



Ager. Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural

ISSN: 1578-7168

ISSN: 2340-4655

ager.journal@gmail.com

Centro de Estudios sobre la Despoblación y Desarrollo de Áreas Rurales
España

Díaz Manrique, Miguel Alejandro; Córdoba Vargas, Cindy Alexandra
Estudio de la estructura del agroecosistema cafetero mediante el
diagrama de ciclos causales. Estudio de caso (Cundinamarca, Colombia)
Ager. Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural, núm. 28, 2020, pp. 135-160
Centro de Estudios sobre la Despoblación y Desarrollo de Áreas Rurales
España

DOI: <https://doi.org/10.4422/ager.2019.08>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29662606005>

- ▶ [Cómo citar el artículo](#)
- ▶ [Número completo](#)
- ▶ [Más información del artículo](#)
- ▶ [Página de la revista en redalyc.org](#)

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

*Estudio de la estructura
del agroecosistema cafetero mediante
el diagrama de ciclos causales.
Estudio de caso
(Cundinamarca, Colombia)*



***Miguel Alejandro Díaz Manrique (*)
y Cindy Alexandra Córdoba Vargas (**)***

***(*) Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios
Ambientales IDEA, Colombia***

***(**) Centro Interdisciplinario de Estudios sobre Desarrollo (CIDER),
Universidad de los Andes, Colombia***

DOI: 10.4422/ager.2019.08

ager

Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural
Journal of Depopulation and Rural Development Studies

**Estudio de la estructura del agroecosistema cafetero mediante el diagrama de ciclos causales.
Estudio de caso (Cundinamarca, Colombia)**

Resumen: El propósito de este estudio es fue identificar las dinámicas que surgen entre la estructura del agroecosistema cafetero, las prácticas de manejo de los agricultores y los componentes del clima, integrando factores ecosistémicos y culturales. A partir de visitas, recorridos y encuestas en fincas cafeteras de Anolaima (Cundinamarca) se diseñó un diagrama de ciclos causales revisado y corregido por los caficultores participantes. El análisis del diagrama procura entender el desempeño productivo del agroecosistema como resultado de las interacciones de sus componentes. Los árboles de sombrero y el dinero disponible en la finca se mostraron como variables de gran influencia en el desempeño del agroecosistema. El diagrama incluye también el capital social de la finca, con elementos como presencia de líderes comunales, gestión de proyectos y organización de la comunidad. La mezcla de factores ecosistémicos, técnicos y culturales en las realimentaciones intenta contextualizar la cotidianidad de la finca cafetera y la forma como esta es entendida y administrada por los agricultores. El diagrama planteado sirve como base para desarrollar un modelo de simulación en dinámica de sistemas a fin de mejorar la comprensión del sistema por diferentes actores y el diseño de estrategias de gestión de la finca.

Palabras clave: Pequeños agricultores, café, dinámica de sistemas, agroclimatología.

**Study of the coffee agroecosystem structure through the casual loop diagram. Case study
(Cundinamarca, Colombia)**

Abstract: The purpose of this study is was to identify the dynamics emerging from the interaction of the agroecosystem structure, management practices and climatic factors, integrate ecosystem and cultural components. Surveys, field visits and guided tours in Anolaima (Cundinamarca) were used to design causal loop diagrams that were assessed and corrected by participating coffee farmers. The analysis of the diagram allows us to understand the productive performance of the agroecosystem as a result of its components interactions. Shade trees and farm-level capital were highlighted as important variables with a high level of influence on the agroecosystem's performance. The conceptual diagram presents a dynamic approach to relations that include farm-level social capital and elements such as the presence of community leaders, project management and community organization. The combination of ecosystem, technical and cultural factors in feedbacks attempts to contextualize the day-to-day of the coffee farm and the way it is understood and managed by the farmers. The proposed diagram serves as groundwork for developing a simulation model using system dynamics to increase the understanding of different actors and for designing farm management strategies.

Keywords: Small farmers, coffee, system dynamics, agroclimatology.

Recibido: 22 de abril de 2019
1ª versión revisada: 27 de mayo de 2019
Aceptado: 03 de julio de 2019

Cómo citar este artículo: Díaz, M. A., y Córdoba, C. A. (2019). Estudio de la estructura del agroecosistema cafetero mediante el diagrama de ciclos causales. *AGER: Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural (Journal of Depopulation and Rural Development Studies)*, 28, 135-160 <https://doi.org/10.4422/ager.2019.08>

Miguel Alejandro Díaz Manrique ORCID: 0000-0001-5469-638X.
Cindy Alexandra Córdoba Vargas ORCID: 0000-0002-3066-5842.
E-mail: ca.cordoba@uniandes.edu.co

Introducción

El cultivo de café en Colombia se ha convertido en una huella cultural para la población y durante mucho tiempo representó un rubro importante para la economía nacional. No obstante, la actual crisis ambiental ha afectado la producción cafetera y eventos ambientales como la variabilidad climática obligan a repensar la gestión técnica y ecosistémica de los cultivares (Hernández-Aguilera, Rodewald, Rueda, Anunu, Bennett y van Es, 2018).

El clima es un factor que tiene marcada influencia en la agricultura, variables como la temperatura, la precipitación y la radiación solar pueden estimular o perjudicar fisiológicamente a las plantas y a los organismos acompañantes del cultivo. Las rápidas variaciones del clima y su bajo nivel de predicción alteran las funciones de crecimiento, reproducción y floración de los cafetales, además de modificar los ciclos de vida de sus depredadores (Bustillo y Villalba, 2005). Por otra parte, la fluctuación del clima genera incertidumbre en la toma de decisiones de los agricultores respecto a las medidas técnicas para mantener la producción (Abaunza, 2011). Sin embargo, el aspecto productivo no es el único problema que vive el sector cafetero en el país, la escasez de tecnologías agrícolas, la falta de relevo generacional, la desigual distribución de la tierra, son factores que ponen en riesgo la producción de café.

Esas situaciones son afrontadas por cerca de 560.000 familias que dependen de la producción de café en el país (Berm, 2016). La magnitud del problema se visualiza mejor al tener en cuenta que en Colombia la caficultura es realizada en minifundios con tamaños menores a 5 hectáreas y altamente dependientes de condiciones locales como el clima (Abaunza, 2011). La Federación Nacional de Cafeteros (2018) señala que la caficultura colombiana se realiza en fincas con promedio de 1,3 hectáreas, siendo una actividad de pequeños productores. Por último, en el país no todos los sistemas de producción de café son iguales, su estructura y manejo cambian de acuerdo con la zona geográfica, las recomendaciones técnicas, el arraigo y época en que el productor empieza la actividad cafetera y la experiencia de los caficultores.

Esas diferencias de estructura y manejo modifican el desempeño del sistema productivo. Por ejemplo, prácticas agrícolas relacionadas con el cultivo a plena exposición solar pueden resultar en mayor productividad, pero también estarían relacionadas con mayor erosión, pérdida de biodiversidad, contaminación de suelos y agua por el uso de fertilizantes y pesticidas (Escobar, 2008). Por otra parte, prácticas agrícolas que emplean sombrío podrían modificar las relaciones ecosistémicas entre especies, generando diversos efectos sobre los recursos biofísicos, por ejemplo, favorecen la anidación de aves e insectos, mejoran la diversidad edáfica, facilitan la recarga de acuíferos, el ciclaje de nutrientes, al tiempo que regulan el microclima del cafetal (Escobar, 2008; Lin, 2007).

