


Interacción de Subsistemas Productivos en el Rancho diversificado Don Jorge, Suchiapa, Chiapas, México

Interaction of Farming Subsystems in the Don Jorge Diversified Ranch, Suchiapa, Chiapas, Mexico

Herrán-Aguirre, M. L.*¹, Guevara-Hernández, F.¹, La O-Arias, M. A.¹, Nahed-Toral, J.²

 Herrán-Aguirre, M. L.
mariana.herran80@unach.mx

 Guevara-Hernández, F.
francisco.guevara@unach.mx

 La O-Arias, M. A.
manuel.arias@unach.mx

 Nahed-Toral, J.
jnahed@ecosur.mx

*Autor de correspondencia: mariana.herran80@unach.mx

¹ Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Facultad de Ciencias Agronómicas, Campus V, Villaflores, Chiapas, México.

² El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR-SECIHTI), Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, Grupo Académico de Ganadería Sustentable y Cambio Climático. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua

ISSN-e: 2410-7980

Periodicidad: Semestral
vol.10, núm.19, 2024

ribcc@ev.unanleon.edu.ni

Recepción: 19 Agosto, 2024
Aprobación: 26 Noviembre, 2024

URL: <https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REB-ICAMCLI/article/view/1080>

DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v10i19.19327>

Copyright © 2024 Rev. iberoam. bioecon. cambio clim. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua León (UNAN-León), Área de Conocimiento de ciencias agrarias y veterinarias/ Área Específica de Agroecología y agronegocios /Centro de Investigación Ciencias Agrarias y Veterinarias. Dirección Académica. Departamento de Investigación. Unidad de publicaciones y eventos científicos. Departamento de Investigación. Unidad de Publicaciones y Eventos Científicos.



Esta obra está bajo una licencia internacional
[Creative Commons Atribución No Comercial Compartir Igual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resumen

Antecedentes: La integración de actividades agrícolas y ganaderas es clave para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas productivos. Este análisis se centra en la interacción de los subsistemas que conforman el sistema productivo agropecuario en el Rancho "Don Jorge", en Suchiapa, Chiapas. El objetivo es comprender la estructura y dinámica del funcionamiento de los subsistemas bovino y agrícola, buscando optimizar la gestión productiva y el uso integral de recursos. **Metodología:** La investigación, llevada a cabo entre enero de 2023 y enero de 2024, utilizó un estudio de caso con visitas periódicas y recolección de datos. Se recolectaron datos sobre producción de leche, peso de becerros, consumo de forraje, costos alimenticios, eficiencia y animales para venta en el subsistema ganadero. Para el subsistema agrícola, se midió biomasa por hectárea, uso de fertilizantes, costos y consumo de combustible. Se realizó un análisis factorial para simplificar y analizar las variables clave. **Resultados:** El subsistema bovino se divide en tres periodos: engorda (enero-mayo), producción lechera (junio-septiembre) y toma de decisiones (octubre-diciembre). La engorda ocurre durante la sequía bajo un sistema intensivo, mientras que la producción lechera aumenta en la temporada de lluvias por la disponibilidad de pasto fresco y partos. En la toma de decisiones, los animales aprovechan residuos agrícolas y se ajustan estrategias de siembra. **Conclusión:** Este estudio resalta la importancia de adaptar las estrategias de manejo a las variaciones estacionales para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas productivos, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones en la región.

Palabras claves: Sistema de información agrícola, ganadería, Gestión de recursos, análisis factorial, Clima.

Abstract

Background: The integration of agricultural and livestock activities is key to improving the efficiency and sustainability of productive systems. This analysis focuses on the interaction of the subsystems that comprise the agricultural production system at the "Don Jorge" Ranch in Suchiapa, Chiapas. The objective is to understand the structure and dynamics of the bovine and agricultural subsystems, aiming to optimize productive management and resource integration. **Methodology:** The research, carried out between January 2023 and January 2024, used a case study approach with periodic visits and data collection. Data were gathered on milk production, calf weight, forage consumption, feed costs, efficiency, and animals for sale in the livestock subsystem. For the agricultural subsystem, biomass per hectare, fertilizer usage, costs, and fuel consumption were measured. Factor analysis was conducted to simplify and analyze key variables. **Results:** The bovine subsystem is divided into three periods: fattening (January-May), milk production (June-September), and decision-making (October-December). Fattening occurs during the dry season under an intensive system, while milk production increases in the rainy season due to the availability of fresh pasture and calving. In the decision-making period, the animals benefit from agricultural residues, and sowing strategies are adjusted. **Conclusion:** This study highlights the importance of adapting management strategies to seasonal variations to improve the efficiency and sustainability of productive systems, providing a solid foundation for future research in the region.

Keywords: Agricultural information system, livestock, resource management, factorial analysis, climate.

Introducción

La integración de actividades agrícolas y ganaderas en sistemas productivos diversificados ha demostrado ser una estrategia eficaz para optimizar la sostenibilidad y eficiencia en la producción agropecuaria ([Garrett et al., 2020](#)). Esta práctica, que combina subsistemas específicos como la ganadería y la agricultura, cobra relevancia en la agricultura moderna, y estudios actuales respaldan sus beneficios para la productividad y la gestión sustentable de los recursos ([Martin et al., 2020](#)).

La interrelación de los agroecosistemas es crucial para la producción sostenible de alimentos, ya que estos sistemas proveen servicios ecosistémicos esenciales, como regulación de la calidad del suelo y el agua, control de la erosión y manejo de plagas y polinizadores, aspectos fundamentales para mantener la productividad agrícola ([Casanova-Lugo et al., 2016](#)). En México, los ranchos diversificados representan un modelo integral de producción, en el que la combinación de varios subsistemas resulta clave para la rentabilidad económica ([Rodríguez-Huerta, 2024](#)). Aunque los sistemas que integran cultivos y ganado tienen una larga tradición en la agricultura, en años recientes el enfoque en la sostenibilidad ha renovado el interés por su implementación a gran escala. Según [Harrison et al. \(2021\)](#), los sistemas integrados permiten un ciclo de nutrientes más equilibrado y una reducción de residuos, contribuyendo así a la conservación del suelo y la biodiversidad, elementos fundamentales en la agricultura sostenible ([Garrett et al., 2020](#)).

La diversificación de actividades en los ranchos optimiza el uso de recursos, minimiza riesgos y aumenta la eficiencia productiva, lo que ejemplifica un enfoque sistémico en la gestión de agroecosistemas. Estudios recientes sugieren que la interacción entre subsistemas productivos permite una gestión más adaptable y eficiente, lo cual es esencial para sistemas que buscan tanto producción intensiva como sostenibilidad ([Coeto et al., 2019](#)). En este contexto, el subsistema ganadero del Rancho "Don Jorge", con actividades de producción de leche y manejo del peso de los becerros, se interconecta con el subsistema agrícola mediante la rotación de cultivos y el uso de forrajes adaptados al suelo local. [Martin et al. \(2020\)](#) destacan que estos sistemas permiten maximizar el aprovechamiento de recursos, minimizando pérdidas y fortaleciendo la resiliencia del sistema frente a variaciones externas. Además, la integración de estos sistemas disminuye el uso de insumos externos, un beneficio relevante en términos de costos y sostenibilidad.

