



Comparison of two coffee management systems in Huatusco, Veracruz, Mexico †

[Comparación de dos sistemas de manejo cafetalero en Huatusco, Veracruz, México]

Yolai Noda-Leyva¹, Arturo Pérez-Vázquez^{1*},
Sergio Sánchez-Hernández² and Nancy Nazario-Lezama¹

¹*Colegio de Posgraduados-Campus Veracruz. Carretera Xalapa-Veracruz km 88.5, Predio Tepetates, Manlio F. Altamirano, Veracruz, México. CP. 91700. Email: noda.yolai@colpos.mx, parturo@colpos.mx*, nazario.nancy@colpos.mx*

²*Universidad Autónoma Chapingo, Centro Académico Regional Sede Huatusco (CARSH), Carretera Huatusco -Xalapa Kilómetro 6, Veracruz, México. C.P. 94100. Email: ser89nangio@gmail.com*

*Corresponding author

SUMMARY

Background: Mexico has a long coffee-growing tradition, where many producers combine traditional systems with commercial ones aimed at maximizing the harvest. This duality raises questions about the balance between economic profitability and environmental conservation, particularly in regions such as Veracruz, where coffee is a flagship crop. **Objective:** To assess the effect of two coffee agroecosystems on some ecological, productive, and economic aspects in the town of Huatusco, Veracruz, Mexico. **Methodology:** The study was conducted at Los Fresnos farm in Huatusco, Veracruz. Vegetation was evaluated by identifying species and calculating cover and diversity (Shannon index). Soil macrofauna was quantified and classified by abundance and richness. Coffee yield was compared, and the economic efficiency of each agroecosystem was determined, considering associated crops in the commercial system. **Results:** The traditional system presented greater plant diversity, with 15 tree species and 6 herbaceous species, higher shade cover (75% vs. 56.4%), and a higher Shannon index ($H'=1.80$ vs. 0.80). The soil macrofauna was also more abundant in this system (34 individuals, 5 orders), mainly earthworms (16) and ants (12), while no soil organisms were recorded in the commercial system. Coffee yield was higher in the traditional system (376 kg of cherries and 324 kg of parchment) than in the commercial system (80 kg of cherries and 280 kg of parchment). However, the commercial system showed greater profitability ($B/C=13.38$ vs. 1.08), with annual earnings of \$24,410.20, thanks to the sale of complementary crops such as lemon and sunflower. **Implication:** The sustainability of coffee agroecosystems can be enhanced by integrating the positive elements of traditional and commercial systems, combining biodiversity and economic efficiency. **Conclusion:** Traditional coffee systems endorse species diversity, soil fauna, and higher yields of the main crop. The commercial system, although less ecologically favorable, increases profitability through alternative crops. The results highlight the need for hybrid management strategies that combine ecological stability and economic advantages, promoting resilient agroecosystems that contribute to biodiversity conservation and producer well-being.

Key words: agroecosystems; traditional; commercial; biodiversity; macrofauna.

RESUMEN

Antecedentes: México posee una amplia tradición cafetalera, donde muchos productores combinan sistemas tradicionales con sistemas comerciales orientados a maximizar la cosecha. Esta dualidad genera interrogantes sobre el equilibrio entre rentabilidad económica y conservación ambiental, particularmente en regiones como Veracruz, donde el café es un cultivo emblemático. **Objetivo:** Evaluar el efecto de dos agroecosistemas de café sobre algunos aspectos ecológicos, productivos y económicos en la localidad de Huatusco, Veracruz, México. **Metodología:** El estudio se realizó en la finca Los Fresnos, Huatusco, Veracruz. Se evaluó la vegetación mediante la identificación de especies y cálculo de cobertura y diversidad (índice de Shannon). La macrofauna del suelo se cuantificó y clasificó por abundancia y riqueza. Se comparó el rendimiento del café y se determinó la eficiencia económica de cada agroecosistema.

† Submitted July 7, 2025 – Accepted December 9, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6445>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Y. Noda-Leyva: <http://orcid.org/0000-0002-0729-457X>; A. Pérez-Vázquez: <http://orcid.org/0000-0002-8440-7814>; S. Sánchez-Hernández: <http://orcid.org/0000-0003-2287-0640>; N. Nazario-Lezama: <https://orcid.org/0000-0003-2722-6707>

considerando cultivos asociados en el sistema comercial. **Resultados:** El sistema tradicional presentó mayor diversidad de plantas, con 15 especies arbóreas y 6 herbáceas, cobertura de sombra superior (75% vs. 56.4%) e índice de Shannon mayor ($H' = 1.80$ vs. 0.80). La macrofauna edáfica también fue más abundante en este sistema (34 individuos, 5 órdenes), destacando lombrices (16) y hormigas (12), mientras que en el sistema comercial no se registraron organismos del suelo. El rendimiento de café fue más alto en el tradicional (376 kg cereza y 324 kg pergamino) frente al comercial (80 kg cereza y 280 kg pergamino). No obstante, el sistema comercial mostró mayor rentabilidad ($B/C = 13.38$ vs. 1.08), con ganancias anuales de \$24,410.20, gracias a la venta de cultivos complementarios como limón y girasol. **Implicación:** La sustentabilidad de los agroecosistemas cafetaleros puede potenciarse mediante la integración de los elementos positivos de los sistemas tradicional y comercial, combinando biodiversidad y eficiencia económica. **Conclusión:** Los sistemas tradicionales de café favorecen la diversidad de especies, la fauna del suelo y un mayor rendimiento del cultivo principal. El sistema comercial, aunque menos favorable ecológicamente, aumenta la rentabilidad mediante cultivos alternativos. Los resultados destacan la necesidad de estrategias de manejo híbridas que combinen estabilidad ecológica y ventajas económicas, promoviendo agroecosistemas resilientes que contribuyan a la conservación de la biodiversidad y al bienestar de los productores.

Palabras clave: agroecosistemas; tradicional; comercial; biodiversidad; macrofauna.

