



VARIABILIDAD METEOROLÓGICA Y SU IMPACTO EN LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA EN PASTAZA (2011–2021)

METEOROLOGICAL VARIABILITY AND ITS IMPACT ON AGRICULTURAL ACTIVITIES IN THE ECUADORIAN AMAZON IN PASTAZA (2011–2021)

Brigitte Leiva-Zuñiga , Julia Maza-Valladolid  y Reni Vinocunga-Pillajo * 

Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Estatal Amazónica, 160101, Puyo, Ecuador. [<https://ror.org/029ss0s83>]

*Autor para correspondencia: rd.vinocungap@uea.edu.ec

Manuscrito recibido el 11 de abril de 2025. Aceptado, tras revisión el 09 de diciembre de 2025. Publicado el 1 de marzo de 2026.

Resumen

Las variaciones en las condiciones climáticas del cantón Pastaza han generado efectos significativos en la productividad agrícola y ganadera, comprometiendo la seguridad alimentaria local. El propósito del estudio es analizar cómo las variables climáticas influyen sobre los principales cultivos y la producción pecuaria entre 2011 y 2021. Se aplicó una metodología de tipo aplicada, con diseño no experimental, nivel descriptivo-correlacional y enfoque transversal. Los datos se obtuvieron de registros meteorológicos del INAMHI y del Sistema de Información Pública Agropecuaria, considerando variables como temperatura media, precipitación total, humedad relativa y evaporación potencial. Los resultados revelaron temperaturas promedio mensuales entre 20,63 °C y 22,06 °C, adecuadas para el plátano y la yuca, pero inferiores al rango óptimo del cacao. La precipitación alcanzó 508,70 mm en mayo, generando encharcamiento en café y caña de azúcar, mientras que en septiembre (285,35 mm) se observó déficit hídrico. Los niveles de humedad relativa (85,00%–89,36%) incrementaron la incidencia de enfermedades fúngicas y los costos de manejo, mientras que la evaporación potencial (54,16 mm–89,57 mm) redujo la humedad del suelo, afectando cultivos como la piña. En la ganadería, los meses de junio y julio presentaron condiciones térmicas favorables y evaporación equilibrada, manteniendo la disponibilidad de pastos. Se concluye que el plátano y la yuca mostraron mayor adaptación a la variabilidad climática, mientras el cacao, café, caña de azúcar y piña evidenciaron reducciones en productividad asociadas a lluvias irregulares y humedad elevada.

Palabras clave: Evaporación, ganadería, humedad, precipitación, resiliencia.

Abstract

The climatic variability observed in Pastaza Canton has significantly affected agricultural and livestock productivity, compromising local food security. This study aims to analyze how climatic variables influence the main crops and livestock production between 2011 and 2021. An applied, non-experimental, descriptive-correlational, and cross-sectional methodology was used. Data were obtained from INAMHI meteorological records and the Public Agricultural Information System, considering variables such as mean temperature, total precipitation, relative humidity, and potential evaporation. Results showed that average monthly temperatures (20.63 °C–22.06 °C) were favorable for banana and cassava but below the optimal range for cocoa. Total precipitation reached 508.70 mm in May, causing waterlogging in coffee and sugarcane crops, whereas September (285.35 mm) showed water deficits. Relative humidity levels (85.00%–89.36%) increased fungal disease incidence and management costs, while potential evaporation (54.16 mm–89.57 mm) reduced soil moisture, affecting pineapple crops. In livestock systems, June and July presented favorable thermal conditions, and balanced evaporation in February maintained adequate pasture availability. Overall, banana and cassava exhibited greater adaptation to climatic variability, while cocoa, coffee, sugarcane, and pineapple showed productivity reductions associated with irregular rainfall and high humidity.

Keywords: Evaporation, livestock, humidity, precipitation, resilience.

Forma sugerida de citar: Leiva-Zuñiga, B., Maza-Valladolid, J. y Vinocunga-Pillajo, R. (2026). Variabilidad meteorológica y su impacto en las actividades agropecuarias de la Amazonía ecuatoriana en Pastaza (2011–2021). *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 43(1):100-116. <https://doi.org/10.17163/lgr.n43.2026.05>.

Orcid IDs:

Brigitte Thalia Leiva Zuñiga: <https://orcid.org/0009-0009-6388-8653>
Julia Maritza Maza Valladolid : <https://orcid.org/0009-0002-2298-3119>
Reni Danilo Vinocunga-Pillajo : <https://orcid.org/0000-0001-6698-7846>

1 Introducción

Según la Organización Meteorológica Mundial, el clima se define como el promedio y la variabilidad de variables meteorológicas como la temperatura, las precipitaciones y el viento en una región específica durante un período de 30 años (Rosvold, 2021). A nivel global, las condiciones meteorológicas han mostrado fluctuaciones significativas con un aumento de 0,74 °C en la temperatura media global durante el último siglo (Shah y cols., 2019). Estas variaciones han generado impactos relevantes en la agricultura, donde la sequía representa más del 80% del total de daños y pérdidas en el sector agropecuario, afectando particularmente los subsectores de producción de ganado y cultivos (Hernández y cols., 2018).