El manejo sostenible de sistemas agropecuarios diversificados va más allá de la mera combinación de actividades productivas; requiere una planificación estratégica que considere el impacto ambiental, la eficiencia en el uso de recursos y la capacidad de adaptación a condiciones cambiantes. [Harrison et al. \(2021\)](#) destacan que estos sistemas ayudan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, protegen la salud del suelo y optimizan el uso de agua y nutrientes. Este enfoque integral es crucial en un contexto de creciente demanda de prácticas sostenibles en la agricultura, donde la producción de alimentos debe equilibrarse con la conservación ambiental ([Riojas-López et al., 2018](#); [Carreño et al., 2019](#)).

El estudio de los agroecosistemas en México, especialmente en prácticas como las silvopastoriles en Chiapas, ofrece información relevante para evaluar los servicios agroecosistémicos y adoptar enfoques que promuevan la gestión sostenible del uso de la tierra ([Marinidou et al., 2017](#)). Evaluar servicios como el secuestro de carbono, la regulación del agua y la conservación de la biodiversidad es fundamental para informar a las partes interesadas sobre la importancia de preservar estos sistemas para un desarrollo sostenible ([Hyland et al., 2018](#)). Este tipo de investigación es clave para optimizar las prácticas de uso de la tierra y promover los servicios agroecosistémicos en beneficio social y ambiental.

De acuerdo con la Secretaría de Economía de México, el sector agropecuario es un pilar fundamental en la economía y el desarrollo social, representando el 4.03% del PIB nacional en 2022 ([SEM, 2024](#)). La producción agrícola y ganadera no solo abastece al mercado interno, sino que también contribuye significativamente a las exportaciones, con un consumo interno de 12.4 millones de litros de leche y 2.1 millones de toneladas anuales de carne. Las principales exportaciones se destinan a Estados Unidos, Canadá y Japón ([Secretaría de Economía de México \[SEM\], 2024](#)). En Chiapas, la diversificación en los ranchos ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar su rentabilidad y sostenibilidad ([Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera \[SIAP\], 2020](#)), involucrando a más de 200,000 ganaderos y agricultores en el estado ([Instituto Nacional de Estadística y Geografía \[INEGI\], 2023](#)).

Los sistemas agropecuarios diversificados también ofrecen beneficios económicos y sociales, especialmente en zonas rurales como Suchiapa, Chiapas, donde la dependencia de la agricultura es alta y los recursos pueden ser limitados. Implementar sistemas integrados permite un uso más efectivo de la mano de obra y promueve la seguridad alimentaria, diversificando las fuentes de ingreso y reduciendo la vulnerabilidad ante factores externos. [Martin et al. \(2020\)](#) sugieren que, en regiones como esta, la adopción de prácticas integradas no solo incrementa la producción, sino que también fortalece la economía local y contribuye al desarrollo rural sostenible. Este estudio se enfoca en analizar la interacción entre los subsistemas productivos en el Rancho Don Jorge, ubicado en Suchiapa, Chiapas, México, que combina actividades agrícolas y ganaderas en una extensión de 18 hectáreas.

La aplicación del análisis factorial multivariado en la producción agropecuaria permite desentrañar relaciones complejas entre múltiples variables, optimizando así la gestión de recursos y mejorando la sostenibilidad en estos sistemas. Este enfoque, empleado en estudios de ganadería y agricultura, es valioso para caracterizar y segmentar distintas prácticas agrícolas. Por ejemplo, [Vázquez-González et al. \(2024\)](#) utilizaron el análisis factorial para tipificar explotaciones lecheras en Cantabria, identificando factores que afectan tanto la productividad como la sostenibilidad. [Kristensen \(2003\)](#) aplicó este método para estudiar cambios en el paisaje y características de granjas en Dinamarca, lo que demuestra su aplicabilidad en la identificación de factores clave en ecosistemas agrícolas complejos.

Además, [Beltrán-Alcrudo et al. \(2018\)](#) emplearon el análisis factorial para comprender la transmisión de enfermedades en el sector porcino, demostrando la versatilidad de esta técnica en distintos contextos agropecuarios. Finalmente, el análisis de componentes principales (PCA) complementa estas metodologías al simplificar los datos, permitiendo que los investigadores se enfoquen en los factores más influyentes, como muestran estudios recientes en sistemas integrados de producción ([Nhan et al., 2007](#)).

El objetivo principal de este estudio es comprender la dinámica y funcionamiento de los subsistemas ganadero y agrícola para optimizar la gestión productiva y uso integral de los recursos.

Materiales y Métodos

Descripción del sitio

El Rancho "Don Jorge," localizado en Suchiapa, Chiapas, México, abarca una superficie de 18 hectáreas y combina actividades agrícolas y ganaderas. La región se caracteriza por un clima tropical, con una temporada de lluvias de junio a septiembre y una temporada seca de octubre a mayo. La altitud promedio es de 600 m sobre el nivel del mar, con una temperatura media anual de 26°C y una precipitación de 1200 mm ([INEGI, 2023](#)).

Trabajo de campo y recolección de datos

La investigación, realizada entre enero de 2023 y enero de 2024, se basa en visitas periódicas y recolección sistemática de datos, integrando el análisis factorial para identificar los factores que influyen en el comportamiento de los subsistemas. Este enfoque no solo permite identificar variables críticas, sino también evaluar su impacto a lo largo del año, proporcionando una visión integral de las dinámicas productivas ([Walters et al., 2016](#)).

La investigación se desarrolló entre enero de 2023 y enero de 2024, con visitas periódicas al rancho para la recolección de datos en los subsistemas bovino y agrícola. Se empleó un diseño de estudio de caso longitudinal que permitió observar variaciones estacionales y su impacto en la eficiencia productiva de los subsistemas.

Los datos fueron recolectados diariamente y luego agrupados de manera quincenal para facilitar el análisis de tendencias y patrones en la gestión productiva. Los datos incluyeron registros detallados tanto del subsistema bovino (producción de leche, peso de becerros, consumo de forraje, costos, entre otros) como del subsistema agrícola (hectáreas sembradas, fertilización, costos de insumos, consumo de combustible, etc.). La agrupación quincenal permitió simplificar la interpretación de datos y reflejar las dinámicas productivas a lo largo del año, manteniendo la precisión en el registro de variables críticas para cada subsistema ([Tabla 1](#)).

