros beneficios.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Es indispensable conocer el argumento específico de cada región, con el objeto de generar estrategias particulares para el contexto social, económico y cultural de los productores. La evaluación de los capitales permitió conocer el contexto explícito de los productores y fortalecer las propuestas de producción agroecológica identificadas, teniendo en cuenta que se consideraron aquellos elementos relevantes para el fortalecimiento de la calidad de vida de los productores y la sostenibilidad del agroecosistema cafetero.
- Los estándares establecidos en los programas de certificación (Rainforest, Nespresso y Fairtrade), fomentan la transferencia y apropiación de estrategias orientadas a la sostenibilidad del agroecosistema. Sin embargo, deben ser complementarios al establecimiento de espacios propios de articulación que propicien el establecimiento de mercados locales.
- Bajo un manejo nutricional orgánico es posible mantener los niveles de nitrógeno mineral, en la forma de amonio y nitratos, requeridos por el cultivo de café; siendo una estrategia adecuada para la reducción del uso de fertilizantes nitrogenados de síntesis química, reduciendo la contaminación generada por estos.
- En un manejo nutricional orgánico se mantienen niveles adecuados de parámetros de calidad fisicoquímica del suelo (humedad, materia orgánica, pH), de esta forma se fortalecen los procesos físicos, químicos y biológicos

que permiten la regulación de las funciones y servicios ecosistémicos, favoreciendo la sostenibilidad del agroecosistema.

- Los lineamientos, programas o proyectos y políticas públicas orientados a la sostenibilidad de la producción de café, deben estar soportados por estudios de tipo cualitativo y cuantitativo que permitan evaluar el contexto del agroecosistema de forma integral, sin perder de vista aquellos elementos que hacen parte de la dinámica de desarrollo de los pequeños productores.
- Las estrategias de economía colaborativa entre los productores sirven para reducir los costos asociados a la producción y comercialización del café, favoreciendo la rentabilidad de la actividad agrícola.
- La generación de espacios de articulación propenden por fortalecer el intercambio de conocimiento entre los productores y demás actores relevantes de la cadena productiva, incentivando la transferencia y apropiación de conocimiento para la implementación de estrategias con enfoque sostenible en el agroecosistema.

7.2 Recomendaciones

Se recomienda orientar investigaciones hacia la caracterización de los abonos orgánicos utilizados, con el objeto de verificar las cantidades de aporte de nutrientes al suelo. Así mismo, evaluar las tasas de mineralización de la materia orgánica aportada bajo un manejo nutricional orgánico y de esta forma establecer planes de manejo nutricional, bajo las condiciones específicas de los sitios de estudio. Igualmente, es necesario establecer estrategias para evaluar la eficiencia y eficacia de los mecanismos utilizados para llevar a cabo un manejo orgánico del cultivo de café, ya que no es lo mismo producir el abono orgánico requerido en la misma finca a tener la necesidad de adquirirlo por fuera.

Se debe replicar el estudio bajo un número mayor de productores de café y en zonas donde se cuente con una mayor presencia de productores bajo un manejo orgánico, con el propósito de reforzar las características representativas de cada tipología encontrada. Así mismo, incluir diseños experimentales con un mayor número de factores para tener una mayor comparación de la dinámica de los agroecosistemas. En el mismo sentido, es necesario que se optimice la encuesta realizada, con el fin de obtener mayor cantidad de datos y alcanzar un nivel de clasificación más específica de los productores. En el estudio realizado no fue posible aplicar todas las categorías encontradas en el análisis cualitativo (entrevistas).

Aunque las estrategias planteadas se encuentran bajo un enfoque agroecológico y de sostenibilidad para cualquier agroecosistema de café, tomando como caso de estudio Cajibío - Cauca. Es necesario evaluar las condiciones específicas de cada sitio y acoplar las estrategias para garantizar que se genere un impacto positivo sobre las condiciones de desarrollo específicas del sistema; de esta forma, optimizar los procesos de transferencia y apropiación de los lineamientos y políticas públicas que tomen como referencia el estudio.

8 ANEXOS

Anexo 1. Temas y categorías en torno al agroecosistema de café en Cajibío – Cauca. Fuente: elaboración propia

Capital natural	
Tema	**Categorías**
Manejo de arvenses	• Control manual • Control mecánico • Control químico • Manejo integrado
Manejo de plagas y enfermedades	• Control químico • Manejo integrado • Control biológico • Control orgánico • Control manual • Manual y biológico • Manual y orgánico

Manejo nutricional	• Manejo químico
	• Manejo orgánico
	  ○ Sectorizado
	  ○ Selectivo
	  ○ Total
	• Mixto

Arreglo productivo	• Monocultivo • Policultivo o árboles para sombrío
Capital cultural	
Tema	**Categorías**
Origen conocimiento	• Academia y/o programas de certificación • Ancestral • Espacios de asociación • Asistencia técnica
Capital social	