Por ello, se hace necesario comprender las dinámicas que surgen entre la estructura del agroecosistema, las prácticas de manejo y los componentes del clima. Para lograr el propósito de representar el sistema (sus componentes e interacciones), se seleccionó una herramienta proveniente de la dinámica de sistemas conocida como *Diagrama de Ciclos Causales*. El diseño de ese diagrama permite identificar los ciclos de realimentación que surgen de las interacciones del sistema.

En ese sentido, el objeto de estudio de esta investigación no es el cultivo de café sino el agroecosistema cafetero. Para ello se parte por entender el agroecosistema como las distintas interacciones de tipo biológico y cultural (económicas, sociales, tecnológicas, políticas) que ocurren en un sistema de producción agropecuaria (León, 2012). De acuerdo con el mismo autor "los agroecosistemas no terminan en los límites del campo de cultivo o de la finca, puesto que ellos influyen y son influenciados por factores culturales".

A fin de cuentas, un agroecosistema es un sistema social en donde las personas toman decisiones de acuerdo con la realimentación que reciben de su entorno. De acuerdo con Olaya (2012) el desempeño de un sistema social es comprendido como el

resultado de un intrincado proceso de toma de decisiones llevado a cabo continuamente por actores en constante interacción. De allí que tener en cuenta el sistema de valores y propósitos que guían las acciones de los actores es fundamental para comprender el comportamiento de un sistema que incluye seres humanos (Córdoba Vargas, Hortúa Romero, & León-Sicard, 2019).

Los diagramas de ciclos causales se han usado en varios estudios referentes a la caficultura con el propósito de aportar una visión sistémica en distintas problemáticas. Bosch, Nguyen y Nguyen (2016) realizaron un diagrama de ciclos para comprender la dinámica en la cadena de suministro del café vietnamita y proponer estrategias para mejorar su competitividad. Otros autores centraron sus esfuerzos en dinámicas referentes a decisiones de inversión de los caficultores y mercadeo (Abaunza, 2011; Abaunza y Arango, 2009; Perez, 2010). Por su parte, Céspedes, Arboleda y Morales (2010) construyeron un diagrama de ciclos causales y un modelo de niveles y flujos para explorar la situación de seguridad alimentaria en pequeñas fincas cafeteras. Sin embargo, no se cuenta con estudios que propongan un modelo de dinámica de sistemas que reconozca los vínculos complejos entre aspectos climáticos, agronómicos, económicos y culturales a fin de comprender el desempeño productivo del sistema.

Según Darnhofer, Gibbon y Dedieu (2012), estudiar un agroecosistema requiere de tres aspectos estructurales: pensamiento sistémico, interdisciplinariedad y enfoque participativo. El pensamiento sistémico como herramienta para entender la influencia mutua entre los componentes de la finca y su comportamiento como unidad. La interdisciplinariedad como la mezcla disciplinar que permite superar la visión rural de simple espacio biofísico de producción (Charao Marques, Kessler Dal Soglio y van der Ploeg, 2010). Y en el enfoque participativo que con metodologías provenientes de las humanidades procura una aproximación al agricultor y a sus conocimientos. El enfoque participativo evita lo que Freire (1978) denominó como "invasión cultural" y "comunicación verticalizada". Eso quiere decir que el científico no impone al campesino sus conocimientos, su visión del mundo, ni su escala de valores.

Bajo esas tres premisas esta investigación buscó identificar las interacciones que emergen al considerar conjuntamente la estructura del agroecosistema cafetero, las prácticas de manejo de los agricultores y los componentes del clima, de forma que se integran factores de tipo ecosistémico y cultural. Se construyó y corrigió un diagrama de ciclos causales a partir de visitas a finca productoras, reportes de literatura científica, opinión de expertos y revisión de una comunidad caficultora del municipio de Anolaima (Cundinamarca- Colombia). Después se identificaron los bucles

de realimentación que surgieron en la estructura, principalmente aquellos con influencia en la cantidad y calidad del grano producido.

El diagrama presentado en este artículo es la base conceptual a partir de la cual se puede construir un modelo de simulación de dinámica de sistemas, conocido como modelo de niveles y flujos. La aplicación de estas herramientas no busca la estimación o predicción de cosechas, sino la formulación de estrategias o políticas de intervención a partir de la comprensión de la estructura y comportamiento del agroecosistema cafetero.

Materiales y métodos

El abordaje de este proyecto es de tipo sistémico. Se propone estudiar la finca cafetera holísticamente y no cada una de sus partes de forma independiente. Materializar ese enfoque en el desarrollo de la investigación exige el uso de procedimientos que faciliten esa perspectiva. El diagrama de ciclos causales es una herramienta que permite explorar de forma cualitativa los componentes e interacciones de un sistema en particular (Andersen, Vennix, Richardson y Rouwette, 2007; Olaya, 2012).

Un diagrama de ciclos causales se construye generalmente mediante cuatro componentes: variables, flechas de conexión, signos de polaridad e indicadores de realimentación. Las variables se representan mediante palabras y designan componentes del sistema que pueden estar sujetos a cambios. Dichas variables se conectan mediante flechas de conexión, las cuales representan la influencia causal entre ellas (Sterman, 2000).

Para entender el diagrama se debe tener en cuenta que la interacción entre dos variables posee una polaridad (positiva o negativa) que caracteriza la relación entre los elementos conectados. Para designar la polaridad se usan los signos (+) y (-) en la cabeza de las flechas de conexión, esa polaridad permite conocer el tipo de interacción entre las variables (Schaffernicht, 2010).

Una polaridad positiva (+) indica una relación *directa* de incremento o de disminución entre las dos variables relacionadas. Es decir, si la variable causa aumenta entonces la variable efecto también aumenta. O en caso contrario, si la causa disminuye entonces el efecto también disminuye. La polaridad negativa (-) indica una

relación *inversa* entre las *dos* variables conectadas. Por tanto, si la variable causa aumenta entonces la variable efecto disminuye. O en caso contrario, si la causa disminuye el efecto aumenta.

Finalmente, los indicadores de realimentación se usan para caracterizar las realimentaciones o ciclos más importantes del diagrama. Los bucles de realimentación pueden ser de diferente naturaleza: de refuerzo o de balance. Los ciclos de refuerzo tienden a amplificar el efecto de éste en sus variables constituyentes, por su parte los ciclos de balance realizan un contrapeso que compensa o equilibra el efecto de la retroalimentación en cada ciclo consecutivo (Laurenti, 2016).

El punto más importante en el uso de diagramas de ciclos causales es la identificación de los bucles o ciclos de realimentación. Para identificar un ciclo se siguen las conexiones causales a partir de una variable de interés. El ciclo se completa cuando la flecha de conexión llega nuevamente a la variable desde la cual se comenzó el trayecto.

