



Miscelánea

Cambio climático y sistemas de producción agroecológico, orgánico y convencional en los cantones Cayambe y Pedro Moncayo

Climate Change and Agro-ecological, Organic and Conventional Production Systems in the Cantons of Cayambe and Pedro Moncayo

 Jenny-Paola Chávez-Caiza, Universidad Simón Bolívar, Ecuador, jp.chavez@outlook.com, orcid.org/0000-0002-9841-7060

 Rafael-Tiberio Burbano-Rodríguez, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, rafael.burbano@epn.edu.ec, orcid.org/0000-0001-6509-7550

Recibido: 26 de noviembre de 2020

Aceptado: 3 de febrero de 2021

Publicado: 31 de marzo de 2021

Resumen

Este artículo analiza el impacto del cambio climático en el modo de producción agroecológico, orgánico y convencional en los cantones Cayambe y Pedro Moncayo debido a los retos que enfrenta Ecuador en el sector agropecuario, ante el deterioro ambiental. Se aplica la metodología del análisis multicriterio para determinar la alternativa de producción agrícola que mejor se ajusta a la zona, a partir de su comportamiento en los siguientes indicadores: económico, social, ambiental, institucional y productivo. En la investigación participaron productores agroecológicos, orgánicos y convencionales. La información se recopiló mediante encuestas y análisis de documentos oficiales de los cantones. El cumplimiento de cada uno de los pasos del análisis multicriterio permitió conocer que el mejor sistema productivo es la agroecología. Le sigue la producción orgánica y el menos adecuado es el sistema de producción convencional. Estos sistemas son afectados de manera distinta por el cambio climático, y su contribución al deterioro ambiental también es diferenciada. La huella hídrica y de carbono para el sistema orgánico es de 39.9 m³/Ton y 1.07 TonCO₂/Kg de producto, respectivamente; mientras que para el sistema agroecológico es de 77.3 m³/Ton y 0.10 TonCO₂/Kg de producto. El sistema convencional es el peor puntuado, con un impacto ambiental más fuerte (huella hídrica = 300.3m³/Ton y huella de carbono = 1.87TonCO₂/Kg de producto). El estudio muestra que el sistema mejor preparado ante estos eventos es el agroecológico. Ello significa que es menos vulnerable y más resiliente, en términos generales.

Palabras clave: agricultura convencional; agricultura orgánica; agroecología; análisis multicriterio; cambio climático; sistema de producción

Abstract

This article analyzes the impact of climate change on agroecological, organic and conventional production in the cantons of Cayambe and Pedro Moncayo due to the challenges of the Ecuadorian agricultural sector in the face of environmental deterioration. The methodology of multi-criteria analysis is applied to determine the best agricultural production alternative, based on its performance in the following indicators: economic, social, environmental, institutional and productive. Producers from the agroecological, organic and conventional systems participated in the study. The information was collected through surveys and analysis of official documents from the cantons. The fulfillment of each of the steps of the multi-criteria analysis allowed us to conclude that the best production system is agroecology, followed by the organic production system. The least adequate is the conventional production system. These systems are affected differently by climate change and their contribution to environmental deterioration is also differentiated. The water and carbon footprint for the organic system is 39.9 m³/Ton and 1.07 TonCO₂/Kg of product respectively; while for the agroecological system it is 77.3 m³/Ton and 0.10 TonCO₂/Kg of product. The conventional system is the worst scored, with a stronger environmental impact (water footprint = 300.3m³/Ton and carbon footprint = 1.87TonCO₂/Kg of product). The study shows that the agroecological system is the best prepared for these events, which means that it is less vulnerable and more resilient in general terms.

Keywords: agroecology; climate change; conventional agriculture; multi-criteria analysis; organic agriculture; production system



Introducción

La vulnerabilidad de Ecuador ante el cambio climático es alta, debido a que su capacidad de adaptación a las consecuencias está condicionada por diversos factores como la pobreza y la ubicación geográfica. A ello se agregan los fenómenos climáticos locales y regionales como el Niño y la Niña, que en registros recientes han incrementado su intensidad y frecuencia. Este panorama demanda la búsqueda de alternativas inmediatas para mitigar los impactos del cambio climático. A ese fin debe contribuir la investigación científica, al identificar sus riesgos y efectos, así como avanzar en el diseño y la implementación de las estrategias de cambio.

Aunque las emisiones de gas de efecto invernadero (GEI) en Ecuador son bastantes reducidas a escala mundial (alrededor del 0,15 %) (Alarcón 2017), siguen siendo un problema que requiere transformación. En 2016 se registró una disminución de emisiones de CO₂ (41.0 Mton CO₂) en comparación con 2015 (43.0 Mton CO₂). Sin embargo, las emisiones volvieron a subir (42.0 Mton CO₂) en 2018, debido al aumento en el consumo de energía en todos los sectores (agricultura, doméstico, industrial y comercial) (Gilfillan et al. 2019; United Nations Framework Convention on Climate Change 2019; Beyond Petroleum 2019). Ello implica un impacto más duradero en las emisiones generadas. A medida que aumenta el consumo energético, también se incrementa el número de emisiones de CO₂ (Arroyo y Miguel 2019).

Ante ese panorama, uno de los mayores retos de Ecuador se encuentra en la agricultura, debido a su peso en la economía nacional. El actual sistema agroalimentario ha sufrido una serie de transformaciones a lo largo del tiempo y se ha convertido en una de las principales actividades económicas (Rodríguez 2010). La agricultura no está ajena a las condiciones ambientales y a sus cambios. Todo el sistema de producción impacta en los ecosistemas adyacentes y, a su vez, se encuentra influenciado por sus componentes (Gutiérrez y Molina 2013).

La agricultura se afecta por la variabilidad climática de los últimos tiempos, pero su sistema productivo también ejerce presión sobre los recursos naturales. De ahí que sea una problemática de ida y vuelta (AEMA 2015). Aunque no abundan los estudios sobre la contribución que tiene el proceso de producción de alimentos, en todas sus fases, al cambio climático, se conoce que, en la fase agrícola, el uso del paquete tecnológico brindado por la revolución verde genera entre el 11 % y el 15 % de las emisiones de GEI globales. El cambio en el uso del suelo, la ganadería y la deforestación contribuyen en gran parte a estas emisiones y comúnmente no son tomados en cuenta dentro de este ámbito (Smith y Martino 2007).