A nivel regional, las fluctuaciones meteorológicas han causado una disminución entre el 20% y el 40% en los rendimientos de cereales y leguminosas debido al estrés hídrico, mientras que cultivos como el arroz han sufrido pérdidas de hasta el 92% en condiciones extremas de sequía (Kumar y cols., 2022; Lal, 2021). En Colombia, las condiciones ambientales entre 2010 y 2011 generaron la pérdida de 1.000.000 de hectáreas de cultivos con un impacto económico total en el sector agropecuario valorado en \$759,893 millones, incluyendo la muerte de 160,965 animales de producción (Arteaga y Burbano, 2018).

Ecuador, conocido por su diversidad climática y productiva, enfrenta desafíos cada vez mayores en el sector agropecuario debido a la variabilidad y los cambios en las condiciones meteorológicas (García-Rengifo y Durán-Ballén, 2023). Según Vásquez-Dávila y Bravo-Benavides (2023), la relación entre la temperatura, precipitación y producción agrícola es significativa respecto a los impactos a largo plazo si estas variables superan los niveles óptimos.

En el caso del cantón Pastaza, que depende ampliamente de actividades agropecuarias, la variación climática ha provocado fluctuaciones en los rendimientos agrícolas, afectando la productividad y la sostenibilidad económica de las comunidades rurales. Por lo tanto, es necesario identificar, analizar y comprender las variables climáticas para predecir cómo han evolucionado las condiciones meteorológicas (Singh y cols., 2023). Esto permitirá

proponer medidas de adaptación específicas, esenciales para mitigar los impactos negativos en las actividades agropecuarias. Además, es necesario en la actualidad diseñar estrategias que fortalezcan la resiliencia agropecuaria y aseguren la sostenibilidad económica y alimentaria (Sgroi, 2023).

Los productores agropecuarios del cantón Pastaza serán los principales beneficiarios del estudio sobre la variación de las condiciones meteorológicas y su impacto en las actividades agropecuarias, por lo que contar con información precisa les permitirá ajustar sus prácticas de manejo en función de las condiciones climáticas, optimizando así sus procesos productivos. De igual manera, las instituciones gubernamentales y académicas podrán utilizar esta información para planificar y tomar decisiones estratégicas en el ámbito agroambiental, facilitando el diseño de estrategias de adaptación y mitigación frente a los cambios climáticos.

El principal problema identificado radica en la falta de datos precisos sobre las variaciones climáticas, lo que dificulta la gestión eficiente de las actividades agropecuarias en la provincia de Pastaza. Las alteraciones en las precipitaciones y el incremento de la temperatura han afectado cultivos esenciales como la caña de azúcar, que es una fuente relevante de ingresos locales (Valle y cols., 2021). De igual forma, la disminución en la disponibilidad de pastos ha impactado negativamente en la producción ganadera, especialmente en la lechera (Mosquera Ponce y cols., 2024). Según Bilali y cols. (2020), estas variaciones climáticas modifican los ciclos productivos, elevan los costos de producción y reducen los rendimientos, lo que compromete la seguridad alimentaria y la estabilidad económica de los pequeños productores.

Estudios previos sobre la temática permiten identificar a autores como Pujahari y cols. (2022), quienes aplicaron previsiones meteorológicas junto con tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), redes de sensores inalámbricos y aprendizaje automático, permitiendo a los agricultores optimizar el riego, la fertilización y el control de plagas. Mientras, Gowtham y cols. (2018) respaldaron las predicciones meteorológicas con modelos avanzados como el Sistema de Soporte para la Transferencia de Agrotecnología (DSSAT), contribuyendo a una planificación agropecuaria más eficiente y adaptativa.

Por su parte, Ordoñez y cols. (2022) desarrollaron modelos agroclimáticos combinados con pronósticos estacionales, logrando una precisión del 80% en la predicción de rendimientos y reduciendo el riesgo climático para los agricultores, lo que a su vez mejoró la productividad.

Atendiendo las premisas anteriores, el objetivo del presente trabajo es estudiar la variación de las condiciones meteorológicas y su impacto en las actividades agropecuarias en el cantón Pastaza durante el período 2011–2021.