INTRODUCCIÓN

Los agroecosistemas cafetaleros son fundamentales para la sostenibilidad agrícola en regiones montañosas, cuyos suelos pueden estar expuesto a erosión si se cambian los sistemas de producción de alta cobertura vegetal (Pérez-Vázquez *et al.*, 2024). Estos sistemas también contribuyen a fomentar y conservar la biodiversidad y aumentar la capacidad de resiliencia ante efectos adversos del cambio climático (Perfecto y Vandermeer, 2008; Quiroz *et al.*, 2024). En Latinoamérica, la caficultura es un recurso indispensable para la economía rural, durante muchos años la actividad ha estado vinculada a los sistemas tradicionales de sombra que generan servicios ecosistémicos (Moguel y Toledo, 1999), los cuales disminuyen como causa del cambio hacia los modelos intensivos que generan mayor producción, pero gran preocupación.

Los sistemas de manejo diversificados, al integrar varias especies vegetales y favorecer una mayor abundancia de fauna edáfica, contribuyen a la fertilidad del suelo y al control biológico de plagas (Escamilla *et al.*, 1997). Sin embargo, cuando estos sistemas se orientan principalmente a la obtención de ganancias mediante la venta del cultivo principal (café) y de productos secundarios (plátano velillo, limón, macadamia, etc.), pueden adoptar prácticas de manejo más intensivas y dependientes de insumos químicos, lo que incrementa el riesgo de degradación del suelo y pérdida de biodiversidad, comprometiendo así su sostenibilidad a largo plazo (Jha *et al.*, 2014).

México es un país con gran tradición cafetalera y muchos productores implementan una dualidad entre sistemas tradicionales y sistemas comerciales orientados a la maximización de la cosecha del aromático (Martínez, 2006). Esta divergencia plantea interrogantes acerca del equilibrio entre la rentabilidad económica y preservación del ambiente (Pérez *et al.*, 2024), especialmente en regiones como Veracruz, donde el café es un cultivo emblemático (Ejea, 2009).

Al respecto, Lin (2007), menciona que los cafetales con mayor diversidad vegetal mitigan los impactos de fenómenos climáticos extremos, como sequías y lluvias intensas. Por su parte, Avelino *et al.* (2015) corroboró que los sistemas con menos variedades de plantas son más susceptibles a las variaciones de mercado y las plagas. No obstante, aún falta mucha información relacionada con la evaluación integral de estos sistemas, particularmente en relación a su influencia con la macrofauna edáfica, un indicador clave de calidad del suelo (Lavelle *et al.*, 2006), y en su capacidad para generar beneficios socioeconómicos en pequeñas fincas.

Con base en lo anterior, este estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de dos agroecosistemas de café sobre algunos aspectos ecológicos, productivos y económicos en la localidad de Huatusco, Veracruz, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

La investigación se desarrolló en la finca Los Fresnos, ubicada en Axocuapan, Tlaltetela, Huatusco, Veracruz, México (19°12'38"N, 96°59'20"O). Esta región cuenta con una altitud de 1460 m snm, con clima templado húmedo y precipitaciones concentradas en los meses de verano y otoño (Läderach *et al.*, 2011a). El área de la finca es de 0.5 ha. Los suelos presentan características arcillosas y el cultivo de *Coffea arabica* se desarrolla bajo dos sistemas de producción: tradicional que abarca 0.31 ha y comercial con 0.19 ha.

La investigación se llevó a cabo en abril del 2025 (temporada seca). El trabajo de campo se desarrolló durante un solo periodo de muestreo, realizando todas las evaluaciones en el mismo mes, para evitar sesgos por variaciones estacionales.

Procedimiento experimental

Se empleó un enfoque comparativo-descriptivo con variables cualitativas y cuantitativas, teniendo en cuenta fundamentalmente los aspectos ecológicos, productivos y económicos.

Primero se evaluó la diversidad vegetal en cada agroecosistema de estudio. Para ello se identificaron todas las especies vegetales en los estratos arbóreo y arbustivo, considerando como unidades de análisis las parcelas y como tratamientos los distintos manejos aplicados: tradicional y comercial. En este estudio, el sistema denominado comercial corresponde específicamente a las condiciones de la finca evaluada, caracterizado por el uso de limón como especie de sombra principal. Este manejo constituye un caso particular comparado con el sistema tradicional presente en la misma finca.

Para ello, se implementó un muestreo sistemático con cuadrantes distribuidos en transectos lineales (Mostacedo y Fredericksen, 2000), adaptado a las particularidades de cada sistema. En cada tratamiento se establecieron tres transectos de 100 m de longitud, distanciados 10-15 m, según la accesibilidad. A lo largo de cada transecto se dispusieron cinco cuadrantes de 100 m² (10×10 m), espaciados cada 20 m.

En ambos sistemas, el café se encontraba a una distancia de siembra de 2 x 2 m (2 500 plantas/ha). Considerando la superficie en cada caso la cantidad de plantas fue de 775 y 475, para el cafetal tradicional y comercial, respectivamente.

La distancia de los árboles que ofrecían sombra en el sistema tradicional, estuvo definida por la distribución original establecida por el productor, con un espaciamiento promedio entre 8 y 12 m entre árboles. Para el sistema comercial los árboles se encontraban distribuidos a una distancia de 6 x 6 m (278 plantas/ha). Cada unidad fue georreferenciada para facilitar el monitoreo. El muestreo total abarcó 1500 m² (48.4% del sistema tradicional y 78.9% del comercial).

Para cada ejemplar identificado se registraron:

- Nomenclatura común y científica
- Altura (m): medida con la aplicación Arboreal.
- Proyección de sombra: Se evaluó de manera independiente para cada árbol, mediante la aplicación Canopy Cover. Por esta razón, los valores reportados corresponden a la sombra proyectada por especie y no a una cobertura total acumulada del sistema.