A estos ciclos se les llama de realimentación o de *feedback* porque el cambio en una variable inicial propaga su efecto a través de toda la cadena de conexión con las demás variables del ciclo, lo anterior hasta llegar a afectarse nuevamente la variable inicial (Abaunza y Arango, 2009; Meadows, 2008). La nueva repuesta de la variable inicial puede reforzar u oponerse al cambio original. De allí surge la denominación de realimentaciones de refuerzo o de balance. Para el análisis de los agroecosistemas, se construyó el diagrama de ciclos causales usando el software Vensim, desarrollado por la empresa Ventana Systems Inc. En este estudio se usó la versión Vensim PLE (Personal Learning Edition).

Con referencia al trabajo de campo este se desarrolló durante los años 2013 a 2015 en el municipio de Anolaima (Cundinamarca-Colombia) a 77 km al occidente de Bogotá. Se realizaron 18 salidas de campo a seis fincas cafeteras localizadas en las veredas: El Descanso, Chiniata y Santo Domingo. La zona de estudio se localiza en la vertiente occidental de la cordillera oriental a una altitud entre los 1.600 y 1.700 msnm, precipitación anual promedio de 1232 mm y una temperatura media de 20°C (Córdoba Vargas y Leon Sicard, 2013).

El municipio de Anolaima y las veredas visitadas representan las condiciones de la mayor parte del campo colombiano: altos índices de necesidades básicas insatisfechas (26.68 %) (Alcaldía Municipal de Anolaima Cundinamarca, 2012), migración de los jóvenes del campo, pequeños propietarios que practican economías de subsistencia (el 86,3 % posee menos de 9 hectáreas), mal estado de las vías y difíciles condiciones climáticas que inciden en la seguridad alimentaria (escasez de

alimentos entre marzo y agosto) (Pirachicán, 2015). En ese sentido, el cultivo de café destaca como una de las pocas alternativas que ofrece a los agricultores el incentivo económico en las épocas de cosecha principal y de cosecha secundaria o travesía. El 100 % de los participantes pertenecen a la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, apenas un 12 % pertenecen a alguna forma organizativa vinculada con la producción de plátano, miel o guayaba.

Las fincas cafeteras visitadas durante el estudio compartían características geográficas, climáticas y edáficas, pero presentaban ciertas diferencias en su manejo técnico (algunas con prácticas de tipo ecológico y otras de tipo convencional). Durante las visitas se realizaron tres recorridos guiados en cada uno de los predios, entrevistas semi-estructuradas a las familias productoras y se desarrollaron tres encuentros generales con los caficultores de las veredas participantes (dos durante y uno después de las entrevistas).

El propósito inicial de los recorridos y entrevistas en campo fue el de comenzar la identificación de las interacciones y componentes que estructuran el agroecosistema. Esto aunado al soporte con literatura científica y comentarios de expertos permitió el diseño de las primeras versiones del diagrama de ciclos causales.

Durante las visitas a campo un grupo de tres expertos en agronomía, agroecología y climatología conocedores de las dinámicas sociales al interior de las finas y las cuestiones climáticas y la comunidad, validaron y retroalimentaron el diagrama de ciclos, resolviendo interrogantes sobre aspectos técnicos o sociales que surgían. En resumen, el proceso de construcción del diagrama consistió en un ciclo de diseño-validación-realimentación entre el grupo investigador y la comunidad caficultora, soportado por literatura científica.

En la medida que avanzaba la investigación se fueron identificando las variables a tener en cuenta en el estudio. La Tabla 1 muestra las variables usadas en el diseño final del diagrama de ciclos causales, en ella estas se clasifican en categorías de tipo social, económico, agronómico y agroclimático, para favorecer la visualización. En el diagrama de ciclos causales (Anexo 1) se observa como esas variables interactúan unas con otras debido a las relaciones de causalidad y ciclos de realimentación encontrados.

Tabla 1.
Variables de interés identificadas en el estudio

| Variables Sociales | Variables Económicas | Variables Agronómicas | Variables agroclimáticas |
|------------------------------------|--------------------------------------|---|------------------------------------|
| Miembros activos de la familia | Dinero disponible | Cafetos (Jóvenes, productivos y viejos) | Tiempo Térmico Acumulado Broca |
| Miembros no activos de la familia | Valor del fertilizante | Renovación de cafetales | Tiempo Térmico Acumulado Floración |
| Gastos familiares | Precio internacional del café | Calidad infraestructura de beneficio | Temp. Ambiente |
| Autoconsumo | Contratación de mano de obra | Árboles de sombrío | Temp. Diurna cultivo |
| Prácticas de mano devuelta cultivo | Inversión en fertilización | Frecuencia del Re-Re | Temp. Nocturna |
| Confianza y Credibilidad | Inversión en estructura de beneficio | Calidad del grano | Brillo solar |
| Organización de la comunidad | Precio de venta del café | Nivel de sombrío | Intensidad lumínica |
| Gestión de proyectos | Diversificación de la finca | Presencia de broca | Precipitación |
| Recursos adicionales | Productos alternos | Granos careados | Intercepción por sombrío |
| Presencia de líderes comunales | | Tasa de Crecimiento | Lluvia efectiva |
| Área disponible de la finca | | Productividad por cafeto | Evapotranspiración |
| | | Fertilizante requerido | Escoorrentía |
| | | Producción de la finca | Disponibilidad agua cultivo |
| | | Floración | Probabilidad déficit hídrico |
| | | Materia orgánica | Probabilidad exceso hídrico |
| | | | Aptitud hídrica del cultivo |

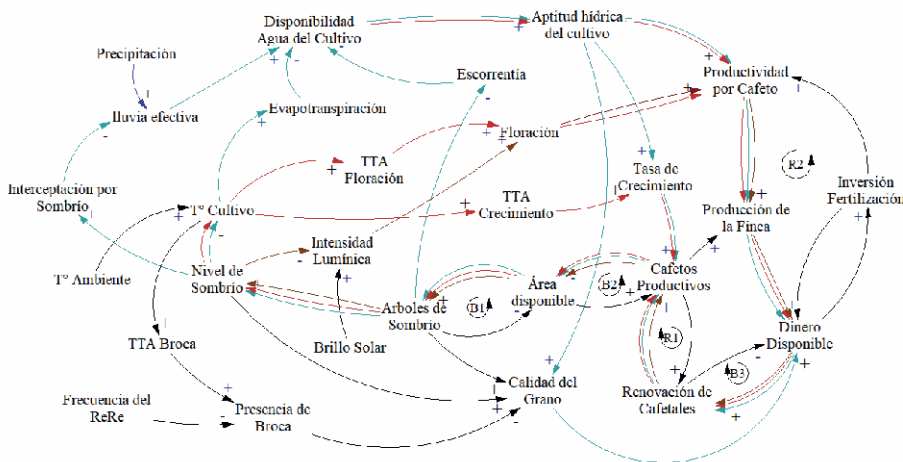
Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

La hipótesis dinámica resultante integra cincuenta y cuatro variables (54) en las que se mezclan factores sociales, económicos, agronómicos y agroclimáticos del agroecosistema cafetero (Anexo 1). Luego de la construcción del diagrama se procedió a identificar los bucles de realimentación existentes. A continuación, se describen algunos de los ciclos más relevantes.