Tema	Categorías
Asociatividad	• Si • No
Beneficios asociatividad	• Educación • Sobreprecio venta de café • Provisión de insumos • Intercambio de saberes y/o conocimiento
Asistencia técnica	• No se recibe • Visitan la finca al menos una (1) vez al año • Visitan la finca dos (2) o más veces al año • No hay visitas individuales, pero asisten a sesiones grupales
Acceso a servicio de agua potable	• Cuenta con acceso continuo • Cuenta con acceso intermitente • No cuenta con acceso
Acceso al servicio de energía eléctrica	• Si cuenta con acceso • No cuenta con acceso
Capital económico	
Tema	**Categorías**
Fuente de ingresos económicos	• Solo cultivo de café • Cultivo de café y otros cultivos • Cultivo de café y otras actividades pecuarias • Cultivo de café y otras actividades no pecuarias • Cultivo de café y todas las actividades mencionadas
Tipo de comercialización producto	• Directa • Indirecta (intermediarios)
Certificación	• No tiene certificación • Si cuenta con certificación
Capital físico	
Tema	**Categorías**

Mecanismos de acceso al agua	• Acueducto • Sistemas de captación de agua lluvia • Aljibe • Nacimientos de agua en la finca
Fuentes de energía utilizadas	• Leña • Gas • Energía eléctrica • Más de dos fuentes
Capital humano	
Tema	**Categorías**
Dedicación a las labores de la finca	• Solo la familia • La familia y actores externos pagos • Solo actores externos pagos

Anexo 2. Encuesta productores de café en Cajibío

Tema	**Categorías**	**Porcentaje de productores**
Asociatividad	Si	50
	No	50
Manejo de arvenses	Mecánico	23,3
	Manual u orgánico	13,3
	Integrado	63,3
	Químico	0
Manejo de plagas y enfermedades	Integrado	30
	Biológico u orgánico	10
	Químico	33,3
	Manual	26,7

Manejo nutricional	Orgánico	6,7
	Mixto	73,3
	Químico	20
Arreglo productivo	Policultivo	86,7
	Monocultivo	13,3
Asistencia técnica	Pocas veces o grupal	40
	Muchas veces	30
	No se recibe	30
Certificación	Si	30
	No	70
Comercialización	Indirecta	23,3
	Directa	76,7
Acceso al servicio de agua potable	Si tiene	83,30
	No tiene	16,70
Acceso al servicio de energía eléctrica	Si tiene	73,30
	No tiene	26,70
Fuente de ingreso económica	Café y otras pecuarias	23,3
	Café y otras por fuera de la finca	40
	Solo café	36,7
Origen del conocimiento	Ancestral	26,7
	Asistencia técnica	10
	Diversas fuentes	63,3

9 BIBLIOGRAFÍA

Acevedo, D., Sánchez, M., Acosta, E., & Massiotti, R. (2011). Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional. *Terra Latinoamericana*, *29*(3), 325–332. Retrieved from http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57321283011

Agrobanco. (2012). *Guía técnica: Manejo integrado de plagas en café*.

Aguilar, B., Brovelli, A., Porporato, A., & Barry, D. A. (2011). Modelling soil carbon and nitrogen cycles during land use change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *31*(2), 251–274. https://doi.org/10.1051/agro/2010007

Alcaldía de Cajibío. (2002). Plan de Ordenamiento Básico Territorial - Cajibío.

Alemu, M. M. (2015). Effect of Tree Shade on Coffee Crop Production. *Journal of Sustainable Development*, *8*(9), 66. https://doi.org/10.5539/jsd.v8n9p66

Altieri. (1999). *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable*. *Editorial Nordan–Comunidad*.

Altieri, M. a, & Nicholls, C. (2012). The scaling up of agroecology : spreading the hope for food sovereignty and resiliency A contribution to discussions at Rio + 20 on issues at the interface of hunger , agriculture , environment and social prepared by The scaling up of agroecology : spread. *Socla*, 20.

Altieri, M., & Koohafkan, P. (2008). *Enduring Farms: Climate Change, Smallholders and Traditional Farming Communites*. *Third World Network Penang, Malaysia*. Retrieved from http://www.fao.org/nr/water/docs/enduring_farms.pdf

Altieri, M., & Nicholls, C. (2002a). Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)*.

Altieri, & Nicholls. (2002b). Un método agroecológico rápido para la evalución de la sostenibilidad de cafetales. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, (64), 17–24. Retrieved from agroeco3@nature.berkeley.edu

Amede, T., & Delve, R. J. (2008). Modelling crop-livestock systems for achieving

food security and increasing production efficiencies in the Ethiopian highlands. *Experimental Agriculture*, *44*(4), 441–452. https://doi.org/10.1017/S0014479708006741

Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A., Salazar, L., & Hincapié, E. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia*. *FNC-Cenicafé*. Chinchiná. https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2

Armbrecht, I. (2003). Diversity and function of leaf litter ants in Colombian coffee agroecosystems, 226.

Attia, A., Shapiro, C., Kranz, W., Mamo, M., & Mainz, M. (2015). Improved Yield and Nitrogen Use Efficiency of Corn following Soybean in Irrigated Sandy Loams. *Soil Sience Society of America Journal*, *79*(May), 1693–1703. https://doi.org/10.2136/sssaj2015.05.0200

Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., … Morales, C. (2015). The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, *7*(2), 303–321. https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9

Bacon, C. (2005). Confronting the coffee crisis: Can Fair Trade, organic, and specialty coffees reduce small-scale farmer vulnerability in Northern Nicaragua? *World Development*, *33*(3), 497–511. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.10.002

Bannert, A., Hai, B., Kastl, E., Meyer, A., Ollivier, J., & Stefanie, T. (2011). Nitrogen turnover in soil and global change, (2010). https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01165.x

Barry, P., Merfield, C., Advisory, T. M., & Cork, C. (2008). Nutrient Management on Organic, 40.