Para la vegetación herbácea se emplearon subcuadrantes de 1 m² en cada cuadrante principal, registrando:

- Número de especies
- Densidad poblacional por especie
- Porcentaje de cobertura vegetal

Con estos datos se calculó:

Índice de Shannon (H'): $H' = - \sum p_i \ln p_i$

Donde p_i representa la proporción de individuos por especie

Cobertura vegetal total: suma de los porcentajes de cobertura por especie herbácea identificada según el tratamiento.

Posteriormente, fue evaluada la macrofauna edáfica, teniendo en cuenta la metodología de la Red Internacional de Evaluación de la Macrofauna del Suelo (TSBF), adaptada para agroecosistemas tropicales (Anderson e Ingram, 1994). En cada cuadrante se extrajo un monolito de suelo (25×25×30 cm), dividido en tres estratos (0-10, 10-20, 20-30 cm). Las muestras se procesaron manualmente, recolectando organismos >2 mm que se preservaron en alcohol al 70%. En el caso de las lombrices de tierra, fueron conservadas en formol al 4% para evitar su desecación (Royero, 2019). Seguidamente se clasificaron taxonómicamente y se calculó la abundancia y riqueza por grupo funcional.

Para evaluar los aspectos productivos en cada agroecosistema, se utilizaron los registros anuales proporcionado por el productor. La variable que se tuvo en cuenta fue el rendimiento promedio por sistema (kg), donde se tuvieron en cuenta las dos formas usadas en la comercialización: cereza y pergamino. Para asegurar la comparabilidad, los valores de café pergamino fueron expresados con un contenido de humedad de 10–12%, siguiendo el estándar de comercialización. La relación de conversión utilizada entre café cereza y pergamino seco fue de aproximadamente 4.8–5.2:1, de acuerdo con lo reportado en la literatura (Bote y Struik, 2011).

Por último, se calculó la eficiencia económica a partir de los datos recopilados sobre los costos de producción y los precios de venta mediante entrevistas con el productor y registros contables.

Para ello se consideraron los siguientes indicadores:

- Valor producción (\$/kg/año): Rendimiento × precio venta
- Ganancia (\$/ha): Ingresos - costos
- Relación B/C: Donde B=Valor producción - costos
 - B/C>1 indica rentabilidad
 - B/C=2 representa 100% de beneficio
 - B/C≥3 muestra alta rentabilidad

Análisis estadístico

Mediante el índice de diversidad de Shannon (H') se cuantificaron las especies vegetales, la riqueza y abundancia relativa de cada agroecosistema. Además, se calculó la abundancia y riqueza de la macrofauna edáfica por grupo funcional, por orden taxonómico y los promedios de riqueza por grupo funcional para identificar tendencias en la composición faunística.

A través de la estadística descriptiva, se obtuvieron las medias y los rangos de altura y cobertura de los árboles en ambos sistemas de manejo (tradicional y comercial).

Para determinar las diferencias en el rendimiento se utilizó una prueba t para dos muestras independientes, con un nivel de significación de 0.05.

Todos los análisis estadísticos se realizaron en el software SPSS, versión 27.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema tradicional presentó 21 especies, de las cuales 15 fueron arbóreas y 6 herbáceas (Tabla 1 y Tabla 2). Este agroecosistema está compuesto por especies típicas de la zona, como son el Fresno (*Fraxinus americana* L.) y el Fresno rosado (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh), así como por frutales como el Aguacate (*Persea americana* Mill.), Mango (*Mangifera indica* L.), Jinicuile (*Inga vera* Willd.), Naranja (*Citrus X sinensis* (L.) Osbeck (pro. sp.)), Guayabo (*Psidium guajava* L.) y Limón (*Citrus X*

limon (L.) Burm. f. (pro. sp.)). También se identificaron especies cuya función principal es proporcionar sombra como el Cedro (*Cedrela odorata* L.), el Ixpepel (*Cedrela odorata* L.), el Guaje (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit), la Magnolia (*Magnolia grandiflora* L.), el Encino (*Quercus robur* L.), el Zapote (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn) y el Nogal (*Juglans regia* L.). Estas especies son fundamentales en el manejo del sistema por constituir un medio natural para regular la radiación solar en el cafetal.

Además, se determinó la presencia de especies herbáceas (Tabla 2) como el Nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) que se utiliza con fines comestibles, también otras con propiedades medicinales como la Hoja Santa (*Piper auritum* Kunth) y el Cardamono (*Elettaria cardamomum* (L.) Maton), la Colocasia (*Colocasia esculenta* (L.) que crece silvestre y destaca por sus colores y algunas leguminosas rastreras como el Arachis (*Arachis pintoii* Krapov. & W.C. Greg.) y el Chipilín (*Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn.) comúnmente utilizadas para cobertura del suelo debido a su capacidad de fijación de nitrógeno y su contribución a la mejora de la fertilidad edáfica (Ledezma et al., 2024; Cristobal et al., 2024).

En el sistema comercial solo registró una especie arbórea y dos herbáceas, siendo el Limón de importancia económica y el Girasol (*Helianthus annuus* L.) y la Siempreviva (*Sedum dendroideum* Moceno & Sessé ex A. DC.) parte de la vegetación secundaria.

Tabla 1. Especies de plantas arbóreas identificadas en cada sistema de manejo de café.