2 Materiales y Métodos

La metodología se desarrolló de forma secuencial, iniciando con la delimitación del área de estudio, la definición del tipo de investigación, la determi-

nación del período de estudio, muestra y fuente de datos, seguida del procesamiento junto con el análisis estadístico. Este orden metodológico garantiza la replicabilidad del procedimiento y la verificación de los resultados obtenidos.

2.1 Localización

El presente estudio se realizó en el cantón Pastaza en las instalaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Este cantón pertenece a la provincia Pastaza, que abarca una extensión de 29.643,33 km² y limita al norte con las provincias de Napo y Orellana, al sur con Morona Santiago, al este con la República del Perú y al oeste con Tungurahua (Gobierno Provincial de Pastaza, 2020). Esta provincia se caracteriza por un clima tropical húmedo que favorece las actividades agropecuarias y su análisis en relación con las variables climáticas (Figura 1).

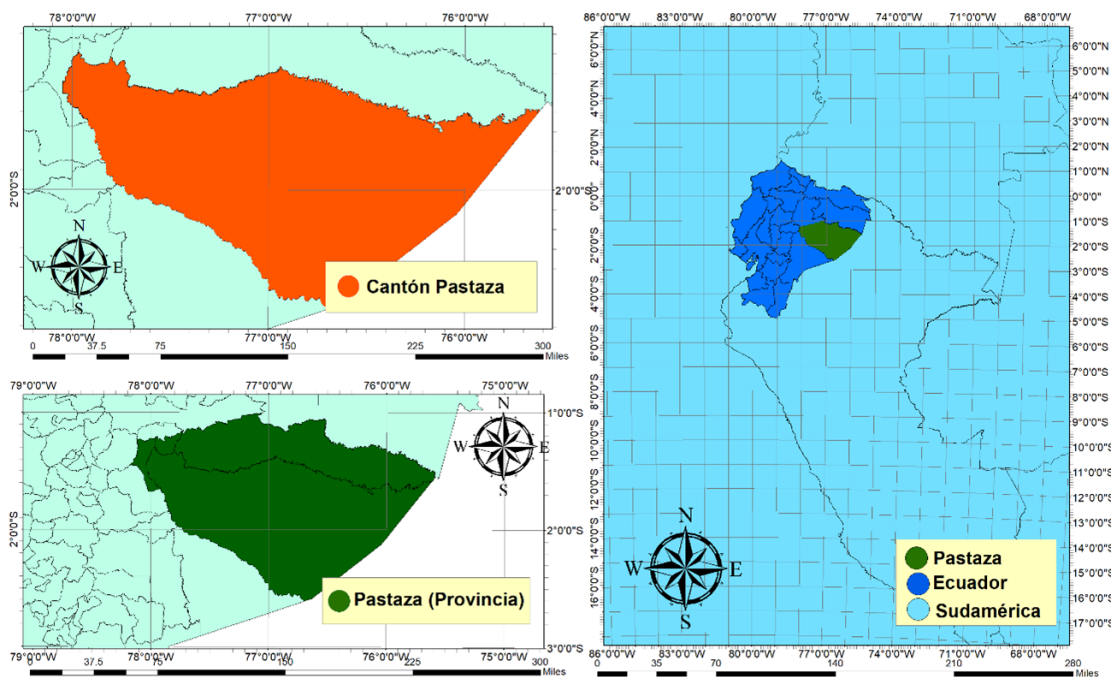


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.

2.2 Tipo de investigación

El estudio adoptó un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, de nivel descriptivo-correlacional y transversal, que permitió examinar

las variables climáticas del cantón Pastaza durante el período de análisis (Cvetkovic-Vega y cols., 2021). Este diseño permitió analizar y describir las variables climáticas del cantón Pastaza durante el período de estudio.

2.3 Período de estudio, muestra y fuente de datos

El análisis se fundamentó en los registros comprendidos entre los años 2011 y 2021, correspondientes al último período disponible en los archivos del INAMHI. Este intervalo temporal permitió identificar las variaciones interanuales en las condiciones climáticas y su relación con las actividades agropecuarias del cantón Pastaza.

La información se obtuvo de la estación meteorológica "Pastaza" (INAMHI), ubicada a 1.060 m.s.n.m, seleccionada por la continuidad y confiabilidad de sus registros, así como por su representatividad respecto al comportamiento agroclimático local. Al tratarse de una estación sinóptica acreditada, sus mediciones de temperatura, precipitación, humedad relativa y evaporación potencial cumplen con los estándares técnicos de precisión establecidos por la World Meteorological Organization (2021).