Sin dudas, el cambio climático se ha convertido en una amenaza latente, con impactos incrementales para el sector. Por lo tanto, la ausencia de una agricultura sostenible, el empleo de agrotóxicos, combustibles fósiles en la maquinaria y la generalización de grandes extensiones de monocultivos disminuyen la capacidad de

mitigar los efectos del cambio climático. Así se ha planteado en la literatura, pero se requieren investigaciones específicas para el caso de Ecuador.

Las indagaciones sobre los sistemas de producción deben considerar las características locales y particulares de una zona determinada. Por tanto, esta investigación se limita geográficamente a la provincia de Pichincha y, en específico, a los cantones Cayambe y Pedro Moncayo. En este último cantón, las tierras de uso agrícola representan el 57,19 % y destacan “parcelas pequeñas, sistemas de producción mercantiles, empresariales y combinados. Además, un 22,52 % accede a riego” (GAD PM 2018, 51). En el caso de Cayambe, el 50,8 % de las tierras están dedicadas a actividades agrícolas y tan solo el 33,2 % dispone de riego (GADIP Cayambe 2015). El objetivo de la investigación es analizar el impacto del cambio climático en el modo de producción agroecológico, orgánico y convencional en los cantones Cayambe y Pedro Moncayo.

Marco teórico

Existe una relación entre el cambio climático y la agricultura. Las variaciones en el clima pueden ser consecuencia de prácticas directas o indirectas en esta actividad productiva, pero el cambio también afecta el desarrollo de sus sistemas productivos. El impacto ambiental de la agricultura se relaciona con su progresiva integración a una organización industrial para cada uno de los procesos: producción, distribución y consumo (Naredo 2009). Según GRAIN (2011), todo ello provoca casi la mitad de emisiones de GEI de origen antrópico: entre el 44 % y el 57 %. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) señala que el 23 % de estos gases se dan como resultado de la agricultura, la silvicultura y el uso de la tierra. Si se consideran todos los procesos de pre y post producción de alimentos, las emisiones podrían ascender al 37 % del total de GEI antropogénico (IPCC 2015).

El transporte comercial de alimentos, según estudios realizados en la Unión Europea, alcanza el 6 % de las emisiones globales de GEI (GRAIN 2011). El procesamiento y empaquetado genera entre el 10 % y el 11 % de las emisiones (Bolla y Pendolovska 2011). Adicionalmente, para completar el ciclo de vida de un producto, se debe tomar en cuenta el tiempo que permanece en refrigeración y su venta al consumidor. Estos dos elementos representan el 4 % y el 2 % de las emisiones de GEI, respectivamente (Garnett 2008; Tassou et al. 2011).

Alrededor del mundo, el sistema agroalimentario industrial desperdicia cerca de la mitad de los alimentos que se producen dentro de todo el ciclo de producción. Entre el 25 y el 30 % del total de alimentos producidos se pierde. Por lo general, termina en el relleno sanitario, que aporta entre el 3,5 y el 4,5 % de las emisiones de

GEI globales (GRAIN 2011; IPCC 2019). A partir de lo expuesto, puede señalarse que la agricultura contribuye al cambio climático.

Ecuador no está ajeno a la problemática. El incremento de la temperatura del mar, la ocurrencia de eventos climáticos anómalos, las modificaciones en las precipitaciones y el aumento de la temperatura se inscriben entre los principales impactos del cambio climático (Ludeña y Wilk 2013).

Por su matriz productiva, la economía ecuatoriana es vulnerable a las variaciones del clima. De acuerdo con la literatura, los impactos son más notables en aquellos sistemas que no destacan por alternativas de desarrollo ni de mitigación, así como en las economías más débiles, caracterizadas por una baja capacidad de gestión (IPCC 2015).

No obstante, el perfil productivo agrícola del país también contribuye al deterioro del ambiente, de diferentes formas y generando múltiples efectos negativos. Por ejemplo, en el año 2000, en el área biótica de la Amazonía existían 5.48 millones de km² de bosques y una extensión deforestada de 492 095 km². A partir de ese año y hasta 2013, se registra un incremento de la superficie deforestada en 643 040 km² (Prüssmann, Suárez y Elfi 2017). Con ello se afecta la absorción de dióxido de carbono y crecen las emisiones de GEI, como consecuencia de la descomposición de la vegetación talada. La actividad agrícola contribuye también a esas emisiones. En el país destaca la extensión de la frontera agrícola, pero no la generalización de prácticas sustentables.

De acuerdo con Jiménez, Yépez y Wittmer (2012), en la región Sierra, con alta representación de unidades agrícolas, provincias como Cotopaxi presentan altas tasas de deforestación, que ascienden a 2860 ha anuales. Azuay, Loja y Chimborazo se ubican como las provincias con más incidencia y grados de erosión. En la región Sierra es donde más variación de la temperatura se registra, pero donde se ha pronosticado una reducción de las precipitaciones diarias. En esa parte de la geografía ecuatoriana se encuentran los cantones más vulnerables al cambio climático: Alausí, Colta y Guamote y Pujilí (Jiménez, Yépez y Wittmer 2012).

Los sistemas de producción agrícola en Ecuador contribuyen a ese impacto climático, pero también se encuentran afectados por las variaciones. No obstante, cabe señalar que los efectos de uno y otro lado son diferenciados, de acuerdo con las características de cada sistema de producción agrícola.