Los ciclos de balance B1 y B2 (Diagrama 1) definen la competencia por área entre cafetos y árboles de sombrío. La variable *área disponible* regula el establecimiento ya sea de cafetales o de sombrío. La consideración de los ciclos B1 y B2 es importante en la comprensión del nivel de intensificación de la finca (libre exposición - cafetal con sombrío), ya que el nivel de sombrío que el caficultor mantiene en su sistema afecta aspectos como la densidad de siembra, la cantidad de fertilizantes a usar, la productividad por cafeto, la calidad del café y la mano de obra necesaria para las labores del cultivo.

Diagrama 1.
Sector climático del agroecosistema cafetero



Fuente: Elaboración propia.

Los ciclos referentes a temperatura (línea roja) muestran cómo la tasa de crecimiento de los cafetos se ve afectada por el tiempo térmico acumulado (TTA)¹ que estos requieren para pasar a fase de producción. Según Montoya, Arcila, Jaramillo, Riaño y Quiroga (2009), los cafetos requieren acumular cerca de 3.250 unidades térmicas para pasar de la etapa vegetativa a la reproductiva. De acuerdo con Lin (2007) los cafetales a libre exposición y con sombrío presentan distintas temperaturas microclimáticas² lo cual altera el crecimiento de los cafetos.

Según Arcila (2007) el crecimiento de los cafetos es más activo cuando existe un buen suministro de energía solar, es decir que los cafetos entran en etapa productiva más rápidamente. Bajo esa lógica se refuerza la disminución del porcentaje de sombrío de la finca para favorecer un incremento en el área sembrada en café y un menor tiempo en lograr la primera cosecha.

El diagrama 1 también deja ver la influencia del sombrío respecto a la disponibilidad de agua en el cultivo (línea azul). Por un lado, la hojarasca generada por los árboles de sombrío disminuye las pérdidas hídricas por escorrentía (Velásquez y Jaramillo, 2009). Por otra parte, el sombrío al influir en la temperatura del cultivo cambia la tasa de transpiración de las plantas y de evaporación desde el suelo (Lin, 2007). Finalmente, los árboles de sombrío representan una interceptación³ a la precipitación y disminuyen la lluvia efectiva al interior del cultivo.

Las interacciones anteriores influyen en la disponibilidad de agua del cafetal. El déficit o exceso hídrico disminuye la tasa de crecimiento de los cafetos⁴. En ese sentido,

-
- 1• Fases fenológicas como crecimiento, floración y llenado de fruto son reguladas por el tiempo térmico acumulado (TTA). Mayor temperatura del cultivo permite acumular el tiempo térmico necesario más rápidamente. Existen temperaturas de referencia por encima o por debajo de las cuales no ocurre desarrollo fisiológico del cultivo. De acuerdo con Montoya *et al.* (2009) la temperatura referencia superior para el café es de 30°C y la temperatura base inferior es de 10°C.
 - 2• Lin (2007) encontró que cafetales a libre exposición sufren mayores fluctuaciones de temperatura a lo largo del día (mayores temperaturas diurnas y menores temperaturas nocturnas) respecto a los cafetales con presencia de sombrío.
 - 3• De acuerdo con Velásquez y Jaramillo (2009) un cafetal a libre exposición presenta una interceptación de lluvia del 7.6 % mientras que en un cafetal con sombrío esa proporción se aumenta a un 14.3 %. Eso se debe a que en el cafetal con sombrío existen dos niveles de interceptación: el efectuado por los árboles de sombra y el efectuado por los cafetales.
 - 4• La sobresaturación de agua del suelo limita la formación del sistema radical de la planta y por tanto se produce un crecimiento débil de la parte aérea, amarillamiento de hojas y deficiencias nutricionales (Jaramillo y Arcila, 2009). Respecto al déficit hídrico Arcila (2007) reporta que los cafetos pueden sufrir de clorosis y pérdida del follaje después de periodos secos prolongados.

uno de los puntos clave de la gestión técnica recae en manejar un porcentaje de sombrío que permita aprovechar la regulación microclimática que ofrecen los árboles y que al mismo tiempo favorezca alcanzar una alta productividad de los cafetos.

Los ciclos R1 y B3 (Diagrama 1) señalan las interacciones entre el número de cafetos productivos, la renovación de cafetales y el dinero disponible por el caficultor. Renovar los cafetales es una labor que demanda mano de obra, fertilizante y en caso de resiembra también exige material vegetal, factores que requieren una inversión de capital por parte del caficultor. Al no renovar los cafetales, los niveles de productividad disminuyen (Rendón, 2016). El 68 % de los agricultores expresó que no renovaban sus cafetales envejecidos (plantas con más de 20 años), debido a la falta de recursos económicos.

La variable Producción de la finca se ve afectada por dos componentes: Productividad por café y Cafetos productivos. Cada uno de ellos se encuentra inmerso en distintos tipos de realimentaciones. Por una parte, la productividad por café es afectada por los ciclos de recurso hídrico, temperatura y se suma la realimentación referente a la Intensidad lumínica (línea marrón). La luz es un recurso esencial en el proceso fotosintético de las plantas. Los nutrientes sintetizados en la fotosíntesis permiten al café generar las estructuras necesarias para su reproducción, como es el caso de la flor, que a futuro representa un grano de café (Arcilla, 2007).

El ciclo de la intensidad lumínica (Diagrama 1. Línea marrón) relaciona el brillo solar con el nivel de sombrío. Los excesos de lluvias y altas nubosidades disminuyen la floración, dispersan su ocurrencia y causan anomalías en la flor (Jaramillo-Robledo y Arcila-Pulgarín, 2009). En referencia al sombrío, autores como Castillo y López (1966) citados por Arcila (Arcilla, 2007) y Hernández-Aguilera, Conrad, Gómez y Rodewald (2019), manifiestan su efecto en la disminución de la producción por planta. En la fase de entrevistas de campo todos los caficultores estuvieron de acuerdo al expresar que el exceso de sombra o periodos de alta nubosidad impactan en la formación de flores y la productividad de los cafetos.

El ciclo de refuerzo R2 describe una realimentación que afecta la productividad de los cafetos vía fertilización. Lograr altos niveles de productividad favorece los ingresos por venta del café cosechado. Al mejorar la capacidad económica del agricultor, es posible invertir en labores de fertilización del cultivo, cuyos resultados afectan positivamente la productividad del siguiente ciclo de cosecha.

En este punto deben tenerse dos consideraciones de acuerdo con el diagrama construido:

Dado que el ciclo R2 es un ciclo de refuerzo, el efecto contrario también debe ser considerado. Si no se logra hacer una buena fertilización se impacta la productividad por cafeto y por consiguiente los ingresos por venta de café estarán afectados negativamente, lo cual nuevamente afecta la fertilización del siguiente ciclo.

Realizar correctamente las labores de fertilización no garantiza una alta productividad. Debe tenerse en cuenta que la productividad también es afectada por los ciclos de recurso hídrico, temperatura e intensidad lumínica.

En referencia a la calidad del café, el diagrama 1 representa algunas interacciones que influyen en tal variable. El ciclo de recurso hídrico afecta directamente la calidad dado que la falta de agua en la época de maduración y llenado de los frutos puede causar defectos como granos flotantes, parcialmente formados, negros y pequeños (Jaramillo-Robledo y Arcila-Pulgarín, 2009).