Tabla 1. Panel de datos de entrada para los análisis estadísticos del subsistema bovino y agrícola

Variable	Subsistema	Descripción	Unidad de Medida
Producción de leche	Bovino	Volumen de leche producido por vaca durante el periodo de análisis	Litros por vaca (lt/vaca)
Peso promedio de becerros	Bovino	Peso medio de los becerros al nacer y durante la fase de engorde	Kilogramos (kg)
Consumo de forraje	Bovino	Cantidad diaria de forraje consumido por los becerros	Kilogramos diarios (kg/día)
Costo de alimentación	Bovino	Gasto total en alimento concentrado para becerros	Pesos mexicanos (\$)
Eficiencia alimenticia	Bovino	Relación entre el alimento consumido y la producción de leche	Kilogramos por litro de leche (kg/lt)
Animales para venta	Bovino	Número de animales listos para la venta	Número de animales (n)
Días laborados	Agrícola	Cantidad de días trabajados en actividades agrícolas específicas	Días
Actividad realizada	Agrícola	Tipo de actividad agrícola realizada (siembra, cosecha, fertilización, etc.)	Descripción
Hectáreas trabajadas	Agrícola	Superficie empleada para cada actividad agrícola	Hectáreas (ha)
Cantidad de pesticidas	Agrícola	Volumen de pesticidas aplicados por hectárea	Litros por hectárea (lt/ha)
Costos de insumos	Agrícola	Gasto en pesticidas, fertilizantes y semillas	Pesos mexicanos (\$)
Mano de obra	Agrícola	Número de trabajadores y días trabajados en actividades agrícolas	Número de personas y días
Combustible utilizado	Agrícola	Cantidad diaria de combustible usado en maquinaria agrícola	Litros por día (lt/día)
Costo de combustible	Agrícola	Gasto total en combustible utilizado	Pesos mexicanos (\$)

Análisis de los datos

El análisis factorial multivariado y el análisis de componentes principales (PCA) fueron aplicados para identificar y simplificar las variables clave que influyen en los subsistemas bovino y agrícola en el Rancho "Don Jorge". Estos métodos permitieron reducir la complejidad de los datos, destacando los factores más influyentes y proporcionando una visión integral de las dinámicas productivas.

Procedimiento del análisis factorial multivariado

1. **Selección de Variables:** Se incluyeron variables del subsistema bovino (producción de leche, peso de becerros, consumo de forraje, etc.) y del subsistema agrícola (hectáreas trabajadas, consumo de pesticidas, costos de insumos, entre otras).
2. **Prueba de Adecuación de los Datos:** Se verificó la adecuación de los datos mediante el índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett, confirmando que el conjunto de datos era adecuado para un análisis factorial.
3. **Extracción de Factores:** Se utilizó el método de componentes principales para la extracción inicial de factores, seguido de rotación ortogonal (varimax) para maximizar la interpretabilidad de los factores.
4. **Criterios de Retención:** Se retuvieron los factores con valores propios (eigenvalues) mayores a 1, los cuales explicaban una proporción significativa de la varianza total del sistema.

Procedimiento del Análisis de Componentes Principales (ACP)

1. **Estandarización de Datos:** Las variables fueron estandarizadas para evitar sesgos debidos a diferentes escalas de medición.
2. **Cálculo de Componentes Principales:** Los componentes se calcularon extrayendo combinaciones lineales de las variables originales, cada una representando una porción significativa de la varianza total.
3. **Selección de Componentes Significativos:** Se seleccionaron los componentes que explicaban al menos el 70% de la varianza acumulada, lo cual permite una representación simplificada pero robusta de las dinámicas del sistema.
4. **Interpretación y Asignación de Nombres:** A los componentes retenidos se les asignaron nombres descriptivos de acuerdo con las variables que mayor carga tenían en cada uno, facilitando su interpretación en el contexto agropecuario.

Software Empleado

El análisis se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico SPSS y los softwares Statistica (versión 10.0) y Minitab, seleccionados por su capacidad de manejo de datos multivariados. Para garantizar la reproducibilidad, los procedimientos fueron ejecutados según las configuraciones predeterminadas de estos programas, y se incluyeron los valores de corte utilizados (eigenvalue >1, varianza acumulada \geq 70%) para la selección de factores y componentes.

Resultados y discusión

Modelo conceptual del sistema agropecuario estudiado

El modelo conceptual del sistema agropecuario del Rancho "Don Jorge" (véase [Figura 1](#)) ilustra la compleja interdependencia entre los subsistemas agrícola y bovino, en donde los insumos (inputs) fundamentales incluyen semillas, fertilizantes, pesticidas, alimentos balanceados, maquinaria, combustibles, electricidad, recursos naturales y energía. Como resultado de estas entradas, los productos finales (outputs) comprenden toretes, leche, animales a pie y carne, destacando la importancia de una gestión eficiente y sostenible para optimizar la productividad.

La interacción entre estos subsistemas se basa en principios de manejo estacional y adaptativo, donde las actividades agrícolas y ganaderas son ajustadas de acuerdo con las condiciones climáticas y la disponibilidad de recursos. [Gil et al. \(2017\)](#) resaltan que estos sistemas integrados permiten una mayor resiliencia ante variaciones climáticas, ya que la producción agrícola puede adaptarse para satisfacer las necesidades de forraje del ganado en épocas específicas del año. Este enfoque no solo asegura un suministro continuo de alimento, sino que también contribuye a la fertilidad del suelo mediante el uso de residuos de cultivos y el aporte de nutrientes mediante deyecciones a través del pastoreo controlado.

La implementación de un modelo de gestión diversificada permite que los insumos agrícolas se reciclen en el sistema, minimizando el desperdicio y favoreciendo un entorno sostenible. Estudios como los de [Bene et al. \(2022\)](#) y [Dang y Hung \(2022\)](#) demuestran que la rotación y diversificación de cultivos, combinadas con la integración de prácticas ganaderas, incrementan el contenido de nutrientes en el suelo, mejoran su estructura y reducen la erosión. Esta integración es especialmente relevante en el Rancho "Don Jorge," donde las actividades agrícolas y ganaderas están diseñadas para complementarse y fomentar la resiliencia del sistema.

Finalmente, el modelo conceptual también subraya la importancia de la planificación estratégica y la toma de decisiones adaptativa, especialmente en periodos críticos de producción y cosecha. [Pölling y Mergenthaler \(2017\)](#) explican que la planificación adaptativa en sistemas diversificados permite maximizar la eficiencia en el uso de recursos y mejorar la rentabilidad, factores esenciales para la sostenibilidad a largo plazo. Así, el modelo conceptual del Rancho "Don Jorge" se presenta como un enfoque integral y holístico, alineado con los principios de agroecología y manejo sostenible, que permite una gestión eficiente de los recursos naturales y promueve la estabilidad económica del sistema agropecuario.