Sistema de manejo del café	Nombre común	Nombre científico	Uso	Altura (m)	Sombra (%)
Tradicional	Aguacate	<i>Persea americana</i> Mill.	Frutal	8.4	71.5
Tradicional	Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	Frutal	9.2	67.9
Tradicional	Jinicuile o Vainillo	<i>Inga vera</i> Willd.	Frutal	6.7	75.3
Tradicional	Naranja	<i>Citrus X sinensis</i> (L.) Osbeck (pro. sp.)	Frutal	4.3	85.7
Tradicional	Guayabo	<i>Psidium guajava</i> L.	Frutal	5.2	81.8
Tradicional	Limón	<i>Citrus X limon</i> (L.) Burm. f. (pro. sp.)	Frutal	4.5	84.4
Tradicional	Fresno	<i>Fraxinus americana</i> L.	Maderable	11.0	73.1
Tradicional	Fresno rosado	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marsh	Maderable	10.2	75.9
Tradicional	Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	Sombra	12.3	63.8
Tradicional	Ixpepel	<i>Trema micranthum</i> (L.) Blume	Sombra	6.1	79.3
Tradicional	Guaje	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Sombra	5.4	80.6
Tradicional	Magnolia	<i>Magnolia grandiflora</i> L.	Sombra	7.3	78.4
Tradicional	Encino	<i>Quercus robur</i> L.	Sombra	10.0	70.7
Tradicional	Zapote	<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E. Moore & Stearn	Sombra	8.7	73.5
Tradicional	Nogal	<i>Juglans regia</i> L.	Sombra	9.6	72.9
Comercial	Limón	<i>Citrus X limon</i> (L.) Burm. f. (pro. sp.)	Venta	3.9	56.4

Tabla 2. Especies vegetales identificadas en cada sistema de manejo de café.

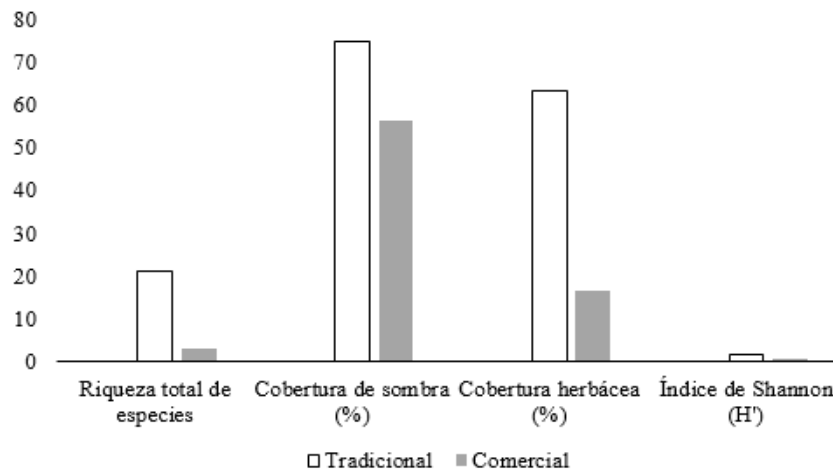
Sistema de manejo del café	Nombre común	Nombre científico	Uso	Cobertura (%)	No. individuos
Tradicional	Nopal	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	Comestible	7.5	5
Tradicional	Hoja santa	<i>Piper auritum</i> Kunth	Medicinal	9.5	5
Tradicional	Cardamomo	<i>Elettaria cardamomum</i> (L.) Maton	Medicinal	4.0	5
Tradicional	Colocasia	<i>Colocasia esculenta</i> (L.)	Ornamental	6.5	5
Tradicional	Arachis	<i>Arachis pintoi</i> Krapov. & W.C. Greg.	Cobertura del suelo	25.0	50
Tradicional	Chipilín	<i>Crotalaria longirostrata</i> Hook. & Arn.	Cobertura del suelo	11.0	10
Comercial	Girasol	<i>Helianthus annuus</i> L.	Ornamental	6.5	4
Comercial	Siempreviva	<i>Sedum dendroideum</i> Moceno & Sessé ex A. DC.	Cobertura del suelo	10.0	10

La cobertura de sombra osciló en un rango entre 63.8% y 85.7% en el sistema tradicional, para una media de 75.0 % y el índice de diversidad de Shannon (H') fue de 1.80. Con respecto al sistema comercial los valores fueron menores, siendo para la cobertura de sombra 56.4% y el índice de H' , de 0.80 (Figura 1). Estos resultados se corresponden con los de Godínez y López (2002), quienes destacan que el manejo de los sistemas tradicionales de café, son reservorios de biodiversidad y corredores biológicos de numerosas especies de insectos, aves y mamíferos que favorecen la polinización, actúan como controles biológicos, ayudan a mantener la fertilidad del suelo, incrementan la diversidad y regulan el secuestro de carbono (Rojas *et al.*, 2024).

Además, la sombra disminuye la temperatura del aire y crea un microclima que reduce el estrés hídrico sobre las plantas de café, aspectos muy importantes ante las condiciones de cambio climático, por lo que desempeña un papel ecológico y agronómico fundamental, al beneficiar el desarrollo de comunidades biológicas edáficas y epífitas que

permiten incrementar la funcionalidad del agroecosistema (Aponte *et al.*, 2024).

En términos de rendimientos, varios estudios reportan que en los cafetales con mayor cobertura de sombra solo se afecta entre un 20% y 25%, mientras que las pérdidas para los que están expuestos directamente al sol pueden ser más del 50% debido al estrés hídrico y mayor susceptibilidad a las plagas (Villarreyna, 2014). Sin embargo, existen casos como en Brasil donde la cafecultura a pleno sol alcanza la mayor producción mundial, dado fundamentalmente por el uso intensivo de agroquímicos, variedades potenciales y la sobreexplotación de los suelos. Por otra parte, también se ha reportado que la maduración de los frutos de café es más uniforme con los agroecosistemas más diversificados, lo que favorece la calidad del grano (Aponte *et al.*, 2024). Por tanto, en este caso de estudio se infiere que las condiciones específicas que ofrecen los sistemas tradicionales, caracterizados por mayor diversidad y presencia de sombra, contribuyen a una mayor resiliencia frente a las condiciones locales de variabilidad climática, que van más allá de los rendimientos absolutos.

**Figura 1. Indicadores de diversidad de especies por sistemas de manejo de café**

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de la macrofauna edáfica en cada agroecosistema. Se detectó fauna en el suelo, solamente en el sistema tradicional, mientras que en el sistema comercial no se registró ningún organismo. Esta ausencia podría estar relacionada con la baja cobertura vegetal en dicha área, lo que limita la presencia de estos organismos dado por la falta de recursos que impiden su desarrollo, lo cual puede ser consecuencia de un suelo degradado, con menor calidad biológica, en el que se aplican prácticas agrícolas intensivas e interviene la actividad continua antrópica (Alava, 2023).