Sistemas de producción

En la agricultura se distinguen varios tipos de sistemas de producción. Entre los más prominentes se encuentran tres. Uno de estos es el agroecológico, que se considera una agricultura más ligada al ambiente y más sensible socialmente. En su práctica no solo destaca una centralidad en la producción, sino que también se enfoca en la sosteni-

bilidad ecológica, mediante el aprovechamiento y fomento de los ciclos vitales de la naturaleza (Restrepo, Ángel, y Prager 2000). Este sistema posee iniciativas que intentan transformar la producción agroindustrial a partir de la transición de los sistemas alimentarios basados en el modelo de la revolución verde. Su producción dirigida a la exportación es una alternativa que promueve la agricultura local, con su conocimiento agrícola tradicional de agrobiodiversidad y la producción de alimentos por campesinos, mediante la innovación con los recursos locales (Altieri y Toledo 2010).

El enfoque principal de la agroecología es la distribución de sus productos en canales cortos de comercialización. De esa forma, se evita una gran cantidad de emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles (petróleo, sobre todo), al transportar los alimentos a diferentes ciudades. Se reducen los innecesarios y excesivos embalajes (lo que disminuye la generación de basura) y el uso de las cadenas de frío. Además, se beneficia a la población con el consumo de productos frescos (Altieri y Toledo 2010). Debido a todos esos aportes, este sistema de producción es importante para acortar la huella de carbono y la huella hídrica, puesto que las prácticas agrícolas están orientadas a consumir de manera responsable los m³ cúbicos de agua en cada plantación.

El sistema de producción orgánica, de cierta manera, se relaciona con el anterior. La diferencia radica en que posee un enfoque de sustitución de insumos y se vincula a los principios de agricultura convencional. Se especializa en monocultivos y depende en gran medida de insumos externos a la unidad productiva. Como esos insumos son comercializados por empresas, los productores siguen en dependencia. Además, los principios agroecológicos no forman parte de este sistema (Rosset y Altieri 1997). Eso implica que su huella ambiental es mayor y los beneficios para los agricultores son limitados, debido a que no se insertan en un comercio justo y a que solo está enfocado en la agroexportación (Altieri y Toledo 2010).

En el sistema productivo convencional, por su parte, el ser humano actúa sobre la naturaleza en función de la producción. Para ello, emplea diferentes fuentes de energía externa como maquinaria, fertilizantes y pesticidas (Restrepo, Ángel y Prager 2000). De acuerdo con López y Llorente (2010), la agricultura convencional está influenciada por el sistema capitalista, lo cual ha generado grandes externalidades al ambiente, debido al empleo excesivo de agroquímicos. Los fertilizantes y plaguicidas contaminan los recursos naturales y afectan la salud de los actores involucrados.

En el caso de Ecuador, la evidencia científica establece que los impactos generados por el cambio climático en los sistemas productivos abarcan también los siguientes ámbitos: salud, infraestructura sanitaria, disponibilidad de recursos hídricos y naturales. Sin embargo, por tratarse de un país agrícola, son más evidentes en ese sector. Esto se refleja, por ejemplo, en la dificultad de acceso al agua de riego y la seguridad alimentaria, y en la pobreza de las poblaciones que se dedican a esta actividad (Muñoz 2012).

Por otro lado, si bien es cierto que los sistemas productivos ecuatorianos se ven afectados por el cambio climático, la realidad indica que estos contribuyen a generar GEI. Un ejemplo de ello es la ampliación de la frontera agrícola, en lugar de mejorar la productividad de los sistemas productivos, así como la no aplicación de prácticas sustentables, que en términos generales vuelve más vulnerable al sector (Muñoz 2012).

En la zona de estudio, la sierra centro-norte, ya hay poblaciones afectadas de manera grave por los efectos del cambio climático: erosión progresiva de los suelos, pérdida de la variabilidad genética de especies nativas, además de la pérdida de los saberes y conocimientos ancestrales y tradicionales, con el paso de las generaciones. Dichos efectos pueden extenderse a todo el país, puesto que la seguridad y soberanía alimentaria se ve afectada porque el abastecimiento estaría comprometido (Muñoz 2012).

De ahí la importancia de fortalecer las capacidades de adaptación al cambio climático de los agricultores, en conjunto con prácticas que vuelvan a los sistemas de producción más resilientes y sustentables. De igual forma, es necesario fortalecer la política pública en materia agrícola, específicamente en agroecología, con el fin de proveer herramientas para la gestión eficiente del cambio climático en las zonas más vulnerables del país, incluida la zona de estudio (Muñoz 2012).

Importancia de la agroecología

La agroecología no utiliza fertilizantes ni pesticidas químicos que hayan sido elaborados por las grandes industrias contaminadoras (Restrepo, Ángel y Prager 2000). Como persigue otros intereses, más allá del incremento de la producción, propicia la armonización de las diferentes partes que conforman el sistema, en beneficio de las condiciones sociales y económicas de productores y consumidores (Nicholls, Altieri y Ríos 2013). Además, sus prácticas sostenibles mitigan en mayor o menor medida el cambio climático. Por ejemplo, con la rotación de cultivos, se reduce la erosión edáfica; con el manejo integral de plagas, no se depende de sustancias químicas y se mejora su control biológico, mientras que las técnicas de labranza mínima ayudan a la conservación del suelo.

En este sistema se prioriza la conservación de la biodiversidad, al promover una gran cantidad de procesos de renovación y servicios ecológicos en los agroecosistemas. Además, se valora el saber tradicional campesino, teniendo en cuenta que en su evolución secular ha logrado alcanzar resiliencia y sostenibilidad con bajos insumos externos o en ausencia de estos (Gortaire 2016). Para Nicholls, Altieri y Ríos (2013), la finalidad no es controlar las variaciones del clima, sino generar un proceso de adaptación que favorezca el cuidado ambiental y la resiliencia.

Caracterización de los sistemas de producción orgánico y convencional

La agricultura orgánica es un sistema de producción que surgió a inicios del siglo XX. Entre las décadas de 1970 y 1980 se introdujo en Latinoamérica, impulsada por ONG y con los productores agrícolas como ejecutores (Garibay 2003). Se presenta como una forma de mitigación del cambio climático, debido a las técnicas que aplica, además de que sus métodos son adaptados a las condiciones locales, como calidad del suelo, vegetación natural y cultivos (García et al. 2008).