Bedri. (2006). En café en el mundo. Retrieved from http://www.bedri.es/Comer_y_beber/Cafe/El_cafe_en_el_mundo.htm

Bejarano, J. A. (1980). Los estudios sobre la historia del café en Colombia. *Revista Cuadernos De Economía*, 115–140. Retrieved from http://ideas.repec.org/a/col/000093/008718.html

Bellamy, A. S. (2011). Weed control practices on Costa Rican coffee farms: Is

herbicide use necessary for small-scale producers? *Agriculture and Human Values*, *28*(2), 167–177. https://doi.org/10.1007/s10460-010-9261-2

Bengtsson, J., Ahnström, J., & Weibull, A. C. (2005). The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01005.x

Benítez-García, E., Jaramillo-Villanueva, J. L., Escobedo-Garrido, S., & Mora-Flores, S. (2015). Caracterización de la producción y del comercio de café en el municipio de Cuetzalan, Puebla. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*.

Benoit, M., Garnier, J., Beaudoin, N., & Billen, G. (2016). A participative network of organic and conventional crop farms in the Seine Basin (France) for evaluating nitrate leaching and yield performance. *Agricultural Systems*, *148*, 105–113. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.07.005

Bermúdez, M. B. (2007). *Determinación de indicadores agroecológicos en sistemas agroforestales y de medios de vida de fincas cafeteras de Colombia, Costa Rica y Nicaragua*.

Bhattarai, S., Alvarez, S., Gary, C., Rossing, W., Tittonell, P., & Rapidel, B. (2017). Combining farm typology and yield gap analysis to identify major variables limiting yields in the highland coffee systems of Llano Bonito, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *243*(March), 132–142. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.016

Bittelli, M. (2011). Measuring soil water content: A review. *HortTechnology*, *21*(3), 293–300.

Borrella, I., Mataix, C., & Carrasco-Gallego, R. (2015). Smallholder Farmers in the Speciality Coffee Industry: Opportunities, Constraints and the Businesses that are Making it Possible. *IDS Bulletin*, *46*(3), 29–44. https://doi.org/10.1111/1759-5436.12142

Breu, F., Guggenbichler, S., & Wollmann, J. (2003). *La pobreza rural en América Latina: Lecciones para una reorientación de las políticas. Encuentro de altos directivos sobre la mitigación de la pobreza rural*. Retrieved from http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf

Camacho, M. A. (2015). *Modelo de cadena colaborativa en el sector agrícola*

colombiano. *Universidad de la Sabana*. Universidad de la Sabana.

Canavos, G. (1988). *Probabilidad y Estadistica: Aplicaciones y métodos*. McGraw-Hill.

Cannavo, P., Harmand, J. M., Zeller, B., Vaast, P., Ramírez, J. E., & Dambrine, E. (2013). Low nitrogen use efficiency and high nitrate leaching in a highly fertilized Coffea arabica-Inga densiflora agroforestry system: A15N labeled fertilizer study. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. https://doi.org/10.1007/s10705-013-9571-z

Cardenas, J. (2000). *Colombia, Centroamérica y el mercado mundial del café*. Retrieved from https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/Colombia, Centroamérica y el mercado mundial del café.pdf

Castillo, M. G., Harmand, J., & Dambrine, E. (2004). Disponibilidad de nitrógeno en el suelo bajo especies maderables y leguminosas usadas como sombra en sistemas de Coffea arabica. *Agroforesteria En Las Americas*, *41–42*, 69–76.

Castro, S., Dietsch, T., Urena, N., Vindas, L., & Chandler, M. (2012). Analysis of management and site factors to improve the sustainability of smallholder coffee production in Tarrazú, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *155*, 172–181. https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.04.013

Ceccon, E. (2008). La revolución verde tragedia en dos actos. *Redalyc*, *1*(0187-6376), 21–29.

Cenicafé. (2004). *¿Cómo participa el hongo Beauveria bassiana en el manejo integrado de la brcoa del café?* Retrieved from http://cenicafe.org/es/publications/brc037.pdf

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (2011). El Enfoque de Medios de Vida Sostenible.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (2012). Capitales de la comunidad y la conservación de los recursos naturales : el caso del corredor biológico Tenorio - Miravalles.

Cerisola, C. (2015). Fertilidad química.

Cerón, L., & Aristizábal, F. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en

suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, *14*(1), 285–295.

Chaves, J. (2004). Desarrollo Tecnológico En La Primera Revolución Industrial. *Norba. Revista de Historia*, *17*, 213–375.