El nivel de sombrío influye en la calidad del grano de dos formas diferentes. Por una parte, el sombrío al afectar el microclima del cultivo incide en el tiempo térmico acumulado (TTA Broca) para el desarrollo fenológico de la broca (*Hypothenemus hampei*), la cual según los caficultores es el principal insecto plaga del café, cuyos daños en los cultivos a nivel mundial se estiman en U\$ 500 millones anualmente (Infante, 2018). En el diagrama también se consideró la ejecución del Re-Re⁵ (Recoja y Repase), que según los caficultores permite el control de broca y el mejoramiento de la calidad del grano.

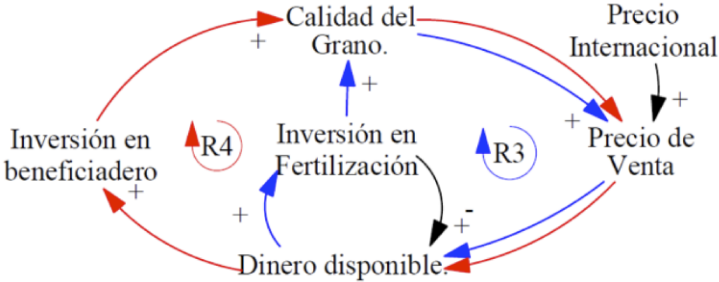
Por otra parte, aunque en general el sombrío disminuye el rendimiento del cafeto (Arcilla, 2007), favorece la calidad del grano (Da Silva Neto, Morinigo, De França Guimarães, De Souza Gallo, De Souza, Stolf y Fontanetti, 2018). De acuerdo con Lara (2005) en los cafetales bajo sombrío se favorecen aspectos como: granos con mayor tamaño, peso y mayores tazas de acidez y cuerpo. El mismo autor manifiesta que en sistemas a plena exposición la mayor cantidad de granos, induce a una competencia por agua y nutrientes, lo que desencadena una maduración precoz de los frutos, menores tamaños y baja calidad organoléptica.

Los otros dos ciclos que afectan la calidad del grano corresponden con las realimentaciones de refuerzo R3 y R4 (Diagrama 2). Al examinarlas puede observarse

5• El Re-Re (Recoja y Repase) es una práctica de manejo para el control de broca. Consiste en recoger oportunamente los granos maduros con una frecuencia 15 a 20 días y hacer un repaso en el cultivo para evitar granos sobre-maduros y secos (Ramírez-Bacca, 2009).

que comparten las mismas variables, y que el ciclo R4 tiene un componente adicional correspondiente a la Inversión en fertilización. Estos ciclos describen como la fertilización y la infraestructura para el beneficio del café son factores importantes en la obtención de altas calidades. La fertilización por ejemplo evita desbalances de minerales que pueden generar granos con sabores amargos y la disminución organoléptica de la bebida (Lara-Estrada, 2005; Ramírez, 2009).

Diagrama 2.
Ciclos con influencia en la calidad del grano



Fuente: Elaboración propia.

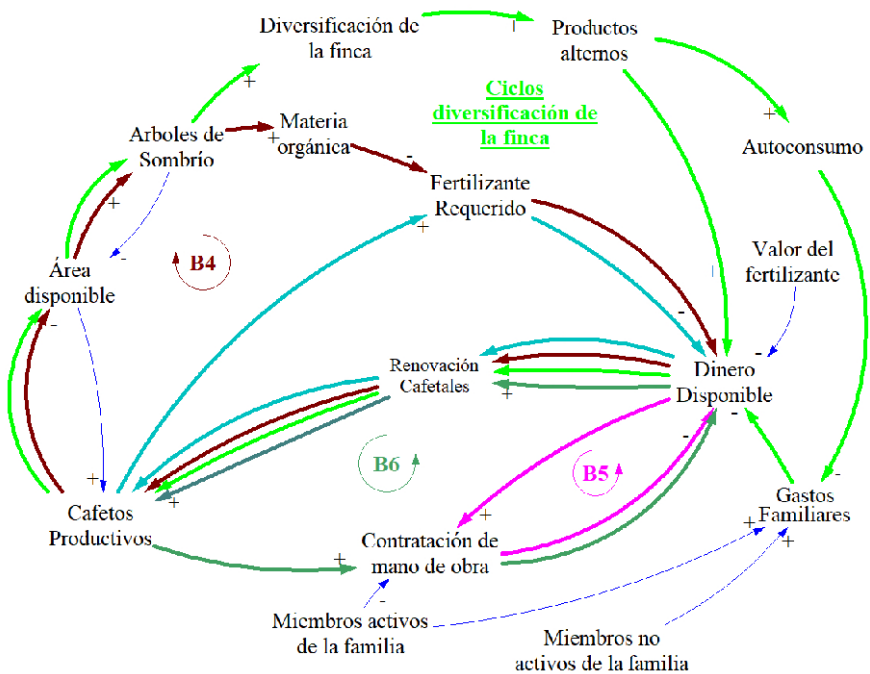
Adicionalmente, en el proceso de beneficio los granos deben soportar esfuerzos mecánicos, exposición a microorganismos, cambios de temperatura y humedad, distintos tipos de aguas, tiempos de beneficio, riesgos de contaminación y fermentación (Fajardo y Sanz, 2003; Puerta-Quintero, 1999). La infraestructura de beneficio actúa como un amortiguador de todos esos riesgos. El ciclo R4 expone que la calidad del grano al relacionarse directamente con el precio de venta y por tanto con los ingresos económicos de la finca, permite modificarse al invertir en mejorar la infraestructura de beneficio de la finca.

En los ciclos de calidad del grano debe tenerse en cuenta que el caficultor puede ser bonificado o sancionado por calidad, es decir se afecta su precio de venta. Allí entra en juego la variable externa: *precio internacional del café*, la cual tiene una gran influencia en la rentabilidad del cultivo. Aunque la certificación de las fincas es una estrategia que permite tener algún respaldo en el precio pagado al productor (Ibanez y Blackman, 2016), obtenerla es un proceso demandante en tiempo y dinero.

En el caso de la zona visitada, los productores ecológicos prefirieron abandonar su certificación dado que los beneficios no compensaban la inversión realizada.

El ciclo B4 (línea marrón) del diagrama 3 tiene en cuenta la materia orgánica producida por los árboles de sombrío en el agroecosistema. Tal consideración afecta los requerimientos de fertilizante del cultivo. De acuerdo con Cardona y Sadeghian (2005) en cafetales con sombrío una parte de las exigencias nutricionales del cultivo son provistos a través de la hojarasca. De esa forma se disminuye la compra de fertilizante y el dinero ahorrado puede destinarse a otras inversiones.

Diagrama 3. Ciclos referentes a diversificación de la finca y mano de obra



Fuente: Elaboración propia.