En el sistema tradicional, se registraron 34 individuos distribuidos en cinco órdenes: *Opisthopora*, *Helicida*, *Hymenoptera*, *Araneae* y *Scolopendromorpha*, los cuales tienen funciones biológicas en el suelo que favorecen la salud de los agroecosistemas cafetaleros (Tuesta, 2015), al descomponer la materia orgánica, favorecer la respiración del suelo y evitar la erosión.

El orden *Opisthopora* donde se encuentran ubicadas las lombrices fue el de mayor densidad presente y en segundo lugar *Hymenoptera*, representado por las hormigas, ello destaca el estado positivo del sistema (Criollo, 2017) ya que estos organismos tienen diferentes funciones biológicas en los diferentes estratos del suelo (Zavaleta, 2019).

Las prácticas culturales y características de cada agroecosistema de estudio se muestran en la tabla 4. Para el sistema tradicional se mantienen hace 12 años variedades adaptables y reconocidas por su calidad sensorial, como la Typica, Geisha, Caturra y Garnica

(Mejía, 2019; Rincón *et al.*, 2024; Pérez *et al.*, 2024). En cuanto al sistema comercial, se utilizan variedades de mayor productividad como Borbón rosado, Mundo Novo y Caturra (Barros, 1997; Pérez y Osso, 2021; Basantes y Orihuela, 2024), probablemente con la intención de incrementar el rendimiento.

En ambos sistemas se aplican las mismas fertilizaciones y con igual frecuencia, sin embargo, con el tradicional se incorporan más insumos orgánicos, dado por la propia descomposición de la materia orgánica que realizan los organismos presentes en el suelo, por lo que sugiere mayor eficiencia en el manejo de nutrientes (Capa, 2015).

Además, la implementación de prácticas agroforestales en el sistema tradicional, al incluir especies de sombra como el Zapote y el Ixpepel favorece la regulación térmica y conservación de la humedad edáfica (Farfán, 2014). En cambio, el sistema comercial por presentar menor cobertura vegetal, carece de regulación de sombra y la ausencia de macrofauna edáfica mencionada anteriormente.

Sin embargo, a pesar del manejo que se realiza en cada sistema, se detectó incidencia media de enfermedad, causada por el hongo *Phoma sp.*, siendo controlados ambos de igual manera, con el uso de fungicidas foliares como oxiclورو de cobre y Bayfolan. Aunque, se destaca que con el manejo tradicional se complementa con la regulación de sombra ya que las plantas sufren menor estrés hídrico y térmico y ello puede favorecer que disminuya la susceptibilidad ante la enfermedad (Farfán, 2014).

Tabla 3. Individuos presentes en la macrofauna edáfica para cada sistema de manejo de café.

Sistema de manejo	Grupos funcionales	Orden	Función	Abundancia
Tradicional	Detritívoros	Opisthopora (lombrices)	Formación de galerías, mezcla de suelo	16
Tradicional	Detritívoros	Helicida (caracol)	Descomposición, herbivoría	2
Tradicional	Omnívoros	Hymenoptera (hormigas)	Ciclo de nutrientes, bioturbación, dispersión de semillas	12
Tradicional	Depredadores	Araneae (arañas)	Control biológico	2
Tradicional	Depredadores	Scolopendromorpha (ciempiés)	Control biológico	2
Abundancia Total		34		
Riqueza Total		5 grupos		
Riqueza promedio por grupo funcional		Detritívoros: 2 géneros Omnívoros: 1 género Depredadores: 2 géneros		
		\bar{x} 1.67		

Tabla 4. Principales características y prácticas culturales de cada sistema de manejo de café.

Variables	Tradicional	Comercial
Variedades	Typica, Geisha, Caturra y Garnica	Borbón rosado, Mundo Novo, Costa Rica 95, Caturra, Colombia, Marsellesa
Edad de la plantación (años)	12	2
Conservación del suelo	Cultivo de cobertura Agroforestería	Cultivo de cobertura
Regulación de sombra	Si (Zapote, Ixpepel)	No
Fertilización	Química (20-10-10, una vez al año) y orgánica (estiércol de borrego y cascarilla de café, 2 kg/planta, 1 vez al año)	
Poda	Si (después de la cosecha)	No
Principales plagas y enfermedades/intensidad/control que utiliza	Hongo <i>Phoma</i> /media/control con sombra, fungicida, foliar, oxicloruro de cobre, Bayfolan	

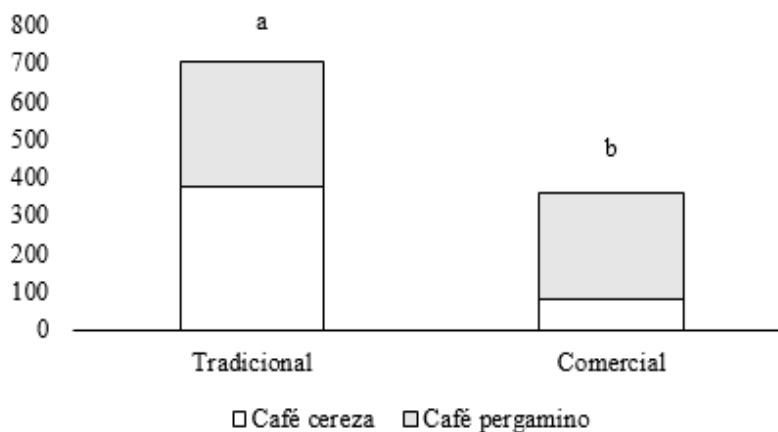
Las diferencias en el rendimiento de café fueron significativas entre los sistemas de manejo ($t < 0.05$). El agroecosistema tradicional presentó los mayores valores, con 376 kg de café cereza y 324 kg de pergamino (10–12% de humedad, Figura 2). En contraste, el sistema comercial mostró una menor producción, con 80 kg de café cereza y 280 kg de pergamino. Sin embargo, esta disparidad en la producción debe analizarse considerando las diferencias agronómicas de cada sistema. El cafetal tradicional se componía de plantas adultas (12 años) y el comercial estaba conformado por plantas jóvenes (2 años), además como se señaló anteriormente también eran diferentes las variedades existentes y las prácticas de manejo.