Chen, H., Yu, C., Li, C., Xin, Q., Huang, X., Zhang, J., … Wang, W. (2016). Modeling the impacts of water and fertilizer management on the ecosystem service of rice rotated cropping systems in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *219*, 49–57. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.11.023

Cherkasov, N., Ibhadon, A. O., & Fitzpatrick, P. (2015). A review of the existing and alternative methods for greener nitrogen fixation. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, *90*, 24–33. https://doi.org/10.1016/j.cep.2015.02.004

Chiputwa, B., Spielman, D. J., & Qaim, M. (2015). Food Standards, Certification, and Poverty among Coffee Farmers in Uganda. *World Development*, *66*, 400–412. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.09.006

Coffee Support Network. (2009). *Buenas prácticas para la producción de café*. (F. Bustamante, C. H. Isaza, N. Van Heeren, G. Torres, & R. Romero, Eds.) (Fundación).

Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL. (2015). *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe*. *Estudios del Cambio Climático en América Latina*. Retrieved from http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39842/S1501318_es.pdf?sequence=1

Correa, J. C., Iral, R., & Rojas, L. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista Colombiana de Estadistica*, *29*(1), 57–76.

Cuéllar, F. (1998). El contrato marco del Fondo Nacional del Cafe. Fundamentos y Desarrollo. Retrieved from https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/Cuellar - Contrato marco del Fondo Nacional del Cafe.pdf

Dawson, J. C., Huggins, D. R., & Jones, S. S. (2008). Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance

of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. *Field Crops Research*, *107*(2), 89–101. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.01.001

Diro, S., Assefa, S., & Erko, B. (2016). Trends and Determinants of Coffee Commercialization among Smallholder Farmers in Southwest Ethiopia : Jimma Zone Coffee Potential Districts. *World Journal of Agricultural Sciences*, *12*(2), 138–148. https://doi.org/10.5829/idosi.wjas.2016.12.2.23601

Dominghetti, A. W., Guelfi, D. R., Guimarães, R. J., Caputo, A. L. C., Spehar, C. R., Faquin, V., … Faquin, V. (2016). Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. *Ciência e Agrotecnologia*. https://doi.org/10.1590/1413-70542016402029615

Drinkwater, L. E., & Snapp, S. S. (2007). Nutrients in Agroecosystems: Rethinking the Management Paradigm. In *Advances in Agronomy* (pp. 163–186). https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)92003-2

Echavarría, J. J., Esguerra, P., McAllister, D., & Robayo, C. F. (2015). Informe de la misión de estudios para la competitividad de la caficultura en Colombia, 122 Páginas. https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2

Echeverri, D., Buitrago, L., Montes, F., Mejía, I., & González, M. del P. (2005). Café para cardiólogos. *Revista Colombiana de Cardiología*, *11*(7), 357–365.

Elliot, J. (2008). *Desarrollo rural en Cajamarca. Aplicación del enfoque de medios de vida sostenibles*.

Enríquez, L. (2013). Caracterización agroforestal en sistemas de café tradicional y rústico, en San Miguel, Veracruz, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, *19*(1), 67–80. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.051

Escamilla, E., Ruiz, O., Díaz, G., Landeros, C., Platas, D. ., Zamarripa, A., & González, V. A. (2005). El agroecosistema café orgánico en México. *Manejo. Integrado.de.Plagas.y.Agroecología. (Costa Rica)*, *76*, 5–16. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Evanylo, G., Sherony, C., Spargo, J., Starner, D., Brosius, M., & Haering, K. (2008). Soil and water environmental effects of fertilizer-, manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system.

Agriculture, Ecosystems and Environment. https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.02.014

Fajardo, D. (2014). Estudio sobre los orígenes del conflicto social armado, razones para su persistencia y sus efectos más profundos en la sociedad colombiana, 1–55. Retrieved from https://www.mesadeconversaciones.com.co/ensayo/darío-fajardo-0

FAO. (2002a). Agricultura mundial 2015-2030: Perspectivas por sectores principales. *Agricultura Mundial: Hacia Los Años 2015/2030. Informe Resumido*, 32–74.

FAO. (2002b). *Los fertilizantes y su uso*. *Ifa*. https://doi.org/fertuso.pdf

FAO. (2013). *Climate-Smart Agriculture Sourcebook*. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Retrieved from http://www.fao.org/docrep/018/i3325e/i3325e00.htm

FAO. (2016). *World fertilizer trends and outlook to 2019*. *Food and Agriculture Organization of United Nations*.

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2014). La Política Cafetera 2010-2014. *Ensayos Sobre Economía Cafetera*.

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2015). Ensayos sobre Economía cafetera. *Ensayos Sobre Economía Cafetera*, (30), 1–128. Retrieved from https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/EEC30.pdf

Federación Nacional de Cafeteros del Cauca. (2011). *Informe de gestión: Comité departamental de cafeteros del Cauca*.

Finagro. (2014). *Perspectiva del sector agropecuario Colombiano*. Retrieved from https://www.finagro.com.co/sites/default/files/Perspectivas Agropecuarias-v5.pdf

FNC. (2010). Café de Colombia. Retrieved from http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/la_tierra_del_cafe/la_gente_del_cafe/

FNC. (2014). *Informes de comités departamentales*.