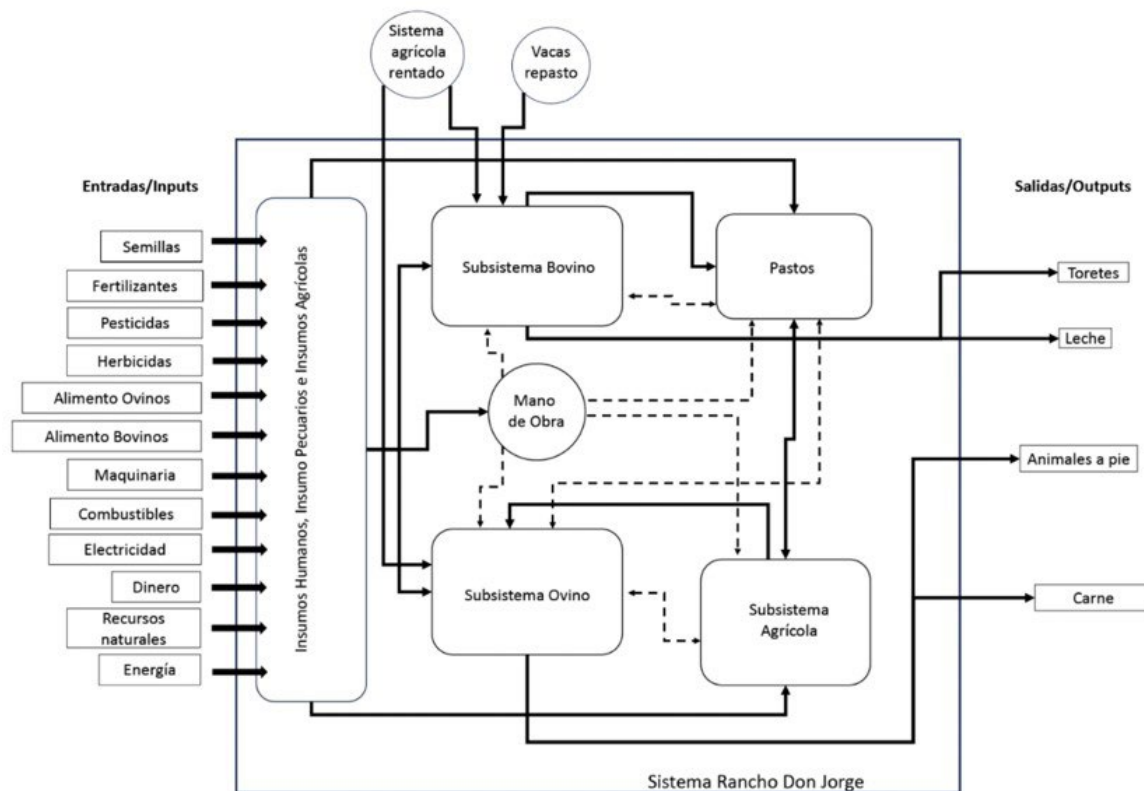


Figura 1. Diagrama o modelo conceptual del sistema de producción agropecuario (Subsistema Productivo ganado y cultivo) del Rancho "Don Jorge".

Resultados del Subsistema Bovino

El análisis factorial aplicado permitió organizar las variables del subsistema bovino en tres componentes clave: Periodo Lechero, Periodo de Engorde y Toma de Decisiones Estratégicas. Este método estadístico facilitó la clasificación de variables en dimensiones que representan fases críticas en la producción y gestión del rancho, optimizando la interpretación de datos y reduciendo la complejidad del sistema. En la Tabla 1 de Cargas de Factores Rotados y Comunalidades del Subsistema Bovino muestra la fuerza de la relación entre cada variable y su componente asociado, y refleja cómo las comunalidades explican la varianza de cada variable en los factores identificados. Este enfoque metodológico es esencial en estudios complejos de sistemas agropecuarios, como también lo destacan [Zanin et al. \(2020\)](#), quienes subrayan la utilidad del análisis factorial para optimizar la gestión y detectar patrones interdependientes en sistemas agrícolas multifacéticos.

Durante el Periodo Lechero, las cargas elevadas en variables relacionadas con la producción diaria de leche y la disponibilidad de forraje fresco resaltan la importancia de estos factores durante la temporada de lluvias. Este periodo maximiza el uso de recursos naturales, lo cual coincide con los hallazgos de [Hyland et al. \(2018\)](#), quienes sugieren que un manejo eficiente del pastoreo incrementa tanto la eficiencia productiva como la sostenibilidad ambiental de los sistemas lecheros. Asimismo, [Cabrera y Fadul-Pacheco \(2021\)](#) enfatizan la relevancia de adaptar la planificación de recursos a los ciclos climáticos, una estrategia que facilita la gestión estacional y la resiliencia productiva en estos sistemas. Además, la Figura 2, que muestra la clasificación de los subsistemas en quincenas, evidencia la agrupación estacional de estos componentes (enero a mayo para el Periodo Lechero), reforzando la importancia de una planificación adaptativa.

En el Periodo de Engorde, el análisis de cargas factoriales en la Tabla 1 revela que las variables relacionadas con el crecimiento y el peso de los becerros son factores clave. Esto subraya la relevancia de un manejo adaptativo en la alimentación durante la temporada seca, cuando se implementan estrategias de suplementación para asegurar la ganancia de peso en el ganado. [Amamou et al. \(2018\)](#) señalan que la diversificación alimentaria y el uso de suplementos son esenciales en sistemas de engorde para mejorar la eficiencia y reducir la dependencia de insumos externos, una estrategia confirmada por [Alary et al. \(2019\)](#), quienes sostienen que una dieta bien balanceada en periodos críticos reduce costos y fomenta la autosuficiencia en sistemas agropecuarios.

El componente de Toma de Decisiones Estratégicas está compuesto por variables de planificación y adaptabilidad, cruciales para ajustar el sistema ante fluctuaciones de mercado y clima. [Thorsøe et al. \(2020\)](#) destacan que la planificación anual sustentada en análisis de datos fortalece la resiliencia de los sistemas agropecuarios, permitiendo una gestión proactiva ante cambios ambientales y de mercado. La clasificación estacional ilustrada en la [Figura 2](#) respalda la toma de decisiones informada, lo que resulta clave para el funcionamiento sostenido de sistemas lecheros. Este enfoque coincide con el análisis de [Niles et al. \(2019\)](#), quienes señalan que el uso de datos y una planificación estratégica robusta son esenciales para una operación estable y resiliente a largo plazo.