Por tanto, la menor productividad observada en el sistema comercial puede estar asociada a estos factores, pero también a la baja disponibilidad de nutrientes y escasa actividad biológica en el suelo, dada la reducida presencia de fauna edáfica. La

ausencia de organismos del suelo, fundamentales en la descomposición de materia orgánica y la mineralización de nutrientes, puede limitar la fertilidad y afectar el desarrollo y rendimiento del cafetal (Machado *et al.*, 2021).

Por ello, los resultados se atribuyen no solo a la estrategia de manejo, sino también a los estados de desarrollo contrastantes entre las plantaciones. El sistema tradicional representa un agroecosistema estabilizado y en plena producción, mientras que el comercial se encuentra en transición productiva. Por lo tanto, la comparación de rendimientos exige una interpretación cautelosa, subrayando la necesidad de estudios a largo plazo.

De manera complementaria, al considerar los cultivos asociados en el sistema comercial, particularmente el limón, se estimó una producción de 3,16 t/ha (600 kg en 0,19 ha), aspecto que se tuvo en cuenta para realizar el análisis económico integral.

**Figura 2. Rendimiento de café obtenido en cada sistema de manejo.**

Los resultados presentados en la tabla 5 reflejan diferencias notables entre los sistemas de manejo tradicional y comercial del café en términos de costos de inversión e ingresos anuales. A pesar que con el sistema tradicional se obtienen mayores costos totales anuales (\$3,025.60 vs \$1,824.00), también presenta un rendimiento económico más favorable por concepto de café cereza, alcanzando ingresos por \$3,279.80, en comparación con los \$2,010.20 que aportó el sistema comercial. No obstante, el sistema comercial generó ingresos anuales muy superiores gracias a la venta de frutos de limón y otros cultivos hortícolas (girasol), aportando \$24,410.20.

Estos resultados se corresponden con los obtenidos por Pérez *et al.* (2024) quienes detectaron que los ingresos en el sistema de policultivo comercial fueron 49.9% superiores respecto al tradicional debido fundamentalmente al ingreso extra de los cultivos secundarios.

En la tabla 6 se observan los resultados del análisis económico según cada tratamiento. El sistema tradicional, muestra un bajo rendimiento económico, con un valor de producción de 4.68 \$/kg y una ganancia anual de \$ 254.20, es decir 819.35 \$/ha para una relación beneficio/costo (B/C) de 1.08, lo que indica una eficiencia económica muy baja.

En contraste, el sistema comercial, que suma además el ingreso por venta del cítrico y cultivos ornamentales, presenta una rentabilidad significativamente superior. El valor de la producción alcanza los 67.81 \$/kilogramo, y la ganancia anual es de \$ 22,586.20, lo que representa una ganancia de 118,874.74 \$/ha. La relación beneficio/costo en este sistema es de 13.38, lo cual evidencia un sistema económicamente factible y rentable. Es importante señalar que, aunque ambos agroecosistemas tienen cultivos diversificados, los ingresos por venta de productos en otros cultivos distintos al café se obtienen únicamente en el sistema comercial, por ello se infiere una mayor estabilidad financiera con este manejo y ello podría amortiguar las fluctuaciones del mercado cafetalero.

Las principales diferencias entre ambos sistemas radican en el destino final de los cultivos asociados. El agroecosistema tradicional, si bien presenta una alta diversidad de especies y muestra características de resiliencia frente a condiciones ambientales adversas, genera ganancias limitadas que no cubren las necesidades básicas del productor. En contraste, el manejo comercial busca un equilibrio al ofrecer mayores beneficios económicos. Esta situación explica porque muchos productores optan por dividir sus parcelas y aplicar diferentes estrategias de manejo al cafetal, con el fin de atender simultáneamente aspectos multidimensionales que abarcan desde lo social, productivo, ambiental y económico.

Tabla 5. Comparación de costos de inversión e ingresos anuales entre los sistemas de manejo tradicional y comercial del café.

Variables	Indicadores	Tradicional	Comercial
Costo de inversión (\$)	Costo de las plantas de café	297.60	152.00
	Mano de obra (jornales, salarios)	248.00	152.00
	Costo de maquinaria (alquiler o mantenimiento)	930.00	570.00
	Costo de podas	1,550.00	950.00
Costo total anual (\$)		3,025.60	1,824.00
Ingresos (\$)	Café cereza	511.50	313.5
	Café pergamino	2,768.30	1,696.70
	Cultivos hortícolas		13,400.00
	Otros cultivos		9,000.00
Ingreso Total Anual (\$)		3,279.80	24,410.20
*Precio de venta del café (\$/kg)		17	17
*Precio de venta de frutas (limón) (\$/kg)			15

*Se refiere al precio de venta del último año

Tabla 6. Análisis económico según sistemas de manejo tradicional y comercial.

Indicador	Sistema Tradicional	Sistema Comercial
Valor de la producción (\$/kg)	4.68	67.81
Ganancia anual (\$)	254.2	22,586.20
Ganancia por ha (\$/ha)	819.35	118874.74
Relación Beneficio/Costo (B/C)	1.08	13.38

A partir de estos resultados, se puede inferir la importancia que generarían la implementación de manejos híbridos que integren la diversificación propia del sistema tradicional con la rentabilidad del comercial. El uso de árboles frutales y maderables dentro de los cafetales, no solo se puede valorar por el aporte económico sino también por el efecto ambiental y ecológico. De igual manera, las incorporaciones de cultivos secundarios de ciclo corto podrían generar liquidez inmediata, proporcionar cobertura vegetal, proteger al suelo de la erosión, promover la fauna edáfica y disminuir la dependencia de insumos externos, creando estabilidad del cafetal y asegurando la resiliencia económica a largo plazo.