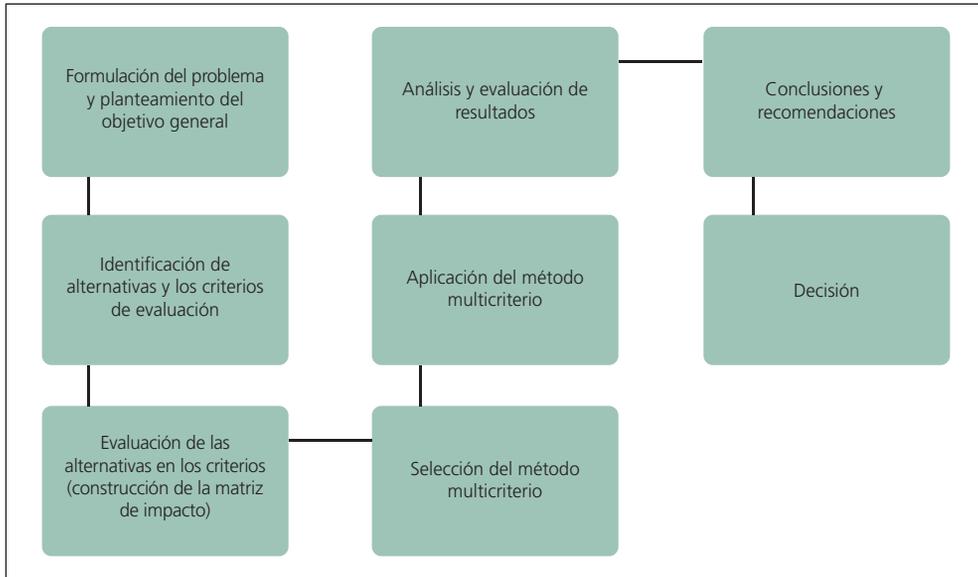
Aunque se sustituyen los insumos de la agricultura convencional, sí se permite el uso de cierto tipo de químicos sintetizados y registrados bajo la premisa de orgánicos. Por tanto, se puede decir que este sistema se enfoca en el monocultivo, que con el tiempo genera la degradación de los suelos. La agricultura orgánica es reconocida por manejar procesos que forman parte de una certificación de que los productos cumplen con ciertos estándares de calidad, de la mano con el precio de comercialización en los mercados nacionales e internacionales (FAO 2003).

La agricultura convencional es un sistema de producción que no depende de los recursos que se encuentran dentro de la unidad familiar (parcela). Ello la vuelve más costosa en producción y más vulnerable en los ámbitos económico, ambiental, social y climático. Este tipo de sistemas agrícolas son más intensivos y se vuelven menos resilientes. Su característica principal es que está dedicada al cultivo de grandes extensiones y requiere grandes cantidades de agua, al igual que químicos como fertilizantes y plaguicidas, con el fin de no afectar el rendimiento de los cultivos.

Metodología

En primer lugar, se realizó una revisión de literatura especializada en agricultura y de los Planes de Ordenamiento Territorial actualizados de los dos cantones que son objeto de estudio. De esa forma, se estableció la línea base de la investigación y se esquematizó la problemática de la zona. En segundo lugar, se aplicó la metodología del análisis multicriterio (AMC), la cual permite “contrastar en un marco unificado las distintas dimensiones que se presentan en un problema de decisión” (Puruncajas y Burbano 2016, 37). Se determinó cuál es la mejor alternativa de producción agrícola, a partir de su comportamiento en los siguientes indicadores: económico, social, ambiental, institucional y productivo. La metodología del AMC o Método QUIPU se compone de ocho etapas (figura 1).

Figura 1. Diagrama de fases del análisis multicriterio o Método Quipu



Fuente: (Burbano 2018).

Esta metodología permitió analizar cuál es el sistema agrícola que mejor se adapta al cambio climático y se ve menos afectado en la zona de estudio. Para ello, fue necesaria la colaboración de los productores agroecológicos, orgánicos y convencionales de los dos cantones seleccionados. La agroecología es practicada por campesinos que integran el Sistema de Participación de Garantía (SPG) (Pino 2017); mientras que el análisis de las características de los sistemas productivos de los agricultores orgánicos y convencionales fue posible a través del trabajo con productores independientes. Como no pertenecen a ninguna asociación, la selección se realizó de acuerdo con la disponibilidad de los productos y las áreas de cultivo permanente. Se realizó la siguiente caracterización de los sujetos de estudio, que se resume en la tabla 1.

- Productores agroecológicos. Las organizaciones que formaron parte de este estudio son: Asociación Agroecológica “La Campesina de Cayambe” (17) y de BIOVIDA “Red de Productoras y Productores Agroecológicos” (16). Estas organizaciones se encuentran distribuidas en las parroquias de Cayambe (Cangahua, Ayora, Otón, Juan Montalvo, El Quinche, Santa Rosa de Cuzubamba y Ascazubi) y Pedro Moncayo (Tabacundo, La Esperanza y Tupigachi). Se trabajó con una muestra representativa de 33 productores, que fueron seleccionados mediante un muestreo aleatorio dentro de cada organización, tomando en cuenta que formaran parte del proyecto “Sistema agroalimentario saludable y sustentable que contribuya a la producción y abastecimiento alimentario soberano en el Ecuador” (2016).

- Productores orgánicos. Realizan sus actividades de forma individual, es decir, no se encuentran asociados a ninguna organización. De estos productores se tomó una muestra representativa. Participaron 13 productores, seleccionados al azar mediante investigación de campo, debido a que ninguno de los cantones tiene registros detallados de este tipo de productores. Se encuentran en las parroquias de Cayambe (Ayora, Otón, Santa Rosa de Cuzubamba y Juan Montalvo) y en Pedro Moncayo (Tabacundo y Tupigachi).
- Productores convencionales. No están asociados a organizaciones; sin embargo, poseen un permiso de la municipalidad para comercializar en las ferias y los mercados de la zona. Los 27 productores que participaron corresponden a una muestra representativa y fueron seleccionados por muestreo al azar, en ferias y mercados tanto de Cayambe (14) como de Pedro Moncayo (13), contando con su autorización previa y diferenciando a los productores de los intermediarios. Cabe destacar que estos productores también forman parte del proyecto antes mencionado, junto con los productores agroecológicos, y se encuentran distribuidos en las mismas parroquias.