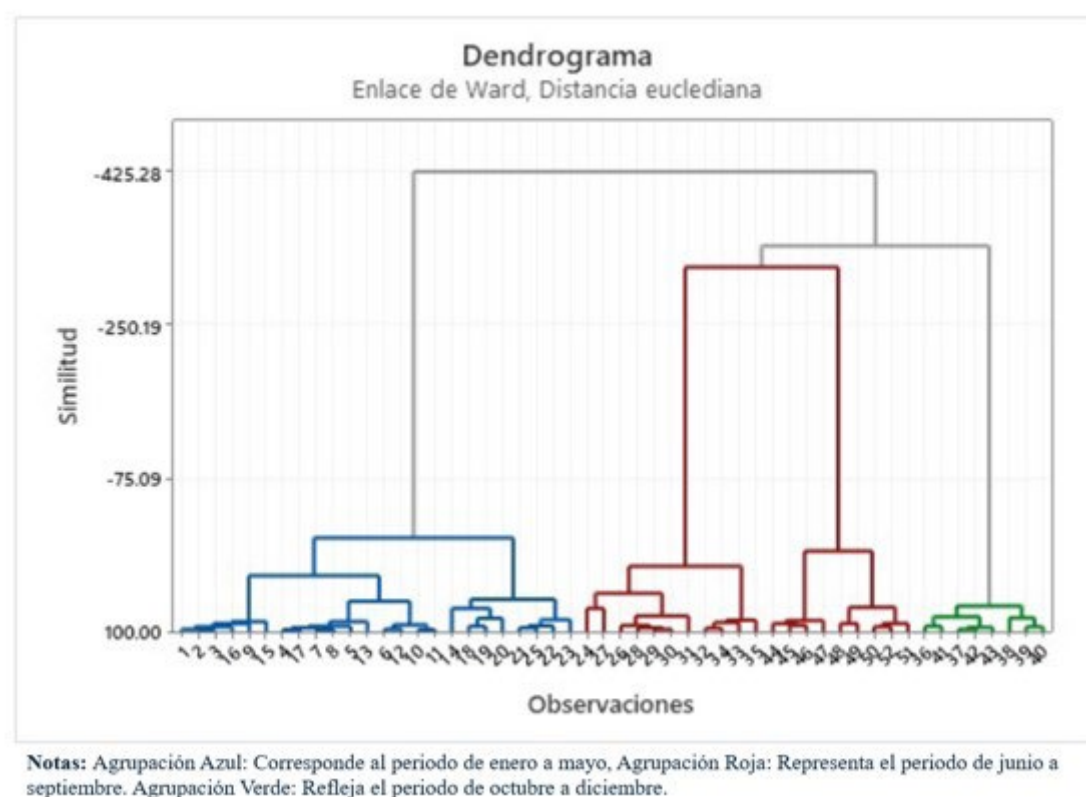


Figura 2. Dendrograma de los componentes a través del año

El análisis estadístico reveló que las actividades en el subsistema bovino se dividen en tres períodos estacionales principales: engorda (enero-mayo), producción lechera (junio-septiembre) y toma de decisiones (octubre-diciembre). Esta segmentación estacional permitió identificar variaciones significativas en el peso, producción de leche y consumo de forraje, lo que subraya la importancia de una gestión diferenciada para cada periodo. Estos cambios estacionales están representados en la [Figura 3](#), la cual resume gráficamente la evolución de los componentes clave del subsistema bovino a lo largo del año. Para profundizar en la comprensión de estas dinámicas, se realizó un análisis factorial multivariado y un análisis de componentes principales (PCA) (véase [Tabla 2](#)).

Tabla 2. Resultados de los análisis estadísticos para los subsistemas bovino y agrícola

Variable Principal	Factor	Varianza Explicada (%)	Componente Principal	Carga Factorial
Producción de leche	Alimentación	35%	Componente 1	0.85
Peso promedio de becerros	Crecimiento y Salud	20%	Componente 2	0.75
Consumo de forraje	Alimentación	15%	Componente 1	0.82
Días laborados (Agrícola)	Actividad Laboral	18%	Componente 3	0.68
Hectáreas trabajadas (Agrícola)	Uso del Terreno	12%	Componente 4	0.72

Período de Enero a Mayo: Período de Engorde

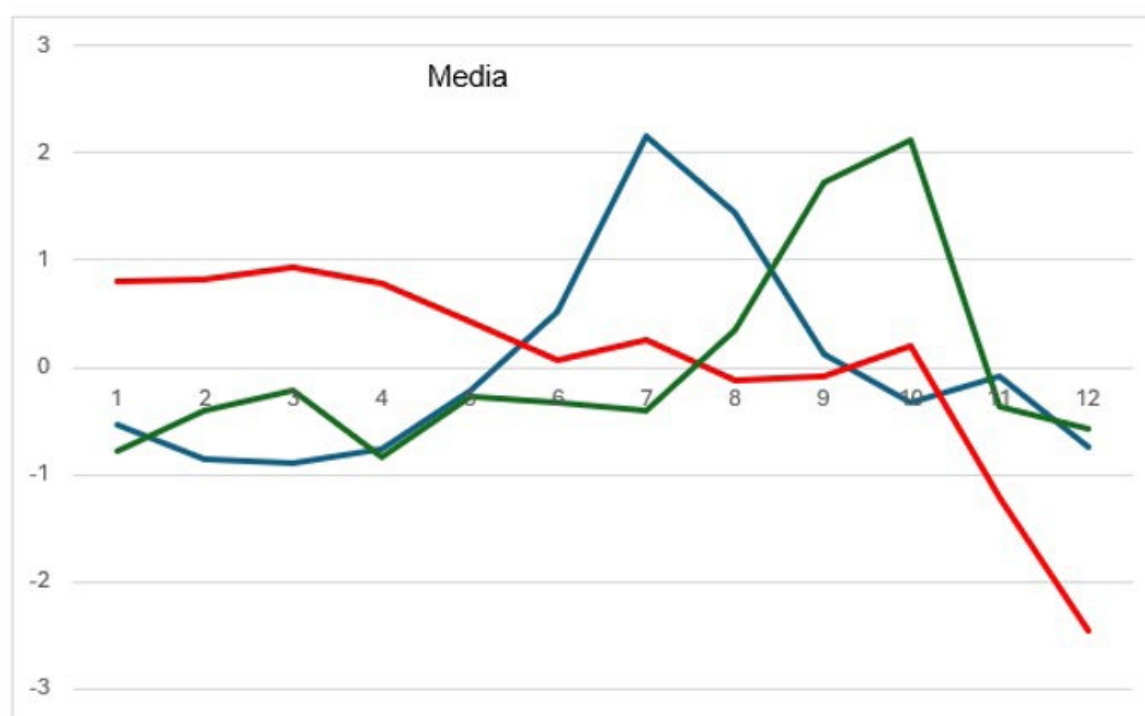
Durante este periodo, la producción de leche es baja, con un promedio de 8 litros por vaca y una desviación estándar de 2 litros, similar a lo reportado por [Ndlovu et al. \(2020\)](#), quienes observaron una relación entre el destete de becerros y la baja producción lechera, apoyando la gestión nutricional en la producción láctea. La media del peso promedio de los becerros de engorde es de 150 kg con una desviación estándar de 10 kg, en línea con estudios sobre la efectividad de la alimentación seca en la fase de engorde ([Amamou et al., 2018](#)). Las condiciones climáticas de esta temporada seca se reflejan en la alta varianza observada en el consumo de forraje y la eficiencia alimenticia para carne, con una media de 0.692 y una varianza de 0.020, lo que indica un crecimiento consistente durante estos meses secos.

Período de Junio a Septiembre: Período Lechero

En este periodo, el Componente Lechero experimenta un aumento significativo debido a los partos programados, lo cual incrementa la producción de leche. La media de producción de leche por vaca es de 15 litros con una desviación estándar de 3 litros, reflejando una alta eficiencia en la producción de leche. Estos resultados coinciden con estudios previos que destacan la importancia de una dieta equilibrada y un manejo adecuado para sostener la productividad lechera ([García-Martínez et al., 2016](#)).

Período de Octubre a Diciembre: Período de Toma de Decisiones

En este periodo, la producción lechera comienza a disminuir lentamente debido a la curva de lactancia natural y al cambio estacional. La media de producción de leche por vaca baja a 10 litros con una desviación estándar de 2 litros. Además, se toman decisiones estratégicas sobre la reconfiguración y valoración del hato, siendo esta fase esencial para evaluar la productividad y gestionar los recursos disponibles. [Lai et al. \(2022\)](#) destacan que este tipo de gestión adaptativa es crucial para mejorar la estabilidad productiva en sistemas con variabilidad climática.



Por medio del análisis de las medias se determinó el comportamiento de los componentes al largo del Año. Azul componente 1 lechero, rojo componente 2 engorda, verde componente 3 toma de decisiones estratégicas.

Figura 3. Cambios estacionales en los componentes del subsistema bovino durante el año.

A diferencia del subsistema bovino, el subsistema agrícola no requirió un análisis factorial multivariado debido a su clara definición de dos periodos de actividad, establecidos según las estaciones del año y los ciclos naturales de lluvia y sequía. Esta organización permite una segmentación sencilla y efectiva de las actividades, optimizando el uso de recursos en cada período sin necesidad de ajustes complejos de gestión. La [Figura 4](#) muestra gráficamente estas temporalidades, destacando los periodos de actividad e inactividad agrícola a lo largo del año. En sistemas agrícolas de este tipo, la división estacional facilita la planificación, ya que permite anticipar la disponibilidad de recursos y optimizar las prácticas agrícolas en función de las condiciones climáticas ([Bene et al., 2022](#)). Esta segmentación estacional, al evitar la dependencia de técnicas de análisis avanzadas, también reduce los costos y la complejidad operativa, lo cual es crucial en sistemas donde la previsibilidad climática define claramente las fases de actividad ([Canalli et al., 2020](#)).