CONCLUSIÓN

Se concluye que los sistemas tradicionales de café favorecen la diversidad de especies, contribuyen a la conservación de la biodiversidad, al desarrollo de la fauna del suelo y a un mejor rendimiento del cultivo principal. En contraste, el sistema comercial, es menos favorable desde el punto de vista ecológico, pero se alcanza mayores ingresos ya que se asociaron cultivos alternativos como limón y girasol.

Estos resultados evidencian que para alcanzar la sustentabilidad de los agroecosistemas cafetaleros se requiere integrar criterios de responsabilidad ecológica y de rentabilidad económica. En este sentido, se hace necesario innovar en diseños de manejos híbridos que combinen la estabilidad ecológica del sistema tradicional con las ventajas económicas del comercial, a fin de lograr agroecosistemas resilientes que contribuyan tanto a la conservación de la biodiversidad como al bienestar de los productores.

Acknowledgments

We would like to thank coffee producers Dr. Sergio Sánchez Hernández and M.Sc. Nancy Nasario Lezama for their valuable assistance and support during the fieldwork. We also thank the National Council of Humanities, Sciences, and Technologies (CONAHCYT) and the Colegio de Posgraduados, Veracruz Campus.

Funding. This work was supported by funding from the Colegio de Postgraduados de México to support research projects in the 2025 call for proposals.

Conflicts of interest. There are no conflicts of interest between the authors.

Compliance with ethical standards. Do not apply.

Data availability. The authors confirm that all data underlying the findings are fully available without restriction upon reasonable request to the corresponding author, Arturo Pérez-Vázquez

(parturo@colpos.mx). All relevant data necessary to replicate this study are described in the paper.

Author's contribution statement (CRediT). Y. Noda-Leyva – Funding acquisition, Methodology, Writing– original draft. A. Pérez-Vázquez – Supervision, Conceptualization, Writing – review & editing. S. Sánchez-Hernández – Validation, Supervision, Data curation. N. Nazario-Lezama – Supervision, Methodology, Validation.

REFERENCES

- Alava, M.C. 2023. Efecto del uso del suelo en la macrofauna edáfica en el distrito de Soritor, departamento de San Martín. Tesis en opción al título de Ingeniero ambiental. Universidad Nacional de San Martín. Moyobamba, Perú, 2023.
<https://repositorio.unsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/654094ed-2399-486b-98e8-40d8c022e1cc/content>
- Anderson, J. M., & Ingram, J. S., 1994. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. *Soil Science*, 157(4), p. 265.
https://journals.lww.com/soilsci/citation/1994/04000/tropical_soil_biology_and_fertility_a_handbook_of.12.aspx
- Aponte, A.R., Hernández, L.A.A., Luna, D.V. and Piña, C.T., 2024. Manejo de sombra y sus indicadores en tres parcelas del cultivo de café en la comunidad de San Fernando, Sotepaan, Veracruz. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 12(2), pp. 122–134.
<https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v12i2.584>
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A. J. and Morales, C., 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): Impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, 7(2), pp. 303–321.
<https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9>
- Barros, I.D., 1997. Produção das variedades Caturra e Mundo Novo de café em função do espaçamento, número de plantas por cova e condução das plantas. Tesis Doctoral. Universidade de São Paulo.
<https://doi.org/10.11606/D.11.2018.tde-20181127-160055>
- Basantes, T.F. and Alegre, J.C., 2024. Caracterización de fincas productoras de café (*Coffea arabica* L.) orgánico y convencional en la zona de Intag, Ecuador. *Revista de Investigación e*

- Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 11(3), pp. 84–97. <https://doi.org/10.53287/iisy1664yp50t>
- Bote, A.D. and Struik, P.C., 2011. Effects of shade on growth, production and quality of coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia. *Journal of Horticulture and Forestry*, 3(11), pp. 336–341. <https://doi.org/10.5897/JHF.90000455>
- Capa Mora, E.D., 2015. Efecto de la fertilización orgánica y mineral en las propiedades del suelo, la emisión de los principales gases de efecto invernadero y en las diferentes fases fenológicas del cultivo de café (*Coffea arabica* L.). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.365399>
- Criollo, P., 2017. Macrofauna edáfica de dos sistemas pecuarios, en el distrito de conservación de suelos 'Corpoica – Tibaitata'. Tesis de maestría. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/31333>
- Cristobal-Santiago, O., Maldonado-Peralta, M.D.L.Á., Rojas-García, A.R., Palemón-Alberto, F., Romero-Rosales, T. and Hernández-Pólito, A., 2024. Producción de *Crotalaria juncea* L. a diferentes densidades de siembra y edad al corte. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(6), pp. 1–11. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i6.3338>
- Ejea, M.T., 2009. Café y cultura productiva en una región de Veracruz. *Nueva Antropología*, 22(70), pp. 33–56. <https://www.scielo.org.mx/pdf/na/v22n70/v22n70a3.pdf>
- Escamilla Prado, E., García Pérez, E., Mosqueda Vázquez, R., Santoyo Cortes, V.H. and Pacheco Velasco, J.E., 1997. Evaluación de sistemas de producción en café en Veracruz. *FAO AGRIS - International System for Agricultural Science and Technology*. 10. Reunión Científica Tecnológica Agropecuaria. Veracruz. Publicación especial (México), (3), pp. 91–98. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122570/records/64722abc77fd37171a73542a>
- Farfán, F. F., 2014. Mantenimiento del componente arbóreo en sistemas agroforestales con café. *Avances Técnicos Cenicafe*, 440, pp. 1–8. https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/avances_tecnicos/article/view/3777
- Godínez-Ibarra, O. and López-Mata, L., 2002. Estructura, composición, riqueza y diversidad de árboles en tres muestras de selva mediana subperennifolia. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*, 73(2), pp. 283–314. <https://www.redalyc.org/pdf/400/40073209.pdf>
- Jha, S., Bacon, C.M., Philpott, S.M., et al., 2014. Shade coffee: Update on a disappearing refuge for biodiversity. *Bioscience*, 64(5), pp. 416–428. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu0388>
- Läderach, P., Oberthür, T., Cook, S., Iza, M.E., Pohlen, J.A., Fisher, M. and Lechuga, R.R., 2011a. Systematic agronomic farm management for improved coffee quality. *Field Crops Research*, 120(3), pp. 321–329. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.10.006>
- Läderach, P., Hagggar, J., Lau, C., Eitzinger, A., Ovalle, O., Baca, M., Jarvis, A., Lundy, M., 2011b. Café Mesoamericano: desarrollo de una estrategia de adaptación al cambio climático. Política en Síntesis, 2, Cali, Colombia: International Center for Tropical Agriculture (CIAT). <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/97fcbbbf-0b2b-4ff1-93e8-4c32133b123c/content>
- Ledezma, E.A.P., Moreno, Y.M., Medina, L.T., Herrera, M.M. and Polo, A.P., 2024. Evaluación de la incorporación de *Arachis pintoi* CIAT 17434 en tres especies vegetales promissórias. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7(3), p. e73118. <https://doi.org/10.34188/bjaerv7n3-097>
- Lin, B.B., 2007. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 144(1–2), pp. 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.12.009>
- Machado Vargas, M.M., Nicholls, C.I., Márquez, S.M. and Turbay, S., 2015. Caracterización de nueve agroecosistemas de café de la cuenca del río Porce, Colombia, con un enfoque agroecológico. *Idesia (Arica)*, 33(1), pp. 69–83. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292015000100008>
- Machado-Cuellar, L., Rodríguez-Suárez, L., Murcia-Torrejano, V., Orduz-Tovar, S.A., Ordoñez-