Los ciclos de diversificación de la finca del diagrama 3 (línea verde) describen cómo los árboles de sombrío ofrecen productos (maderables o frutales) cuya comercialización representa entradas económicas a la finca (Hernández-Aguilera et

al., 2018; Rice, 2008). En ese sentido Escobar (Escobar, 2008) también señala los beneficios técnicos, económicos y nutricionales de los árboles de sombrío al favorecer prácticas de autoconsumo y reducir gastos familiares.

En la zona de estudio las especies arbóreas de uso mixto (sombrío – frutal o maderable) de mayor distribución son los cítricos (mandarino, limón y naranjo), guayaba, papaya, plátano, guayacán y roble, de estos solamente se comercializan plátano y guayaba. Esta vegetación de sombrío también ofrece un valor cultural para el 67 % de los caficultores, quienes mencionaron que ese tipo de árboles ofrece belleza paisajística, conservación de la biodiversidad y sitios de anidación y avistamiento de aves.

En el diagrama se conceptualizaron las variables: *Miembros activos de la familia* y *Miembros no activos de la familia*, para hacer referencia a la posible participación de los integrantes de la familia en las labores del cultivo. Durante las entrevistas los caficultores manifestaron la importancia de que sus parejas e hijos colaboraran en las tareas del cafetal, ya que esto representa un ahorro en el pago de jornales a trabajadores externos. Sin embargo, en esta zona como en muchos lugares del país es común la migración de jóvenes a las ciudades, disminuyendo la fuerza laboral del municipio.

Los ciclos de balance B5 y B6 (Diagrama 3) muestran cómo sus variables se regulan por cada ciclo de la realimentación. Un número elevado de cafetos productivos exige mayor contratación de mano de obra afectando el dinero disponible de la finca. Esa situación afecta la renovación de cafetales, y a futuro hay menos cafetos en etapa productiva, lo cual se traduce en menor inversión de capital en mano de obra.

Capital Social

En el diagrama propuesto se consideran interacciones comunitarias que se desarrollan en el agroecosistema y que tienen el potencial de afectar su comportamiento productivo. Por esa razón se aborda el concepto de capital social entendido como relaciones interpersonales de distintos tipos: negociación, cooperación, subordinación, confianza, parentesco y por supuesto de conflicto (Lugo-Morin, 2013).

En ese aspecto las visitas de campo permitieron conocer las relaciones entre caficultores, así como sus procesos organizativos. La interacción con ellos permitió percibir la importancia de la presencia de líderes en la comunidad, las redes de trabajo

y las alianzas entre los caficultores. Al participar de sus reuniones y discusiones se pudo notar como emergían lazos de amistad, confianza y apoyo entre algunos de los caficultores participantes.

A partir de esas observaciones se estructuraron algunas interacciones representadas en el diagrama cuatro.

*Diagrama 4.
Ciclos referentes al capital social del agroecosistema*



Fuente: Elaboración propia.

El ciclo R5 muestra la retroalimentación que se logra al gestionar proyectos que representan recursos o actividades que favorecen entradas adicionales al agroecosistema, que pueden mejorar el capital disponible de la finca para continuar en la búsqueda y gestión de nuevos proyectos o actividades para su bienestar (Kim, Marcouillery Woosnam, 2018).

En este sentido, durante el transcurso del proyecto la comunidad caficultora de las veredas visitadas fue participante de tres proyectos de diferente naturaleza. El primero fue iniciativa propia de la comunidad, la cual gestionó los fondos y logística para realizar el mapeo y georreferenciación de los asociados al acueducto veredal. Un segundo proyecto se desarrolló en asocio con la Universidad Nacional de Colombia, en la cual algunas fincas servían como escenario de práctica para un diplomado de agricultura ecológica. El proyecto más reciente fue desarrollado junto con el ministerio de agricultura de Colombia y una empresa de alimentos procesados. En este

último los productores se comprometían a realizar el plante y cuidado de cultivos de plátano y la empresa privada aseguraba la compra del producto. De esa forma se observa como la consecución de recursos y actividades adicionales impulsan la organización de la comunidad para gestionar nuevos proyectos, situación reflejada en el ciclo R6.

Los caficultores expresaron que la organización de la comunidad no es un proceso sencillo puesto que exige esfuerzo por parte de aquellos que se integran a ella. La realización de reuniones, discusiones y la participación en eventos favorece el desarrollo de confianza entre los distintos productores participantes. Y esa confianza favorece la capacidad organizativa de la comunidad. Este tipo de realimentación se captura en el ciclo R7.

La confianza y credibilidad son factores primordiales en las relaciones entre los productores. El desarrollo de lazos de solidaridad facilita la práctica de estrategias de colaboración como la *vuelta é mano*. Esas estrategias potencian los lazos de amistad porque son acuerdos de palabra en los que se aporta el trabajo como pago por la colaboración recibida, es decir, que una mayor confianza permite el desarrollo de prácticas colaborativas, las cuales durante su desarrollo mejoran las relaciones entre los vecinos. Este fenómeno se propuso mediante la retroalimentación R8.

En el diagrama se observa que los cinco bucles de realimentación tienen una característica de refuerzo. La dinámica de ese ciclo puede entenderse como un círculo virtuoso donde las acciones de la comunidad permiten su propio progreso, o por el contrario, como un círculo vicioso donde las relaciones conflictivas entre las personas no les permiten organizarse ni crear vínculos de confianza. Se puede decir que las retroalimentaciones identificadas en el diagrama de ciclos causales del capital social siguen la lógica que expresa Lugo-Morin (Lugo-Morin, 2013) el cual manifiesta que existe un bucle entre "... la acción y las relaciones existentes, dado que la acción puede consistir en crear una relación, modificando con ello la red, que a continuación tendrá una influencia en la acción, y así sucesivamente...".

Conclusiones

El análisis del diagrama permitió identificar dos variables importantes en las realimentaciones: árboles de sombrío y dinero disponible. Los árboles de sombrío son

el puente de interacción con las variables climáticas consideradas, generando ciclos con cada una de ellas y afectando directamente factores agronómicos del cafetal. Por otra parte, el sombrío abre los dos ciclos de realimentación referentes a la diversificación de la finca, afectando la dimensión nutricional vía autoconsumo y la dimensión económica por ahorro en fertilización.

El dinero disponible se muestra como una variable integradora a la que llegan y salen interacciones de distintas realimentaciones. Su afectación se puede notar en las distintas dimensiones del agroecosistema, y fue el eje que permitió articular en el diagrama el capital social de la finca.

Las variables Productividad por cafeto y Calidad del Grano, también ejercen como nodos en los cuales se integran factores climáticos, agronómicos y económicos. Por tanto, sirven como puntos base para analizar el cambio en los demás componentes del sistema.

Considerar el capital social del agroecosistema amplía la frontera del modelo y permite una reflexión sobre las conexiones frecuentemente omitidas entre las relaciones sociales de los agricultores y la capacidad productiva de sus fincas. Modelar aspectos sociales como la confianza, la credibilidad o la capacidad organizativa de una comunidad representa un desafío. A pesar de eso y según Forrester (1987) para entender un sistema es preferible incorporar variables e interacciones incluso si su representación es difícil y evitar omitirlas aún con conocimiento de su importancia en el desempeño del conjunto.