Tabla 1. Distribución de los pesos de las dimensiones

Población	Muestra	Criterios de selección	Cantón	Composición de la muestra	Superficie cultivada	Forma de producción	Productos	Insumos	Mano de obra	Comercialización
Productores orgánicos	13	No asociados; presencia en la zona; disponibilidad de productos; áreas de cultivo permanente	Cayambe y Pedro Moncayo	25 % mujeres 75 % hombres. Edad media: 44 años	15,35 ha	Mono-cultivo a gran escala	Zanahoria, brócoli, tomate, lechuga	Orgánicos y químicos	Permanente a tiempo completo	Producción y venta bajo pedido a cadenas de supermercados
Productores convencionales	27	Poseción del permiso de la municipalidad; presencia en la zona; disponibilidad de productos; áreas de cultivo permanente	Cayambe y Pedro Moncayo	22 % mujeres 78 % hombres. Edad media: 42 años	17,64 ha	Mono-cultivo a gran escala	Zanahoria, papas, brócoli, tomate, cebolla, pasto, maíz	Químicos: fertilizantes y plaguicidas	Jornal en tiempo de siembra o cuando es requerido	Ferias y mercados municipales
Productores agroecológicos	33	Asociaciones presentes en la zona; disponibilidad de productos; áreas de cultivo permanente	Parcelas en zonas rurales de ambos cantones	86 % mujeres 14 % hombres. Edad media: 49 años	13,563 ha	Diversificación de cultivos a pequeña escala	Hortalizas, frutales, maíz, papas, plantas medicinales, cebolla, melloco, verduras entre otros	Bioinsumos producidos en la parcela	Familiar y/o jornal en tiempo de siembra o cuando es requerido	Bioferias, canastas, trueque

Fuente: investigación de campo.

Procedimiento para la aplicación del AMC

A continuación, se presenta la información correspondiente a las etapas uno a la cinco del AMC.

Problema y objetivo

Los sistemas productivos de ambos cantones experimentaron grandes cambios desde finales del siglo XX. En estos cantones ha sido visible el tránsito de la producción de granos y leche a la floricultura. Ello no solo ha impactado en la dinámica productiva, sino también en los recursos naturales. Además, han mutado las formas tradicionales de producción, ya que ha sido necesaria su adaptación a la realidad de los productores (Guerra 2012).

Todos esos cambios han sido relevantes para la dinámica social. El uso del suelo y las concesiones de agua son causa de conflicto. La actividad florícola se ha extendido por las tierras más próximas a las carreteras, desplazando a las haciendas lecheras. Estos productores se han visto obligados a dedicarse de forma exclusiva a la producción de leche en zonas más altas, en lugar de la agricultura. Como consecuencia, ha aumentado la presión sobre los páramos y las fuentes de abastecimiento de agua (Guerra 2012).

Cayambe y Pedro Moncayo destacan por sus actividades económicas en el sector primario, como agricultura, floricultura y pecuaria. Estas actividades generan empleo y también mayores ingresos, en comparación con otros ámbitos productivos. No obstante, la capacidad de uso del suelo puede ser mejorada. Más del 50 % de las tierras de Cayambe están sobreutilizadas; en contraste con Pedro Moncayo, que cuenta con el 53 % subutilizado (GADIP Cayambe 2015; GADM PM 2018).

Los impactos del cambio climático se evidencian en las prolongadas sequías y en las heladas (GADIP Cayambe 2015). Pedro Moncayo, además, se ve afectado por ventarrones (GAD PM 2018). Todo ello hace más vulnerable a la zona, afectando de forma directa la seguridad alimentaria y, paralelamente, la salud de la ciudadanía. Además, los sistemas agroecológico, orgánico y convencional generan presión sobre los recursos agua y suelo, al ser contaminados con productos químicos y sobrepasar su capacidad de carga, ampliando la frontera agrícola y haciéndolos climáticamente vulnerables. Sin embargo, no se conoce el impacto del cambio climático en el modo de producción agroecológico, orgánico y convencional en los cantones Cayambe y Pedro Moncayo. De ahí que este estudio busque cubrir ese vacío empírico.

Alternativas y criterios de evaluación

Los tres sistemas de producción que se emplean con mayor frecuencia en Cayambe y Pedro Moncayo son: el agroecológico, el de producción orgánica y el convencional. El primero se ha perdido con el paso del tiempo, debido a que los campesinos han optado por otras alternativas de empleo.

Para el análisis, se establecieron 35 criterios contenidos en cinco dimensiones (económica, social, ambiental, institucional y productiva). Para establecer el peso de los criterios, se partió del supuesto de que cada una de las dimensiones es igualmente importante, por lo que se establecieron ponderaciones para cada una (tabla 2). Para la distribución de los pesos en los criterios de cada dimensión, se consideró su importancia relativa y se asignó un peso mayor a aquellos criterios que, desde la óptica de los autores, son más importantes.

Tabla 2. Distribución de los pesos de las dimensiones

Dimensión	Peso
Económico	1/5
Social	1/5
Ambiental	1/5
Institucional	1/5
Productivo	1/5

Fuente: elaboración propia.

Matriz de impacto

Cada una de las alternativas se evaluó según los criterios establecidos. La información cuantitativa y cualitativa para la evaluación fue obtenida de tres fuentes. La primera fueron encuestas personales aplicadas a los productores agroecológicos, orgánicos y convencionales. Se presentaron preguntas de selección múltiple. Los encuestados pudieron explicar su respuesta y así se obtuvo información de mayor riqueza y veracidad. Se aplicaron a 33 productores agroecológicos, pertenecientes a dos organizaciones reconocidas en los dos cantones, a 27 productores convencionales, que comercializan sus productos de manera individual en los mercados o ferias libres, y a 13 productores orgánicos con cualquier certificación que avale esa condición.