FNC, & Cenicafé. (2013). *Manual del cafetero colombiano - Tomo 2* (Vol. 1). https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Galantini, A. J., Rosell, A. R., & Iglesias, J. . (1994). Determinación de materia orgánica empleando el método de Walkley y Black en fracciones granulométricas del suelo. *Ciencia Del Suelo*. Retrieved from http://suelos.org.ar/publicaciones/vol_12n2/galanti.pdf

Gallandt, E. (2014). Weed Management in Organic Farming. In B. S. Chauhan & G. Mahajan (Eds.), *Recent Advances in Weed Management* (pp. 63–85). New York, NY: Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1019-9_4

Gellings, C., & Parmenter, K. (2004). Energy efficiency in fertilizer production and use. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, 1–15. https://doi.org/10115582565

Ghabbour, E. A., Davies, G., Misiewicz, T., Alami, R. A., Askounis, E. M., Cuozzo, N. P., … Shade, J. (2017). National Comparison of the Total and Sequestered Organic Matter Contents of Conventional and Organic Farm Soils. In *Advances in Agronomy*. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.07.003

Ginés, I., & Mariscal, I. (2002). Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo, 1–9.

Gliessman, S. (1998). Agroecology and sustainability. *INTECOL Symposium, Florence, Italy, INTECOL*, (July), 1–9.

Gomiero, T., Pimentel, D., & Paoletti, M. G. (2011). Environmental impact of different agricultural management practices: Conventional vs. Organic agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*. https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554355

González, A. L. (2012). Determinación del destino del nitrógeno aplicado a un cultivo de sésamo mediante la técnica isotópica.

Gresshoff, P. M., Hayashi, S., Biswas, B., Mirzaei, S., Indrasumunar, A., Reid, D., … Ferguson, B. J. (2015). The value of biodiversity in legume symbiotic nitrogen fixation and nodulation for biofuel and food production. *Journal of Plant Physiology*, *172*, 128–136. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.05.013

Grossman, J. M. (2003). Exploring farmer knowledge of soil processes in organic

coffee systems of Chiapas, Mexico. *Geoderma*, *111*(3–4), 267–287. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00268-9

Haggar, J., Barrios, M., Bolaños, M., Merlo, M., Moraga, P., Munguia, R., … de Virginio, E. M. F. (2011). Coffee agroecosystem performance under full sun, shade,conventional and organic management regimes in Central America. *Agroforestry Systems*, *82*(3), 285–301. https://doi.org/10.1007/s10457-011-9392-5

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2006). *Analisis de los datos cuantitativos. Metodología de la investigación*.

Herrera, M. (2000). La relación social como categoría de las ciencias sociales. *Reis: Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, (90), 37–77. Retrieved from http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/757639.pdf

Hincapié, E., & Salazar, L. F. (2007). Manejo integrado de arvenses en la zona cafetera central de colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*.

Ho, T. Q., Hoang, V. N., Wilson, C., & Nguyen, T. T. (2017). Which farming systems are efficient for Vietnamese coffee farmers? *Economic Analysis and Policy*, *56*, 114–125. https://doi.org/10.1016/j.eap.2017.09.002

Horváth, L. (2004). Determination of the nitrogen compound balance between the atmosphere and a Norway spruce forest ecosystem. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *70*(2), 143–146. https://doi.org/10.1023/B:FRES.0000048482.50098.52

Howard, S. A. (1940). Un Testamento Agricola, 285.

Ibanez, M., & Blackman, A. (2016). Is Eco-Certification a Win–Win for Developing Country Agriculture? Organic Coffee Certification in Colombia. *World Development*, *82*, 14–27. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.01.004

ICO. (2015). Consumo mundial de café. Retrieved from http://noticias.caracoltv.com/mundo/consumo-mundial-de-cafe-se-duplico-en-los-ultimos-20-anos

Infante, A. (2011). Manual de biopreparados para la agricultura ecológica. Santiago de Chile.

Isaza, L., Acevedo, E., & Hernández, F. (2016). Comparación de Pruebas de

Normalidad. *XXI Simposio Internacional de Estadisticas 2015*, (Zimmerman 2011), 8–11. Retrieved from http://simposioestadistica.unal.edu.co/fileadmin/content/eventos/simposioestadistica/documentos/memorias/Memorias_2016/Posters/16._Pruebas_Normalidad_Cortes_Rave___Hernandez.pdf

Jezeer, R. E., Santos, M. J., Boot, R. G. A., Junginger, M., & Verweij, P. A. (2018a). Effects of shade and input management on economic performance of small-scale Peruvian coffee systems. *Agricultural Systems*. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.014

Jezeer, R. E., Santos, M. J., Boot, R. G. A., Junginger, M., & Verweij, P. A. (2018b). Effects of shade and input management on economic performance of small-scale Peruvian coffee systems. *Agricultural Systems*, *162*(January), 179–190. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.014

Jezzer, R. E. ., Santos, M. J. ., Boot, R. G. A. ., Junginger, M., & Verweij, P. A. . (2018). Effects of shade and photosynthesis on fruit set. *Agricultural Systems*, *162*, 179–190.

Kalmanovitz, S. (1972). La agricultura en colombia 1930 hasta 1950.