La presencia de un período inactivo, que permite la regeneración natural del suelo, es fundamental para mantener la fertilidad y evitar la degradación, ya que un descanso adecuado del suelo puede mejorar la estructura, retención de nutrientes y capacidad de resiliencia ante periodos de actividad intensiva ([Dang y Hung, 2022](#)). Este enfoque está respaldado por estudios que destacan que los sistemas de rotación y descanso del suelo no solo incrementan la producción a largo plazo, sino que mejoran la eficiencia al reducir la necesidad de fertilizantes y otros insumos externos ([Moldavan, 2024](#)). En conjunto, esta estructuración estacional, basada en los ciclos naturales, maximiza la sostenibilidad y permite un uso más racional de los recursos, alineándose con modelos de producción que buscan minimizar el impacto ambiental al mismo tiempo que se optimiza la productividad.

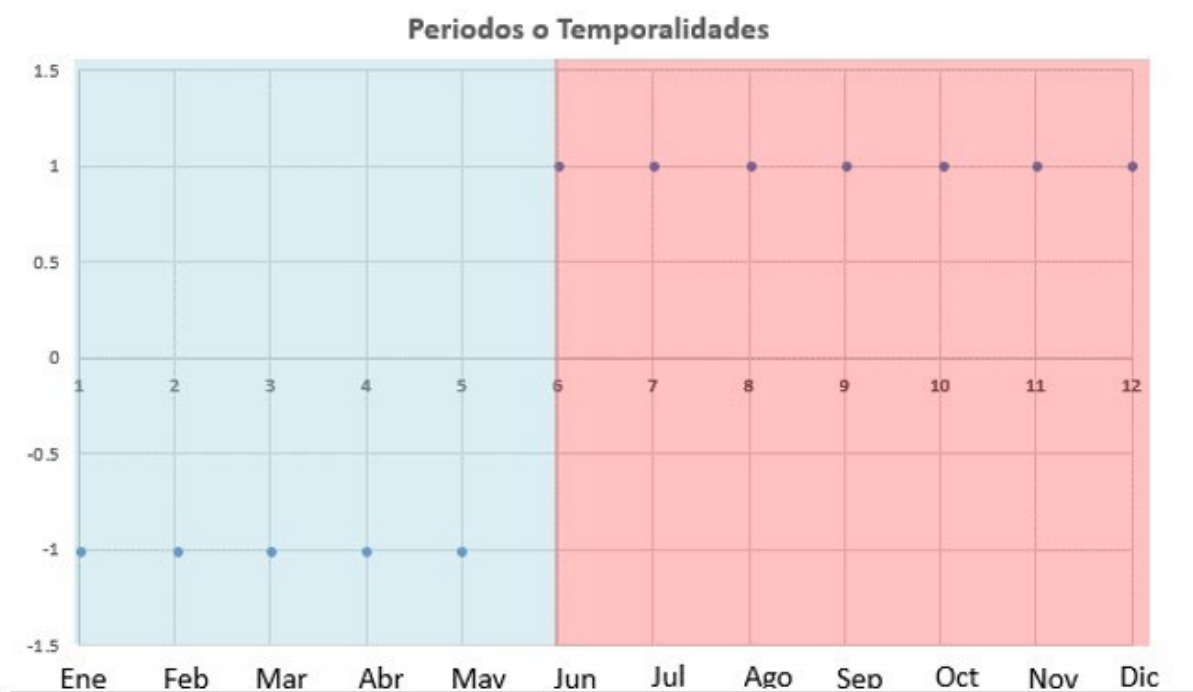


Figura 4. Temporalidades del Subsistema Agrícola

El subsistema agrícola descrito comprende dos períodos principales: un período inactivo de enero a mayo y un período activo de junio a diciembre. Durante el período inactivo, las tierras permanecen en reposo, permitiendo la regeneración del suelo, lo cual es esencial para la preparación previa a la siembra y cosecha. Según investigaciones recientes, esta práctica de descanso mejora la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes, facilitando la siembra en el período activo y aumentando la productividad ([Canalli et al., 2020](#)).

En el período activo, que comienza con la temporada de lluvias en junio, se intensifican las actividades agrícolas. Se preparan los terrenos, se aplican fertilizantes y se siembran semillas, maximizando la producción de cultivos. Este sistema de integración agrícola conlleva numerosos beneficios para la fertilidad del suelo, especialmente cuando se incluye pastura en rotación después de las lluvias. [Bene et al. \(2022\)](#) destacan que esta diversidad de cultivos no solo mejora la productividad general, sino que reduce la necesidad de insumos externos, incrementando la sostenibilidad del sistema. Además, la inclusión de pasturas como parte del ciclo contribuye al enriquecimiento del suelo al permitir que el ganado consuma residuos y aporte materia orgánica mediante sus desechos ([Dang y Hung, 2022](#)).

Estudios indican que la rotación y diversificación de cultivos incrementan el carbono orgánico y mejoran los nutrientes esenciales en el suelo, lo que a su vez potencia la sostenibilidad y resiliencia del sistema agrícola a largo plazo ([Moldavan, 2024](#)). Esta estrategia es crucial no solo para mejorar la calidad del suelo sino para enfrentar la variabilidad climática y garantizar la estabilidad del sistema ([Fonseca et al., 2017](#)).

El resultado de la cosecha se divide en sorgo en silo y pastura molida para la alimentación de ganado bovino, y en maíz molido y pastura seca para las vacas lecheras, garantizando una dieta equilibrada y maximizando la producción de leche ([Hernández et al., 2018](#)). Estudios de [Delbianco y Tarayre \(2015\)](#) subrayan que esta producción de cultivos contribuye a la economía local y nacional, ya que la agricultura sustentable aumenta la seguridad alimentaria y potencia el crecimiento económico en la región.

Los resultados muestran una media de biomasa de 3.43 t por hectárea, con variabilidad en la eficiencia y productividad agrícola según el uso de fertilizantes, mano de obra y consumo de combustible. Esta variabilidad sugiere que la optimización de recursos es clave para maximizar la rentabilidad. El análisis de [Flores et al. \(2020\)](#) en cultivos de maíz sugiere que la eficiencia de producción está directamente relacionada con el uso de prácticas sostenibles que minimicen los costos y maximicen la producción. Además, en Michoacán, [Allaica et al. \(2020\)](#) resaltan que analizar los costos de producción permite una gestión más precisa y rentable, lo cual es fundamental para la viabilidad económica a largo plazo.

En el Rancho "Don Jorge," la producción agrícola se ha convertido en un pilar que apoya al subsistema bovino, evidenciando una interdependencia que fortalece la resiliencia y eficiencia general del sistema. Esta interrelación es vital para responder a variaciones climáticas y asegurar la disponibilidad de recursos en todas las estaciones ([Gil et al., 2017](#)). La resiliencia del sistema radica en su capacidad para adaptarse a la estacionalidad y mantener altos niveles de productividad en ambos subsistemas, lo cual coincide con las reflexiones de [Gingrich et al. \(2024\)](#) sobre la agroecología como base para lograr autonomía y seguridad alimentaria ante el cambio climático.