Debe tenerse en cuenta que al momento de identificar las variables del sistema el investigador es quien determina el grado de detalle al cual desea llegar. En ese sentido, la integración de los caficultores en el diseño del modelo permitió una mejor contextualización de este, de forma que no se perdiera el foco sobre la situación que se está explorando. En ese sentido, al especializar o generalizar demasiado la visión del diagrama, se corre el riesgo de perder interacciones importantes y por tanto sacrificar la comprensión del sistema.

El diagrama propuesto sirve como base para dar continuación a la investigación mediante la construcción de un diagrama de niveles y flujos con la metodología de dinámica de sistemas. De esa forma a través de software como Vensim, Stella o Ithink, las variables y sus interacciones se relacionan mediante ecuaciones que ofrezcan la posibilidad de observar cambios de comportamiento a través del tiempo.

Un ejercicio en desarrollo consiste en modelar el desempeño productivo de la finca frente a distintos escenarios de variabilidad climática, tales como fenómenos del

Niño o de la Niña. En este punto la estructura del modelo brinda la posibilidad de cambiar los valores de las variables ya sean de tipo agronómico, socioeconómicos o climático, y a partir de allí mejorar la comprensión del comportamiento del sistema. La recomendación con ese tipo de modelos es tomar sus resultados como orientación respecto al diseño de políticas de intervención en la finca, pero no asumirlos como modelos de tipo predictivo.

Agradecimientos

Agradecemos al Jardín Botánico José Celestino Mutis de la ciudad de Bogotá, por el apoyo brindado mediante los estímulos a la investigación ambiental del programa "Thomas Van der Hammen".

Referencias

- Abaunza, F. (2011). Análisis de estrategias de inversión para caficultores colombianos por medio de un modelo de dinámica de sistemas. *Medellín Universidad Nacional de Colombia*, (126). Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/5390/> el 4 de julio de 2013.
- Abaunza, F., & Arango, S. (2009). A system dynamics model for the world coffee market. In S. D. Society (Ed.), *Proceedings of the 27th International Conference of the System Dynamics Society* (pp. 1-21). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/261213730_A_SYSTEM_DYNAMICS_MODEL_FOR_THE_WORLD_COFFEE_MARKET (06/08/2013).
- Alcaldía Municipal de Anolaima. (2012). Plan de Desarrollo Económico, Social y de Obras Públicas del Municipio de Anolaima Cundinamarca. "Porque Gobernar es Servir." *Alcaldía Municipal de Anolaima*, p. 145.
- Andersen, D. F., Vennix, J. A. M., Richardson, G. P., & Rouwette, E. A. J. A. (2007). Group model building: problem structuring, policy simulation and decision support. *Journal of the Operational Research Society*, 58(5), 691-694. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602339>
- Arcilla, J. (2007). Crecimiento y desarrollo de la planta de café. En H. Ospina & S. Marín (Eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia* (pp. 22-60). Recuperado de

- <http://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo2.pdf> (12/10/2014).
- Bermudez, L. N. (2016). *Evaluación del crecimiento y producción en diferentes condiciones de siembra en café*. Tesis de maestría en Ciencias Agrarias. Departamentos de Ciencias Agronómicas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/57589/1/1040032250.2017.pdf> (21/03/2015).
- Bosch, O. J. H., Nguyen, T. V., & Nguyen, N. C. (2016). Enhancing the competitive advantages of Vietnamese coffee through the exploration of causal loop modelling in the supply chain. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 26(1), 17–33. <https://doi.org/10.1504/ijlsm.2017.10000703>
- Bustillo, A., & Villalba, D. (2005). Manejo de broca do café. En I. A. do Paraná (Ed.), *Hohmann Organizador Workshop internacional* (pp. 37–50). Instituto Agronómico do Paraná IAPAR.
- Cardona, D., & Sadeghian, S. (2005). Aportes de material orgánico y nutrientes en cafetales al sol y bajo sombrío de guamo. *Avances Técnicos Cenicafe*, 1–8.
- Céspedes, J., Arboleda, C., & Morales, T. (2010). Aspectos Determinantes De La Seguridad Alimentaria Para Fincas Tipo En El Municipio De Alcalá. Un Análisis Desde La Dinámica De Sistemas. In *Scientia Et Technica*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=84917249010> (04/05/2015).
- Charao Marques, F., Kessler Dal Soglio, F., & van der Ploeg, J. (2010). Constructing sociotechnical transitions toward sustainable agriculture: Lessons from ecological production of medicinal plants in southern Brazil. *Symposium Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food*. Recuperado de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00512266/document>, (28/04/2014).
- Córdoba Vargas, C. A., Hortúa Romero, S., & León-Sicard, T. (2019). Resilience to climate variability: the role of perceptions and traditional knowledge in the Colombian Andes. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 1–27. <https://doi.org/10.1080/21683565.2019.1649782>
- Córdoba -Vargas, C. A., & Leon Sicard, T. E. (2013). Resiliencia de sistemas agrícolas ecológicos y convencionales frente a la variabilidad climática en Anolaima (Cundinamarca-Colombia). *Agroecología*, 8(1), 21–32. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4536785&info=resumen&idioma=ENG> (09/08/2014).
- Da Silva Neto, F. J., Morinigo, K. P. G., De França Guimarães, N., De Souza Gallo, A., De Souza, M. D. B., Stolf, R., & Fontanetti, A. (2018). Shade Trees Spatial Distribution and Its Effect on Grains and Beverage Quality of Shaded Coffee Trees. *Journal of Food Quality*, 2018, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2018/7909467>
- Darnhofer, I., Gibbon, D., & Dedieu, B. (2012). Farming systems research: An approach to inquiry. In *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_1
- Escobar, G. (2008). El sombrío en los cafetales: un sistema, una estrategia para la seguridad alimentaria. In *Concurso RedSan 2007 FAO* (pp. 258–296). FAO.

- Fajardo, I., & Sanz, J. (2003). Evaluación de la calidad física del café en los procesos de beneficio húmedo tradicional y ecológico (Becolsub). *286 Cenicafé*, 54(4), 286–296. Recuperado de <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc054%2804%29286-296.pdf> (28/11/2013).
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2018). Estrategia mas agronomía mas productividad rinde importantes frutos. *Informe Gerencial de La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia*.
- Forrester, J. W. (1987). 14 "obvious truths." *System Dynamics Review*, 3(2), 156–159. <https://doi.org/10.1002/sdr.4260030207>
- Freire, P. (1978). *¿Extensión o comunicación?: La concientización en el medio rural*. Siglo XXI Editores.
- Hernandez-Aguilera, J., Conrad, J. M., Gómez, M. I., & Rodewald, A. D. (2019). The Economics and Ecology of Shade-grown Coffee: A Model to Incentivize Shade and Bird Conservation. *Ecological Economics*, (159), 110–121. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2019.01.015>
- Hernandez-Aguilera, J., Rodewald, A. D., Rueda, X., Anunu, C., Bennett, R., & van Es, H. M. (2018). Quality as a Driver of Sustainable Agricultural Value Chains: The Case of the Relationship Coffee Model. *Business Strategy and the Environment*, 27(2), 179–198.
- 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>
- Infante, F. (2018). Pest Management Strategies Against the Coffee Berry Borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(21), 5275–5280. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04875>
- Jaramillo-Robledo, Á., & Arcila-Pulgarín, J. (2009). Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de El niño y su efecto en la caficultura. *Avances Técnicos Cenicafé*. Recuperado de <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0389.pdf> (13/09/2014).
- Kim, H., Marcouiller, D. W., & Woosnam, K. M. (2018). Rescaling social dynamics in climate change: The implications of cumulative exposure, climate justice, and community resilience. *Geoforum*, (96), 129–140. <https://doi.org/10.1016/J.GEOFORUM.2018.08.006>
- Lara-Estrada, L. (2005). *Efectos de la altitud, sombra, producción y fertilización sobre la calidad del café (Coffea arabica L. var. Caturra) producido en sistemas agroforestales de la zona cafetalera norcentral de Nicaragua* (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3780.3286>
- Laurenti, R. (2016). *The Karma of Products Exploring the Causality of Environmental Pressure with Causal Loop Diagram and Environmental Footprint*. KTH Royal Institute of Technology.
- León, T. (2012). *Agroecología: La ciencias de los Agroecosistemas*. Universidad Nacional de Colombia.