Keuter, A., Veldkamp, E., & Corre, M. D. (2014). Soil Biology & Biochemistry Asymbiotic biological nitrogen fi xation in a temperate grassland as affected by management practices. *Soil Biology and Biochemistry*, *70*, 38–46. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.12.009

Labrador, J., & Altieri, M. A. (1995). Manejo y diseño de sistemas agrícolas sustentables.

Lammel, D. R., Azevedo, L. C. B., Paula, A. M., Armas, R. D., Baretta, D., & Cardoso, E. J. B. N. (2015). Microbiological and faunal soil attributes of coffee cultivation under different management systems in Brazil. *Braz. J. Biol. Braz. J. Biol*, *75*(4), 894–905. https://doi.org/10.1590/1519-6984.02414

Langley, K. E., & Zabin, I. (1976). *Ecological basis of agroforestry* (Vol. 72).

Lapple, D., & Van Rensburg, T. (2011). Adoption of organic farming: Are there differences between early and late adoption? *Ecological Economics*, *70*, 1406–1414.

Leal, L., Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2010). Urea volatilization losses from cofee plantations. *Better Crops*, *94*(August), 18–20.

Lemessa, F., & Wakjira, M. (2015). Cover crops as a means of ecological weed management in agroecosystems. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, *18*(2), 123–135. https://doi.org/10.1007/s12892-014-0085-2

León, J. A., Gónmez, R., Hernández, S., Álvarez, J. D., & Palma, D. J. (2006). Mineralización en suelos con incorporación de residuos orgánicos en los altos de Chiapas, México. *Universidad y Ciencia*, *22*(2), 163–174.

Liu, X., Xu, S., Zhang, J., Ding, Y., Li, G., Wang, S., … Chen, L. (2016). Effect of continuous reduction of nitrogen application to a rice-wheat rotation system in the middle-lower Yangtze River region (2013–2015). *Field Crops Research*, *196*, 348–356. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.003

López, J. A., Villalba, D., Salazar, L. F., & Cárdenas, O. A. (2012). Manejo integrado de arvenses en el cultivo de café Nueva alternativa de control químico. *Avances Técnicos Cenicafé*, 1–8. https://doi.org/ISSN - 0120 - 0178

Marinari, S., Lagomarsino, A., Moscatelli, M. C., Di Tizio, A., & Campiglia, E. (2010). Soil carbon and nitrogen mineralization kinetics in organic and conventional three-year cropping systems. *Soil and Tillage Research*, *109*(2), 161–168. https://doi.org/10.1016/j.still.2010.06.002

Marinari, S., Mancinelli, R., Campiglia, E., & Grego, S. (2006). Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. *Ecological Indicators*, *6*(4), 701–711. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.08.029

McCauley, A., Jones, C., & Jacobsen, J. (2009). Soil pH and Organic Matter. *Nutrient Management*, (8), 12.

McKean, S. (1993). Manual de análisis de suelo y tejido vegetal.

McRoberts, K. C., Nicholson, C. F., Parsons, D., Nam, L. Van, Ba, N. X., Ketterings, Q. M., & Cherney, D. J. R. (2018). Structure and impact of cattle manure trade in crop-livestock systems of Vietnam. *Renewable Agriculture and Food Systems*, *33*(1), 86–101. https://doi.org/10.1017/S1742170517000072

Meemken, E. M., Spielman, D. J., & Qaim, M. (2017). Trading off nutrition and education? A panel data analysis of the dissimilar welfare effects of Organic and Fairtrade standards. *Food Policy*, *71*(August), 74–85. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.07.010

Meylan, L., Gary, C., Allinne, C., Ortiz, J., Jackson, L., & Rapidel, B. (2017). Evaluating the effect of shade trees on provision of ecosystem services in intensively managed coffee plantations. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *245*(May), 32–42. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.005

Minet, J., Curnel, Y., Gobin, A., Goffart, J. P., Mélard, F., Tychon, B., … Defourny, P. (2017). Crowdsourcing for agricultural applications: A review of uses and opportunities for a farmsourcing approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, *142*, 126–138. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.08.026

Mithamo, M. W. (2013). *Effect of intercropping coffee with fruit tress on coffee eco-physiological and soil factors at coffee research foundation in Ruiru, Kiambu county, Kenya*.

Mitiku, F., Nyssen, J., & Maertens, M. (2018). Certification of Semi-forest Coffee as a Land-sharing Strategy in Ethiopia. *Ecological Economics*. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.09.008

Moreira, S. L. S., Pires, C. V., Marcatti, G. E., Santos, R. H. S., Imbuzeiro, H. M. A., & Fernandes, R. B. A. (2018). Intercropping of coffee with the palm tree, macauba, can mitigate climate change effects. *Agricultural and Forest Meteorology*, *256–257*(April), 379–390. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.03.026

Moreno, R., Ibáñez, A., & Gisbert, J. (2011). Andisoles. *Universidad Politecnica de Valencia*, *1*(1), 7. Retrieved from https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13676/Andisoles.pdf?sequence=3

Munroe, J. W., Soto, G. ., Virginio Filho, E. de M., Fulthorpe, R., & Isaac, M. E. (2015). Soil microbial and nutrient properties in the rhizosphere of coffee under agroforestry management. *Applied Soil Ecology*, *93*, 40–46.