Conclusiones

El análisis del subsistema bovino y agrícola en el Rancho "Don Jorge" resalta la importancia de una gestión adaptativa y estacional para optimizar la eficiencia productiva y reducir costos operativos. Ajustar las estrategias de manejo según las variaciones estacionales impacta directamente en variables críticas de producción y productividad de los agroecosistemas a lo largo del año.

La planificación y la gestión eficiente de los recursos son fundamentales para asegurar la sostenibilidad y rentabilidad de los sistemas productivos agropecuarios. Los resultados sugieren que la adopción de prácticas adaptativas y diversificadas mejora la eficiencia operativa, contribuye a la estabilidad económica y la conservación de los recursos naturales y promueve un desarrollo rural más equilibrado.

El análisis del subsistema bovino subraya la necesidad de optimizar las estrategias de alimentación para mejorar la producción de carne. En el subsistema agrícola, la variabilidad en la producción de biomasa y el uso intensivo de fertilizantes durante el periodo activo requieren ajustar las estrategias de manejo agrícola para mantener una rentabilidad. En el subsistema agrícola, la planificación del ciclo de cultivo y descanso del suelo maximiza la producción de biomasa y la fertilidad, reduciendo la dependencia de insumos externos. La interacción de ambos subsistemas asegura un suministro continuo de forraje para el ganado y enriquece el suelo mediante el uso de deyecciones en pastoreo controlado. Estos hallazgos subrayan la importancia de estrategias de manejo integradas y sostenibles, que fortalezcan la resiliencia del sistema frente a variaciones climáticas y aporten una base sólida para futuras investigaciones en agroecosistemas diversificados de la región. La interacción de ambos subsistemas asegura un suministro continuo de forraje para el ganado y enriquece el suelo mediante el uso de deyecciones en pastoreo controlado. Estos hallazgos subrayan la importancia de estrategias de manejo integradas y sostenibles, que fortalezcan la resiliencia del sistema frente a variaciones climáticas y aporten una base sólida para futuras investigaciones en agroecosistemas diversificados de la región.

Agradecimientos

Agradecemos a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo brindado mediante la beca otorgada al primer autor para realizar sus estudios de posgrado en el programa DOCAS de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento al Rancho "Don Jorge" por su colaboración y disposición para llevar a cabo el trabajo de campo en sus instalaciones.

Declaraciones

Fondos: Este estudio fue financiado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) a través de la beca otorgada al primer autor para realizar estudios de posgrado en el programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sostenibilidad (DOCAS) de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH).

Conflicto de intereses: Los autores declaran que No se revelaron intereses contrapuestos o declaran que no tienen conflictos de intereses.

Cumplimiento de estándares éticos: No se realizó ningún experimento con animales o personas. Los autores también certifican que han cumplido con todos los estándares éticos pertinentes en la realización de esta investigación.

Disponibilidad de datos: Los conjuntos de datos analizados en el presente estudio pertenecen al sistema productivo del Rancho "Don Jorge" y no son de acceso público. Sin embargo, están disponibles a través del autor correspondiente previa solicitud razonable.

Consentimiento para participar: Los autores aseguran que se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes involucrados en este estudio, en cumplimiento con las normativas éticas vigentes.

Consentimiento para publicar: M. H. A. Recolección y análisis de datos, Redacción original, Visualización. F. G. H. Conceptualización, Dirección del proyecto, Supervisión general, Revisión y edición final. M. O. A. Apoyo en análisis estadístico, Visualización de datos, Revisión técnica del manuscrito. J. N. J. Supervisión, Validación de resultados, Revisión y edición

Referencias bibliográficas

- Alary, V., Moulin, C. H., Lasseur, J., y Aboul-Naga, A. (2019). The dynamic of crop-livestock systems in the Mediterranean and future prospective at local level: A comparative analysis for South and North Mediterranean systems. *Livestock Science*, 227, 44-53. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.06.004>
- Allaica, C. A. M., Allaica, J. C. M., Medina, P. M. P., y Parra, S. V. O. (2020). Los costos de producción y su incidencia en la rentabilidad de una empresa avícola integrada del Ecuador: caso de estudio. *Visionario Digital*, 4(1), 43-66. <https://doi.org/10.33262/visionariodigital.v4i1.1089>
- Amamou, H., Andueza, D., y Marie, A. (2018). Diversificación alimentaria y ganancia de peso. *Animal Science Journal*, 89(1), 45-52. <https://doi.org/10.1111/asj.12910>
- Beltrán-Alcrudo, D., Kukiella, E. A., de Groot, N., y Dietze, K. (2018). Descriptive and multivariate analysis of the pig sector in Georgia and its implications for disease transmission. *PLoS One*. <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0202800>
- Bene, C., Gómez-López, M. D., Francaviglia, R., Farina, R., Blasi, E., Martínez-Granados, D., Calatrava, J. (2022). Barriers and opportunities for sustainable farming practices and crop diversification strategies in Mediterranean cereal-based systems. *Frontiers in Environmental Science*, 10, Article 861225. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.861225>
- Cabrera, V. E., y Fadul-Pacheco, L. (2021). Manejo estacional en sistemas lecheros. *Journal of Dairy Science*, 104(9), 9785-9793. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21013>
- Canalli, L., Costa, G., Volsi, B., Leocádio, A., Neves, C., y Telles, T. (2020). Production and profitability of crop rotation systems in southern Brazil. *Semina Ciências Agrárias*, 41 (6), 2541-2541. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n6p2541>
- Carreño, Nelson Enrique Fonseca, Merchán, Juan David Salamanca, y Baquero, Zulma Yesenia Vega. (2019). La agricultura familiar agroecológica, una estrategia de desarrollo rural incluyente. *Una revisión. Temas Agrarios*, 24(2), 96-107. <https://doi.org/10.21897/rta.v24i2.1356>
- Casanova Lugo, F., Ramírez Avilés, L., Parsons, D., Caamal Maldonado, A., Piñeiro Vázquez, A. T., y Díaz Echeverría, V. (2016). Environmental services from tropical agroforestry systems. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(3), 269-284. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.06.029> sciencedirect.com+8redalyc.org+8
- Casanova Villalba, C. I., Núñez Liberio, R. V., Navarrete Zambrano, C. M., y Proaño González, E. A. (2021). Gestión y costos de producción: Balances y perspectivas. *Revista De Ciencias Sociales*, 27 (1), 302-314. <https://doi.org/10.31876/res.v27i1.35315>
- Coeto, A. C., Castillo, Y. B. V., y Sánchez, J. A. C. (2019). Resiliencia y sostenibilidad de agroecosistemas tradicionales de México: totonacapan. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 10(1), 165-175. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1789>
- Dang, L., y Hung, N. (2022). Effects of crop rotation on maize soil fertility in alluvial soil. *Iop Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1012 (1), 012039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1012/1/012039>
- Delbianco, F., y Tarayre, C. (2015). Agricultura, crecimiento y política económica: evidencia del caso argentino 1895-2009. *Revista De Economía Y Estadística*, 53 (1), 95-128. <https://doi.org/10.55444/2451.7321.2015.v53.n1.16413>
- Flores, S., Hernández, L. G. G., Almeraya-Quintero, S. X., Pérez-Hernández, L. M., y Sangermán-Jarquín, D. M. (2020). Evaluación de la sustentabilidad del cultivo de maíz en Villaflores y La Trinitaria, Chiapas. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 11 (7), 1565-1578. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2673>
- Fonseca, A. C., Rojas, C., y Murillo, S. M. (2017). Distribución potencial de tres cultivos agrícolas en Costa Rica bajo escenarios de cambio climático: implicaciones de manejo agroforestal y desarrollo socioeconómico. *Revista Ingeniería*, 27 (2), artículo 56. <https://doi.org/10.15517/ri.v27i2.26444>
- García-Martínez, A., Rivas-Rangel, J., Rangel-Quintos, J., Espinosa, J., y Heredero, C. (2016). A methodological approach to evaluate livestock innovations on small-scale farms in developing countries. *Future Internet*, 8 (4), artículo 25. <https://doi.org/10.3390/fi8020025>
- Garrett, R. D., Ryschawy, J., Bell, L. W., Cortner, O., Niles, M. T. (2020). Drivers of decoupling and recoupling of crop and livestock systems at farm and territorial scales. *Ecology and Society*, 25(2). <https://doi.org/10.5751/ES-11412-250209>