La segunda fuente fue el análisis de documentos. Se revisaron planes de ordenamiento territorial de los cantones Cayambe y Pedro Moncayo, así como las ordenanzas, normativas y leyes que se aplican en cada municipio y a escala provincial.

La tercera fuente fue información previa del proyecto de investigación “Sistema agroalimentario saludable y sustentable que contribuya a la producción y abastecimiento alimentario soberano en el Ecuador” (Lizano Acevedo, Chávez Caiza y Gómez Velez 2016).

Además, como parte del proyecto “Sistema agroalimentario en comedores universitarios de Quito vinculado a productores agroecológicos locales del Ecuador”, se estimaron los impactos ambientales de la producción agraria en su fase agrícola en los tres sistemas presentes en los dos cantones. Se empleó el análisis de ciclo de vida (ACV), mediante los indicadores ambientales de la huella de carbono y la huella hídrica. Se evaluó la cantidad de CO₂ equivalente emitida a la atmósfera, y la cantidad de agua requerida por kilogramo de producción. Los resultados complementan la evaluación de los tres sistemas de producción agrícola mediante el análisis multicriterio.

Aplicación del método multicriterio

Para la comparación por pares, el método computa los grados de credibilidad de las relaciones de preferencia estricta o simplemente preferencia, preferencia inversa, indiferencia e incomparabilidad. La preferencia de la alternativa A a la alternativa B que se nota $A > B$ significa que la A es mejor a B. Por el contrario, en la preferencia inversa que se nota $A < B$ se tiene que la alternativa B es mejor a A. En la relación de indiferencia notada por $A \sim B$, una alternativa es tan buena como la otra. Finalmente, la incomparabilidad que se nota $A \phi B$ expresa la incapacidad de comparar el par de alternativas. El grado de credibilidad es un número entre 0 y 1. Si la credibilidad es 1, la relación es absolutamente creíble; si es 0, absolutamente no creíble.

Para el ordenamiento global de las alternativas, se ordenan de la mejor a la peor, mediante el rango neto. El rango neto de la alternativa A se calcula a partir de la diferencia entre la suma de los grados de credibilidad de la preferencia A frente a las otras alternativas y la suma de los grados de credibilidad de la preferencia de las otras alternativas a A. Para facilitar la comprensión, el rango neto se escala entre 0 y 100. Una puntuación de 100 en el rango neto de la alternativa A significa que esta alternativa es mejor, con credibilidad 1, que el resto de alternativas. Por el contrario, si la alternativa A tiene una puntuación de 0, significa que el resto de alternativas son peores, con credibilidad 1; es decir, en ambos casos la relación es creíble.

Nótese que el análisis multicriterio define una valoración o evaluación relativa, no absoluta. Esto indica cómo se valora una alternativa frente a otra o las otras. El análisis no expresa como se evalúa una alternativa de manera aislada. Por ejemplo, el sistema de producción A podría valorarse como absolutamente mejor en relación con el sistema B, a pesar de que, de manera general, esos sistemas emiten GEI.

Resultados

En un primer momento se presentan los resultados por pares. Se realiza una comparación para conocer la alternativa de mayor credibilidad (tabla 3).

Tabla 3. Comparación por pares

Alternativa vs alternativa	>	<	~	ϕ
Agroecología - orgánico	0,50	0,09	0,23	0,19
Agroecología - convencional	0,55	0,07	0,22	0,17
Orgánico - convencional	0,45	0,09	0,34	0,12

Fuente: investigación de campo.

Los resultados muestran que, en los tres casos posibles de comparación por pares entre los sistemas productivos, la relación de mayor credibilidad es la preferencia estricta. Por lo tanto, se puede concluir que el ordenamiento de las alternativas de la mejor a la peor es el siguiente: agroecología orgánico convencional.

Considerando el total de criterios en sus dimensiones, el mejor sistema productivo es la agroecología. Le sigue el sistema de producción orgánica y en la última posición figura el sistema de producción convencional, el menos adecuado. Los rangos netos de las alternativas se reflejan en la tabla 4. Se conoce que la alternativa mejor puntuada es el sistema agroecológico, seguido del sistema de producción orgánica y del sistema convencional.

Tabla 4. Rango neto por alternativas

Alternativa	Rango neto
Agroecológico	72,3
Orgánico	49,0
Convencional	28,8

Fuente: investigación de campo.

Como se indicó antes, el método multicriterio, además de los resultados globales, entrega resultados por cada dimensión de análisis. En este caso, se analizará únicamente el rango neto (tabla 5).

Tabla 5. Dimensiones de análisis: rango neto

Alternativa	Económica	Social	Ambiental	Institucional	Productiva
Agroecológico	12,6	30,2	92,9	100	84,0
Orgánico	94,2	79,0	39,1	33,7	16,9
Convencional	43,3	40,8	18,0	16,3	49,1

Fuente: investigación de campo.

Las tres alternativas se evalúan en las cinco dimensiones de análisis planteadas (tabla 6). Los resultados permiten concluir que el sistema agroecológico es mejor en tres dimensiones: ambiental, institucional y productiva; mientras que en las dimensiones social y económica su valoración es baja, en particular en la económica. En la dimensión social, está cerca de la tercera alternativa. Por tales razones, en el análisis global se valora como la mejor alternativa. El sistema de producción orgánica tiene las mejores valoraciones en dos dimensiones: económica y social; en contraste con la dimensión productiva, donde presenta la menor valoración. De esta manera, en el análisis global, se evalúa como la alternativa intermedia. El sistema convencional presenta las menores valoraciones en dos dimensiones: ambiental e institucional y valoraciones medias en las otras tres, lo que justifica su valoración global como alternativa menos adecuada.

Tabla 6. Dimensiones de análisis. Ordenamiento de alternativas

Dimensión	Ordenamiento
Económica	Orgánico > convencional > agroecología
Social	Orgánico > convencional > agroecología
Ambiental	Agroecología > orgánico > convencional
Institucional	Agroecología > orgánico - convencional
Productiva	Agroecología > convencional > orgánico

Fuente: investigación de campo.