- Lin, B. B. (2007). Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 144(1–2), 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.12.009>
- Lugo-Morin, D. R. (2013). El capital social en los sistemas territoriales rurales: avance para su identificación y medición. *Estudios Sociológicos de El Colegio de México*, 31(91), 167–202. Recuperado de <https://estudiossociologicos.colmex.mx/index.php/es/article/view/122> (22/05/2015).
- Meadows, D. H. (2008). *Thinking in systems: A primer*. Chelsea Green Publishing.
- Montoya, E., Arcila, J., Jaramillo, À., Riaño, N., & Quiroga, F. (2009). Modelo para simular la producción potencial del cultivo del café en Colombia. *Boletín Técnico - Cenicafé*, (33), 52. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10778/588> (30/10/2013).
- Olaya, C. (2012). Models that Include Cows: The Significance of Operational Thinking. In S. University of St. Gallen (Ed.), *Proceedings of the 30th International Conference of the System Dynamics Society*. Recuperado de <https://www.systemdynamics.org/assets/conferences/2012/proceed/papers/P1375.pdf> (06/09/2015).
- Perez, J. (2010). *A system dynamics study of instability in the colombian coffee market* (Masters thesis). University of Bergen (Bergen, Norway).
- Pirachican, E. (2015). Autonomía alimentaria en sistemas agrícolas ecológicos y convencionales en Anolaima (Cundinamarca). *Bogotá DC Universidad Nacional de Colombia*, 108. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/49830/1/80880283.2015.pdf> (17/10/2015)
- Puerta-Quintero, G. (1999). Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, (50), 78–88.
- Ramirez-Bacca, R. (2009). La broca del café en Libano. Impacto socioproductivo y cultural en los años 90. *Revista de Estudios Sociales*, 32, 158–171. Recuperado de <http://journals.openedition.org/revestudsoc/16743> (18/02/2014).
- Ramirez, F. (2009). Fertilización como medio de aumentar la productividad y calidad en café. Curso internacional de nutrición y fertilización del cultivo de café. *Curso Internacional de Nutrición y Fertilización Del Cultivo de Café*, 158–171. Recuperado de <https://docplayer.es/17896497-Curso-internacional-de-nutricion-y-fertilizacion-del-cultivo-de-cafe.html> (06/06/2013).
- Rendón, J. (2016). Sistemas de renovación de cafetales para recuperar y estabilizar la producción. *Avances Técnicos Cenicafé*. Recuperado de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/7011/1/avt0463.pdf> (25/11/2014).
- Rice, R. A. (2008). Agricultural intensification within agroforestry: The case of coffee and wood products. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.06.007>
- Schaffernicht, M. (2010). Causal loop diagrams between structure and behaviour: A critical analysis of the relationship between polarity, behaviour and events. *Systems Research and Behavioral Science*. <https://doi.org/10.1002/sres.1018>

Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston, MA: McGraw-Hill Higher Education.

Velásquez, S., & Jaramillo, A. (2009). Redistribución de la lluvia en diferentes coberturas vegetales de la zona cafetera central de Colombia. *Cenicafé*, 60(2), 148–160. Recuperado de [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc060\(02\)148-160.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc060(02)148-160.pdf) (21/05/2015).

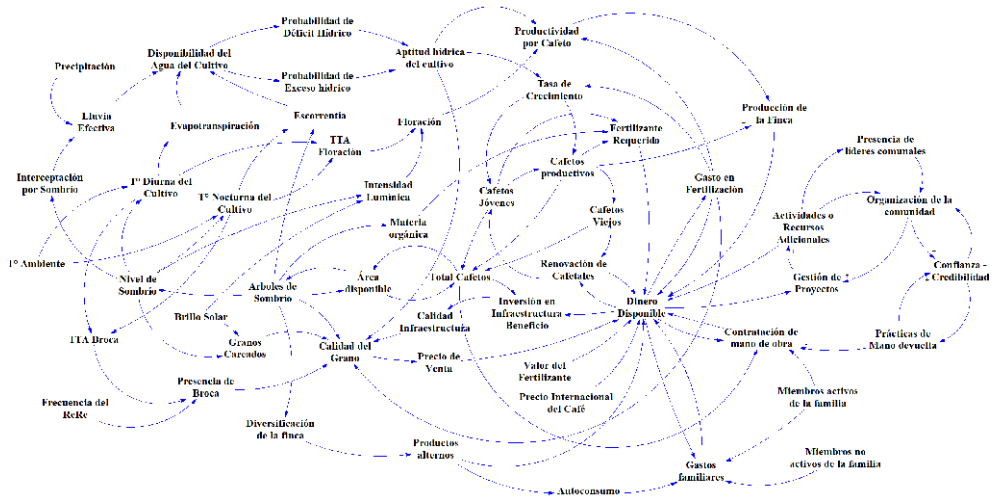
Contribución de autores

| ITEM | Miguel Alejandro Días Manrique | Cindy Alexandra Córdoba Varga | Total | |
|------|--------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|
| 1 | Conceptualización | 65 % | 35 % | 100 % |
| 2 | Tratamiento de los datos | 80 % | 20 % | 100 % |
| 3 | Análisis formal | 80 % | 20 % | 100 % |
| 4 | Acceso financiación | 50 % | 50 % | 100 % |
| 5 | Investigación | 60 % | 40 % | 100 % |
| 6 | Metodología | 80 % | 20 % | 100 % |
| 7 | Gestión del proyecto | 50 % | 50 % | 100 % |
| 8 | Recursos | 0 % | 0 % | 0 % |
| 9 | Software | 0 % | 0 % | 0 % |
| 10 | Supervisión | 30 % | 70 % | 100 % |
| 11 | Validación | 50 % | 50 % | 100 % |
| 12 | Visualización | 60 % | 40 % | 100 % |
| 13 | Redacción (borrador) | 60 % | 40 % | 100 % |
| 14 | Redacción final (revisión y edición) | 50 % | 50 % | 100 % |

Para más información, ir a CRediT: <https://casrai.org/credit/>

Anexo 1.

Diagrama de ciclos causales del agroecosistema cafetero



Fuente: Elaboración propia.