- Gil, J., Cohn, A., Duncan, J., Newton, P. W., y Vermeulen, S. J. (2017). The resilience of integrated agricultural systems to climate change. *WIREs Climate Change*, 8(4), article e461. <https://doi.org/10.1002/wcc.461>.
- Gingrich, S., Theurl, M., Erb, K.-H., Le Noë, J., Magerl, A., Bauernschuster, S., Krausmann, F., y Lauk, C. (2024). Livestock increasingly drove global agricultural emissions growth from 1910–2015. *Environmental Research Letters*, 19(2), article 024011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad1cb6>
- Harrison, M. T., Cullen, B. R., y Mayberry, D. E. (2021). Carbon myopia: The urgent need for integrated social, economic and environmental action in the livestock sector. *Global Change Biology*, 27(3), 1-19. <https://doi.org/10.1111/gcb.15816>
- Hernández, José G., Leyva-Morales, José B., Rodríguez, Irma E. M., Hernández-Ochoa, María I., Madrid, María L. A., García, Ana E., Betancourt-Lozano, Martha, Pérez-Herrera, Norma E., y Perera-Ríos, José H. (2018). Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(esp01), 29–60. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.esp01.03>
- Hyland, J. J., Heanue, K., McKillop, J., y Micha, E. (2018). Factors influencing dairy farmers' adoption of best management grazing practices. *Land Use Policy*, 71, 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.011>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). Municipio Suchiapa. Org.mx. <https://www.inegi.org.mx/temas/suchiapa/>
- Kristensen, S. P. (2003). Multivariate analysis of landscape changes and farm characteristics in a study area in central Jutland, Denmark. *Ecological Modelling*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380003001431>
- Lai, Z., Lin, L., Zhang, J., y Mao, S. (2022). Effects of high-grain diet feeding on mucosa-associated bacterial community and gene expression of tight junction proteins and inflammatory cytokines in the small intestine of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 105(8), 6601-6615. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21355>
- Marinidou, E., Jiménez-Ferrer, G., Pinto, L. S., Ferguson, B. G., y Saldívar-Moreno, A. (2017). Agro-ecosystem services assessment of silvopastoral experiences in Chiapas, Mexico: towards a methodological proposal. *Experimental Agriculture*, 55 (1), 21-37. <https://doi.org/10.1017/s0014479717000539>
- Martin, G., Barth, K., Benoit, M., Brock, C., y Destruel, M. (2020). Potential of multi-species livestock farming to improve the sustainability of livestock farms: A review. *Agricultural Systems*, article 182. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102846>
- Moldavan, L. (2024). Crop rotation management in the context of sustainable development of agriculture in Ukraine. *Agriculture*, 14 (6), article 934. <https://doi.org/10.3390/agriculture14060934>
- Ndlovu, E., Prinsloo, B., y Roux, T. (2020). Impact of climate change and variability on traditional farming systems: farmers' perceptions from south-west, semi-arid Zimbabwe. *Jambá Journal of Disaster Risk Studies*, 12 (1), article a742. <https://doi.org/10.4102/jamba.v12i1.742>
- Nhan, D. K., Phong, L. T., Verdegem, M. J. C., y Duong, L. T. (2007). Integrated freshwater aquaculture, crop and livestock production in the Mekong delta, Vietnam: Determinants and the role of the pond. *Agricultural Systems*. https://www.academia.edu/download/41652699/Integrated_freshwater_aquaculture_crop_a20160127-28371-sukfps.pdf.
- Niles, M. T., Horner, C., y Chintala, R. (2019). Determinants for dairy farmer decision making on manure management strategies in high-income countries. *Environmental Research Letters*, 14(7), article 074012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab1059>
- Pölling, B., y Mergenthaler, M. (2017). The location matters: Determinants for “deepening” and “broadening” diversification strategies in Ruhr Metropolis' urban farming. *Sustainability*, 9(7), Article 1168. <https://doi.org/10.3390/su9071168>
- Riojas-López, M. E., Mellink, E., y Luévano, J. (2018). A semiarid fruit agroecosystem as a conservation-friendly option for small mammals in an anthropized landscape in Mexico. *Ecological Applications*, 28 (2), 495-507. <https://doi.org/10.1002/eap.1663>
- Rodríguez-Huerta, F. A., García, J. E., Angel-García, O., Contreras, V., Mellado, J., y Mellado, M. (2024). Pregnancy rate and number of fetuses of white-tailed deer related to body measurements and serum metabolites. *Acta Biológica Colombiana*, 29 (1), 86-92. <https://doi.org/10.15446/abc.v29n1.104978>
- Secretaría de Economía de México. (2024). Producción animal y acuicultura. DataMexico. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/industry/animal-production-and-aquaculture>.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020). Datos Abiertos. Estadística de Producción Agrícola. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>.

- Thorsøe, M., Noe, E., Maye, D., Vigani, M., Kirwan, J., Chiswell, H., Grivins, M., Adamsone Fiskovica, A., Tisenkopfs, T., Tsakalou, E., Aubert, P. M., y Loveluck, W. (2020). Responding to change: Farming system resilience in a liberalized and volatile European dairy market. *Land Use Policy*, 99, Article 105029. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105029>
- Vázquez González, I., García Suárez, E., Ruiz Escudero, F., y García Arias, A. I. (2024). A combined multivariate statistical analysis to establish dairy farm typologies in Cantabria. *Computers and Electronics in Agriculture*, 221, Article 109007. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109007>
- Walters, J. P., Archer, D. W., y Sassenrath, G. F. (2016). Exploring agricultural production systems and their fundamental components with system dynamics modelling. *Ecological Modelling*, 333, 51-63. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.04.003>.
- Zanin, A., Dal Magro, C. B., Kleinibing Bugalho, D., Morlin, F., Afonso, P., y Sztando, A. (2020). Driving sustainability in dairy farming from a TBL perspective: Insights from a case study in the West region of Santa Catarina, Brazil. *Sustainability*, 12(15), Article 6038. <https://doi.org/10.3390/su12156038>