Neely, C., Sutherland, K., & Johnson, J. (2004). ¿Los enfoques basados en los

modos de vida sostenibles tienen una repercusión positiva en la población rural pobre? Análisis de doce estudios de casos. *¿Los Enfoques Basados En Los Modos de Vida Sostenibles Tienen Una Repercusión Positiva En La Población Rural Pobre? Análisis de Doce Estudios de Casos.*, 68. Retrieved from ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/j5129s/j5129s00.pdf

Partelli, F. L., Vieira, H. D., de Brito Ferreira, E. P., Viana, A. P., Martins, M. A., & Urquiaga, S. (2012). Chemical and Microbiological Soil Characteristics under Conventional and Organic Coffee Production Systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. https://doi.org/10.1080/00103624.2012.648470

Pauli, N., Barrios, E., Conacher, A. J., & Oberthür, T. (2012). Farmer knowledge of the relationships among soil macrofauna, soil quality and tree species in a smallholder agroforestry system of western Honduras. *Geoderma*, *189–190*, 186–198. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.05.027

Paz, I. E., Sánchez De P, M., & Sadeghian, S. (2006). Relación entre dos sistemas de sombrío de café y algunas propiedades del suelo en la meseta de Popayán , Colombia Relationship between two shading systems of coffee and some properties of the soil in the plateau of Popayán , Colombia. *Acta Agron*, *55*, 1–6. Retrieved from http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Relsissomcafalgprofidsuemespopco.pdf

Pengue, W. A. (2005). *Agricultura industrial y transnacionalización en América Latina ¿La transgénesis de un continente?* (FAO).

Perdomo, C., & Barbazán, M. (1999). *Nitrógeno*. Montevideo.

Perry, S. (2010). *La pobreza rural en Colombia*. *Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural - RIMISP*.

Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Seidel, R., & Douds, D. (2005). Environmental, Energetic and Economic Comparisions of Organic and Conventional Farming Systems. *BioScience*. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0573:EEAECO]2.0.CO;2

Pincus, L., Margenot, A., Six, J., & Scow, K. (2016). On-farm trial assessing

combined organic and mineral fertilizer. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *225*, 62–71.

Posada, J. H. (2004). Manejo integrado de arvenses en café con criterios de sostenibilidad, (11).

Posada, R. H., Sánchez de Prager, M., Heredia-Abarca, G., & Sieverding, E. (2018). Effects of soil physical and chemical parameters, and farm management practices on arbuscular mycorrhizal fungi communities and diversities in coffee plantations in Colombia and Mexico. *Agroforestry Systems*. https://doi.org/10.1007/s10457-016-0030-0

Poudel, D. D., Horwath, W. R., Lanini, W. T., Temple, S. R., & Van Bruggen, A. H. C. (2002). Comparison of soil N availability and leaching potential, crop yields and weeds in organic, low-input and conventional farming systems in northern California. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00196-7

Pretty, J. (2012). *The pesticide detox: Towards a more sustainable agriculture*. *The Pesticide Detox: Towards a More Sustainable Agriculture*. https://doi.org/10.4324/9781849773188

Qureshi, A., Pariva, Badola, R., & Hussain, S. A. (2012). A review of protocols used for assessment of carbon stock in forested landscapes. *Environmental Science and Policy*, *16*, 81–89. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.11.001

Rao, M. S., Reddyl, K. D., Singh, T. K., & Reddy, G. S. (2002). Crop-Crop Diversity As a Key Component of IPM - a Review. *Agricultural Reviews*, *23*(4), 272–280.

Reyes, Ó. E., Torres, C. O., & Acevedo, L. R. (2012). A nálisis del balance energético de diferentes sistemas de manejo agroecológico del suelo , en el cultivo del maíz (Zea mays L .) Energy balance analysis of different agroecological management systems of the soil in the cultures of maize, 41–46.

Rodríguez Garay, F. A. (2015). *Variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas en rendimiento y calidad de café*. Retrieved from http://www.bdigital.unal.edu.co/49987/

Salazar, L. F., & Torres, F. A. (2000). Manejo de arvenses.

Saldías, C. A., & Jaramillo, C. M. (1999). 40 Años del servicio de extension. Retrieved from https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/art 1.pdf

Savci, S. (2012). Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment. *APCBEE Procedia*. https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.03.047

Shaner, W., Philipp, F., & Schmehl, R. (1988). *Farming Systems Research and Development: Guidelines for Developing Countries*. *Microelectronics Journal* (Vol. 19). https://doi.org/10.1016/S0026-2692(88)80209-X

Shikuku, K. M., Valdivia, R. O., Paul, B. K., Mwongera, C., Winowiecki, L., Läderach, P., … Silvestri, S. (2017). Prioritizing climate-smart livestock technologies in rural Tanzania: A minimum data approach. *Agricultural Systems*, *151*, 204–216. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.06.004

Sicard, T. L. (2009). La Revolución Verde. *Nature*, *365*(235), 36. Retrieved from http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lri/leanos_l_ix/capitulo1.pdf

Snider, A., Gutiérrez, I., Sibelet, N., & Faure, G. (2017). Small farmer cooperatives and voluntary coffee certifications: Rewarding progressive farmers of engendering widespread change in Costa Rica? *Food Policy*, *69*, 231–242. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.04.009

Sturm-flores, L. S. (2012). *Specialty Coffee in Costa Rica: Effect of Environmental Factors and Management Options on Soil Chemistry and Microbial Composition*.