- Espinosa, C.M. and Suárez, J.C., 2021. Macrofauna del suelo y condiciones edafoclimáticas en un gradiente altitudinal de zonas cafeteras, Huila, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), pp. 102–112. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i1.42955>
- Martínez-Torres, M.E., 2006. *Organic coffee: sustainable development by Mayan farmers*. Ohio University Press. p. 175.
- Mejía, M. and Zapata, N., 2019. La producción, problemas fitosanitarios y umbral económico del café en la sierra nororiental del estado de Puebla. México: Ed. Esténtor, p. 112.
- Moguel, P. and Toledo, V.M., 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of México. *Conservation Biology*, 13(1), pp. 11–21. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97153.x>
- Mostacedo, B.B. and Fredericksen, T.S., 2000. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Santa Cruz, Bolivia: Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR), 87, pp. 1–92. <http://www.bionica.info/Biblioteca/Mostacedo2000EcologiaVegetal.pdf>
- Pérez Santofimio, E.A. and Osso Bolaños, J.B., 2021. Análisis de la calidad en taza y el factor de rendimiento de las variedades de café (*Coffea arabica* L.) Castillo y Bourbon Rosado, bajo las mismas condiciones de fermentación en la finca La Primavera de la vereda Betania del municipio Pitalito-Huila. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/44837>
- Pérez-Vázquez, A., Pérez-Sánchez, O., Lango-Reynoso, V. and Escamilla-Prado, E., 2024. El agroecosistema cafetalero: policultivo tradicional versus policultivo comercial en Chocamán, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(2), pp. 1–14. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i2.3248>
- Perfecto, I. and Vandermeer, J., 2008. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems: a new conservation paradigm. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134(1), pp. 173–200. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.011>
- Quiroz, G.I., Pérez-Vázquez, A., Landeros, S.C., Gallardo, L.F., Velasco, V.J. and Benítez, B.G., 2024. Capacidad de resiliencia del agroecosistema café en Tezonapa, Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1), p. 55146. <https://dx.doi.org/10.15517/am.2024.55146>
- Rincón, C.I.S., Gutiérrez, E.A., Pérez, J.A.G., Velásquez, L.R.S. and Andreu, L.G.I., 2024. La variedad de café Geisha y su estatus en el mundo y en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(7), p. 3847. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i7.3403>
- Rojas, G.D.V., Pinto, D.J.M. and Mosquera, J.M.B., 2024. Reflexión sobre los sistemas de producción de café y sus implicaciones para la conservación. En: *Reflexiones de los proyectos de jóvenes investigadores e innovadores en el departamento del Cauca 2023*, (Eds) Sello Editorial Uniautonoma del Cauca, pp. 105–113.
- Royero, S., 2019. Macrofauna edáfica y características físicas y químicas del suelo en áreas con diferentes sistemas de manejo en el departamento del Atlántico, Colombia. Tesis de maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, p. 97. <https://bfrpositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/93e0e56b-8cb6-42e8-acc5-a66d1adc9622/content>
- Tuesta, M., 2015. Evaluación de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso en el Distrito de Nuevo Progreso. Tesis para optar por el título de Ingeniero en Recursos Naturales. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú, p. 94. <https://repository.unas.edu.pe/handle/UNAS/1091>
- Villarreyna Acuña, R.A., 2014. Análisis de las condiciones de manejo que propiciaron el impacto de la roya (*Hemileia vastatrix*) en la zona cafetalera de los municipios de Jinotega, El Tuma-La Dalia y San Ramón, Nicaragua. Tesis de maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica, p. 68. <https://repository.catie.ac.cr/handle/11554/7167>
- Zavaleta, M., 2019. Macrofauna y propiedades físico y químicas de los suelos en cultivo de café del distrito de Jepelacio – Moyobamba. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Trujillo, Perú, p. 70. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/124911f1-a86d-4637-8b9d-3581a8fed1d4/content>