Al considerar otro de los puntos de la metodología seguida, se señala como conclusión que la agroecología es la alternativa con mejor valoración. Ahora bien, presenta debilidades en las dimensiones económica y social, debido a que la rentabilidad económica no es suficiente para que todos los miembros de la familia sean parte de esta actividad y puedan subsistir. Los jóvenes buscan trabajo en las empresas florícolas cercanas, los niños van a la escuela, y solo los adultos, en su mayoría mujeres, están a cargo de las parcelas.

Por otro lado, el sistema orgánico tiene puntuaciones contrapuestas con el sistema agroecológico. Las dimensiones económica y social alcanzan las puntuaciones más altas, pero las dimensiones ambiental, institucional y productiva tienen valoración media a baja, debido a que la fusión de insumos o su reemplazo ocasionan que el impacto ambiental sea mayor. Los criterios con los que se puede establecer la diferencia son la huella hídrica y de carbono (tabla 7).

Tabla 7. Huella hídrica y de carbono

Sistema	Huella hídrica	Huella de carbono
Agroecológico	77.3 m ³ /Ton	0.10 TonCO ₂ /Kg de producto
Orgánico	39.9 m ³ /Ton	1.07 TonCO ₂ /Kg de producto
Convencional	300.3m ³ /Ton	1.87 TonCO ₂ /Kg de producto

Fuente: investigación de campo.

El sistema convencional es el peor puntuado, en comparación con los dos anteriores. Ello se debe a varios factores como la adquisición de insumos fuera de parcela para todas las fases fenológicas del cultivo, lo que ocasiona un impacto ambiental más fuerte.

El aporte nutricional potencial promedio se diferencia entre los sistemas productivos por la diversificación de productos. Es decir, entre más alta sea la variedad de cultivos, más aumentará el aporte nutricional. Para el sistema agroecológico, es de 373.9 Kcal, para el sistema orgánico, de 158.8 Kcal y para el sistema convencional, de 282.3 Kcal.

Con base en el análisis multicriterio, se observa la necesidad de fortalecer a las organizaciones que cultivan agroecológicamente, debido a que este sistema es el de mayor resiliencia a los efectos del cambio climático. La resiliencia se entiende como “lo propenso que es un sistema de retener su estructura organizacional y su productividad tras una perturbación” (Nicholls, Altieri y Ríos 2013, 9). Por lo tanto, las prácticas de la agroecología ayudan a preparar a los agricultores ante estos cambios, lo cual genera la resistencia necesaria para futuros eventos, evita la pérdida de cosechas y reduce su vulnerabilidad (Nicholls, Altieri y Ríos 2013). También es un sistema sustentable, porque las familias se pueden mantener solo con autoconsumo, a pesar de que la rentabilidad económica no es buena.

Conclusiones

En los cantones Cayambe y Pedro Moncayo, la agricultura es la base de la economía de muchos núcleos familiares y abastece de alimentos a las ciudades cercanas. No obstante, también se relaciona con el cambio climático, porque las fluctuaciones en la temperatura y las precipitaciones reducen la cantidad y la calidad de la cosecha. Esta investigación analizó un tema poco explorado empíricamente: las características de los tres sistemas agroalimentarios predominantes, a través del análisis multicriterio. Se conoció así que la dimensión ambiental es mejor puntuada en el sistema agroecológico, seguido del orgánico y, por último, del convencional.

En la zona de estudio, el sistema agroecológico se ajusta mejor a las condiciones climáticas actuales. Además, es el que menos emisiones de gases de efecto inverna-

dero genera. Sin embargo, una de las principales debilidades de este sistema está en el desequilibrio que existe entre ambiente, economía y sociedad. La dimensión ambiental es favorable, pero no genera una utilidad social ni económica, según muestran los resultados del análisis multicriterio. También se puede agregar que las parcelas agroecológicas se ven amenazadas por la contaminación cruzada, debido a su cercanía a las actividades agrícolas convencionales y a florícolas que usan productos químicos que se dispersan en el aire y en el agua.

Por otro lado, el sistema orgánico que también se desarrolla en la zona presenta prácticas amigables con el ambiente. Sin embargo, tiene varias debilidades como la baja diversificación de cultivos y el empleo de semillas que no son nativas. Aunque el sistema convencional es el más generalizado en los dos cantones, sus prácticas han generado un gran impacto sobre los recursos naturales. Incide en el aumento de la deforestación, debido al incremento de la frontera agrícola. Los agricultores con menos recursos no están lo suficientemente preparados para sobrellevar esos impactos, por lo que experimentan la pérdida de cosechas. Por ello, se ubica como el menos resiliente y es mucho más vulnerable que los otros dos.

Los sistemas evaluados son afectados de manera distinta por el cambio climático, y su contribución al deterioro ambiental también es diferenciada. Se identificó que el sistema convencional tiene mayor impacto ambiental, por su huella hídrica y de carbono. Por el contrario, y en concordancia con lo señalado en la literatura, el sistema mejor preparado ante estos eventos es el agroecológico. Ello significa que es menos vulnerable y más resiliente, en términos generales.

Bibliografía

- AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente). 2015. “La agricultura y el cambio climático”, <https://bit.ly/3z9CS7X>
- Alarcón, Isabel. 2017. “Sector transporte es el mayor generador de gases efecto invernadero en Ecuador”. *El Comercio*, 24 de octubre. <https://bit.ly/3ioJREe>
- Altieri, Miguel, y Clara Nicholls. 2013. “Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático”. *Agroecología* 18 (1): 7-20.
- Altieri, Miguel, y Víctor Manuel Toledo. 2010. “La Revolución agroecológica de América Latina. Rescatar la naturaleza. Asegurar la soberanía alimentaria y empoderar al campesino”. *El Otro Derecho* (42): 163–202.
- Arroyo, Flavio, y Luis Miguel. 2019. “Análisis de la variación de las emisiones de CO2 y posibles escenarios al 2030 en Ecuador”. *Espacios* 40 (13): 5-23.
- Beyond Petroleum. 2019. “Statistical review of world energy”, <https://on.bp.com/3cqWbzN>
- Bolla, Viktoria, y Velina Pendolovska. 2011. *Driving forces behind EU-27 greenhouse gas emissions over the decade 1999-2008*. Luxemburgo: Eurostat. <https://bit.ly/3gpl7ca>