Suarez, A. E., Suárez, J. C., & Mercedes, C. (2013). Caracterización del estado actual de los capitales de la comunidad en el marco de los medios de vida en familias cafeteras en el sur de Colombia, (2), 97–111.

Tang, C. S. (2018). Socially responsible supply chains in emerging markets: Some research opportunities. *Journal of Operations Management*, *57*(January), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.jom.2018.01.002

Toro Rojas, A. M. (2017). *Una historia por contar: asociatividad, vulnerabilidad y género. Estudio de caso vereda de Nuevo Horizonte, corregimiento de Las Palomas, Montería, Córdoba.* Pontificia Universidad Javeriana.

Tully, K. L., Lawrence, D., & Wood, S. A. (2013). Organically managed coffee

agroforests have larger soil phosphorus but smaller soil nitrogen pools than conventionally managed agroforests. *Biogeochemistry*, *115*(1–3), 385–397. https://doi.org/10.1007/s10533-013-9842-4

Tumwebaze, S. B., & Byakagaba, P. (2016). Soil organic carbon stocks under coffee agroforestry systems and coffee monoculture in Uganda. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *216*, 188–193. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.037

Uribe, C. A. (2016). En el día del café: 89 Años de historia, resultados y retos.

USDA. (1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. *Instituto de Calidad de Suelos, Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos*, 88.

van Asten, P. J. A., Wairegi, L. W. I., Mukasa, D., & Uringi, N. O. (2011). Agronomic and economic benefits of coffee–banana intercropping in Uganda's smallholder farming systems. *Agricultural Systems*, *104*(4), 326–334. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.12.004

Van Diepeningen, A. D., De Vos, O. J., Korthals, G. W., & Van Bruggen, A. H. C. (2006). Effects of organic versus conventional management on chemical and biological parameters in agricultural soils. *Applied Soil Ecology*, *31*(1–2), 120–135. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.03.003

Van Rijsbergen, B., Elbers, W., Ruben, R., & Njuguna, S. N. (2016). The Ambivalent Impact of Coffee Certification on Farmers' Welfare: A Matched Panel Approach for Cooperatives in Central Kenya. *World Development*, *77*, 277–292. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.08.021

Velmourougane, K. (2016). Impact of Organic and Conventional Systems of Coffee Farming on Soil Properties and Culturable Microbial Diversity. *Scientifica*, *2016*, 1–9. https://doi.org/10.1155/2016/3604026

Venter, Z. S., Jacobs, K., & Hawkins, H. J. (2016). The impact of crop rotation on soil microbial diversity: A meta-analysis. *Pedobiologia*. https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2016.04.001

Vera-Acevedo, L. D. (2016). Assessment of the environmental impact of three types of fertilizers on the cultivation of coffee at the Las Delicias indigenous

reservation (Cauca) starting from the life cycle assessment. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. https://doi.org/10.17533/udea.redin.n81a09

Viteri Salazar, O., Ramos-Martín, J., & Lomas, P. L. (2018). Livelihood sustainability assessment of coffee and cocoa producers in the Amazon region of Ecuador using household types. *Journal of Rural Studies*. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.06.004

Vossen, H. (2009). The cup quality of disease-resistant cultivars of arabica coffee (coffea arabica). *Experimental Agriculture*, *45*, 323–332.

Wairegi, L. W. I., Bennett, M., Nziguheba, G., Mawanda, A., Rios, C. de los, Ampaire, E., … van Asten, P. J. A. (2018). Sustainably improving Kenya's coffee production needs more participation of younger farmers with diversified income. *Journal of Rural Studies*. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.07.009

Webb, G., Rem, B. S., & Consultant, A. (2013). Bacterias fijadoras de nitrógeno en cultivos agrícolas , una realidad actual .

Xie, K. Y., Li, X. L., He, F., Zhang, Y. J., Wan, L. Q., David, B. H., … Gamal, M. A. F. (2015). Effect of nitrogen fertilization on yield, N content, and nitrogen fixation of alfalfa and smooth bromegrass grown alone or in mixture in greenhouse pots. *Journal of Integrative Agriculture*, *14*(9), 1864–1876. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61150-9

Xu, L. fei, Zhou, P., Han, Q. fang, Li, Z. hui, Yang, B. ping, & Nie, J. feng. (2013). Spatial Distribution of Soil Organic Matter and Nutrients in the Pear Orchard Under Clean and Sod Cultivation Models. *Journal of Integrative Agriculture*, *12*(2), 344–351. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60234-8

Zabala, H. (2016). *Economía agraria y asociatividad cooperativa en Colombia*. Retrieved from http://www.funlam.edu.co/uploads/fondoeditorial/230_Economia_agraria_y_asociatividad_cooperativa_en_Colombia.pdf

Zapata, R. (2004). Origen de la acídez del suelo. In *Química de la acídez del suelo* (p. 30). Medellín.