- Burbano, Rafael. 2018. *Modelo multicriterio paramétrico compensatorio no-compensatorio*. Quito: FLACSO.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2003. "Agricultura orgánica, ambiente y seguridad alimentaria", <https://bit.ly/3pzMdl8>
- GADIP Cayambe (Gobierno Autónomo Descentralizado Intercultural y Plurinacional del Municipio de Cayambe). 2015. *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Cayambe 2015-2025*. Cayambe: GAD.
- García, Alberto, Mamen Laurín, María José Llosá, Víctor González, María José Sanz y José Porcuna. 2008. "Contribución de la agricultura ecológica a la mitigación del cambio climático en comparación con la agricultura convencional". *Agroecología* 1: 75-88.
- Garibay, Salvador. 2003. "La investigación en la agricultura orgánica y su importancia". Ponencia presentada en el *I Encuentro Mesoamericano y del Caribe y III Encuentro Costarricense de agricultores experimentadores e investigadores en producción orgánica*, Alajuela, Costa Rica, 25 y 27 de agosto.
- Garnett, Tara. 2008. *Food Climate Research Network. Centre for Environmental Strategy*. Guildford: University of Surrey.
- Gilfillan, Dennis, Gregg Marland, Thomas Boden y Andres Robert. 2019. *Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2 Emissions*. Boone North Carolina: Carbon Dioxide Analysis Center at Appalachian State University.
- GADM PM (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Pedro Moncayo). 2018. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. PDOT Actualización 2018-2025*. Pichincha: GAD. <https://bit.ly/3iqfmOd>
- Gortaire, Roberto. 2016. "Agroecología en el Ecuador: procesos históricos, logros y desafíos". *Antropología Cuadernos de Investigación* (17): 12-38.
- GRAIN. 2011. "Alimentos y Cambio Climático: el eslabón olvidado", <https://bit.ly/2TPjgG1>
- Guerra, Martha. 2012. *Cayambe: entre la agroempresa y la agrobiodiversidad. Trabajo asalariado y conservación de los sistemas productivos*. Quito: FLACSO, sede Ecuador.
- Gutiérrez, Alejandro, y Luisa Molina. 2013. "Sobre el concepto de Sistema y Circuitos Agroalimentarios". En *El Sistema Alimentario Venezolano a comienzos del Siglo XXI. Evolución, balance y desafíos*, coordinado por Alejandro Gutiérrez, 23-42. Mérida: Facultad de Ciencias Económicas y Sociales/Consejo de Publicaciones de la ULA.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2015. *Cambio climático 2014: informe de síntesis/resumen para responsables de políticas*. Ginebra: OMM. doi.org/10.1016/S1353-8020(09)70300-1
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2019. *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Suiza: OMM.
- Jiménez, Sandra, Javier Yépez y Cristina Wittmer. 2012. *Impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia en Ecuador*. Madrid: Fundación Carolina. <https://bit.ly/3gpnE6a>

- Lizano Acevedo, Ronnie, Jenny Chávez Caiza y Laura Gómez Velez. 2016. *Sistema agroalimentario saludable y sustentable que contribuya a la producción y abastecimiento alimentario soberano en el Ecuador*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- López, Daniel, y Mireia Llorente. 2010. *La agroecología: hacia un nuevo modelo agrario*. Madrid: Ecologistas en Acción.
- Ludeña, Carlos, y David Wilk. 2013. *Ecuador: mitigación y adaptación al cambio climático*. Washington DC: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Muñoz, Gabriela. 2012. “El reto de la agricultura frente al cambio climático”. *Revista Jurídica*: 83-90. <https://bit.ly/3pIWGuD>
- Naredo, José. 2009. “Economía y poder: megaproyectos: recalificaciones y contratos”. En *Economía, poder y megaproyectos*, editado por Federico Aguilera y José Naredo, 19-52. Madrid: Fundación César Manrique.
- Nicholls, Clara, Miguel Altieri y Leonardo Ríos. 2013. *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático*. Medellín: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- Pino, Mauricio. 2017. “Los sistemas participativos de garantía en el Ecuador. Aproximaciones a su desarrollo”. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales* (22): 120-145. doi.org/10.17141/letrasverdes.22.2017.2679
- Prüssmann, Johanna, César Suárez y María Elfi. 2017. *Atlas of Conservation Opportunities in the Amazon Biome Under Climate Change Considerations*. Roma: WWF/Redparques/FAO/UICN/PNUMA.
- Puruncajas, Ivonne, y Rafael Burbano. 2016. “Alternativas sustentables para el desarrollo: Caso de una Comunidad Shuar en Ecuador”. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* 25: 33-53.
- Restrepo, José, Iván Angel y Martín Prager. 2000. *Agroecología*. Santo Domingo: CE-DAF. <https://bit.ly/3gpwktk>
- Rodríguez, Flavio. 2010. “Regímenes, sistema y crisis alimentaria”. *El Otro Derecho* (42): 44-74.
- Rosset, Peter, y Miguel Altieri. 1997. “Agroecology versus Input Substitution: A Fundamental Contradiction of Sustainable Agriculture”. *Society & Natural Resources* 10 (3): 283-295. doi.org/10.1080/08941929709381027
- Smith, Pete, y Daniel Martino. 2007. “Agriculture”. En *Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007*, editado por Bert Metz, Ogunlade Davidson, Peter Bosch, Rutu Dave y Leo Meyer, 497-541. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tassou, Savvas, Yunting Ge, Abas Hadawey y Douglas Marriott. 2011. “Energy Consumption and Conservation in Food Retailing”. *Applied Thermal Engineering* 31 (2-3): 147-156. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.08.023
- United Nations Framework Convention on Climate Change. 2019. “National Inventory Submissions”, <https://bit.ly/3cuyfM7>