Se aplicaron procedimientos de control de calidad siguiendo las recomendaciones de la World Meteorological Organization (2010), que incluyen la revisión de coherencia interna, la detección de valores extremos mediante límites climatológicos y la comparación cruzada con estaciones cercanas y promedios históricos. Los registros inconsistentes fueron verificados y corregidos o, en su defecto, excluidos del análisis para garantizar la integridad de las series temporales.

2.4 Variables analizadas

El análisis de las variables se desarrolló considerando los aspectos climáticos y agropecuarios vinculados con las actividades productivas en el cantón Pastaza. En el ámbito agropecuario, se incluyeron variables como la superficie plantada (ha), superficie cosechada (ha), producción (t) y rendimiento (t/ha) de los cultivos, así como la población total de ganado, considerando las categorías de vacuno, porcino, ovino, caballar y mular. Estas variables permiten comprender el nivel productivo, el desempeño agrícola y pecuario en la zona de estudio, lo cual resulta esencial para establecer su relación con las variables climáticas.

La temperatura media mensual influye en el desarrollo fisiológico de los cultivos, ya que cada especie requiere un rango térmico adecuado para su crecimiento. Además, la temperatura impacta en el confort térmico del ganado, donde variaciones extremas pueden provocar estrés y reducir la productividad (González Osorio y cols., 2020).

La precipitación total mensual determina la disponibilidad de agua para los cultivos y forrajes, siendo necesaria para garantizar un desarrollo adecuado. Un déficit hídrico limita el crecimiento y la calidad de los productos, mientras que el exceso puede generar problemas de encharcamiento y enfermedades (Paliz y cols., 2021).

La humedad relativa media mensual propicia la aparición de enfermedades fitosanitarias. Los elevados niveles de humedad favorecen el desarrollo de hongos y bacterias, reduciendo la calidad de la producción agrícola (Pozo-Santiago y cols., 2020).

La evaporación potencial media mensual influye directamente en la demanda de agua para riego, ya que en períodos de alta evaporación se requiere un mayor suministro hídrico para prevenir el estrés en los cultivos y garantizar su desarrollo óptimo (Monterroso-Rivas y Gómez-Díaz, 2021).

2.5 Procesamiento de datos

El procesamiento incluyó medidas de dispersión y coeficiente de variación, con el propósito de cuantificar la variabilidad interanual. El análisis estadístico se ejecutó en Microsoft Excel® (versión 2021) mediante correlaciones de Pearson ($p < 0,05$) y regresiones lineales simples, aplicadas únicamente cuando el coeficiente de correlación r superó 0,50 (50%). En ausencia de correlaciones significativas, se efectuó un análisis descriptivo comparativo entre las variables, que permitió interpretar comportamientos climáticos locales y contrastarlos con antecedentes de regiones tropicales húmedas.

2.6 Limitaciones metodológicas

El estudio se basó en registros de una única estación meteorológica, lo que restringe el análisis espacial. El período de 11 años constituye una escala interanual que describe la variabilidad reciente, sin alcanzar la extensión temporal requerida para los es-

tudios climáticos de largo plazo. No obstante, este enfoque es adecuado para caracterizar las condiciones meteorológicas locales y su incidencia sobre las actividades agropecuarias del cantón Pastaza.

3 Resultados y Discusión

3.1 Actividades agropecuarias

Las principales actividades agropecuarias, según el Sistema de Información Pública Agropecuaria

(2024), corresponden a los cultivos de plátano y yuca, que registran mayor superficie y producción durante el año 2024 (Tabla 1). El plátano registra 3 439 ha plantadas, 2 554 ha cosechadas y 15 096 toneladas con un rendimiento de 5,91 t/ha. La yuca, con 1 999 ha plantadas y 4 281 toneladas, alcanza un rendimiento de 2,21 t/ha. La piña sobresale por su rendimiento de 9,86 t/ha, mientras que cultivos como el cacao y el café presentan menores niveles, con 0,3 y 0,58 t/ha, respectivamente.

Tabla 1. Producción, superficie y rendimiento de cultivos agrícolas durante el año 2024.

Producto	Sup. Plantada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Plátano	3 439	2 554	15 096	5,91
Yuca	1 999	1 937	4 281	2,21
Maíz duro seco	282	282	253	0,90
Caña de azúcar para otros	192	183	1 044	5,71
Piña (fruta fresca)	166	125	1 231	9,86
Cacao	110	61	19	0,30
Café	69	69	40	0,58
Banano	64	64	273	4,28
Maní (grano descascarado)	49	49	27	0,55
Limón (fruta fresca)	40	35	51	1,45
Naranja	35	35	61	1,75
Fréjol tierno	11	11	11	0,95

Según el Sistema de Información Pública Agropecuaria (2024), el ganado vacuno, con 3 722 314 animales, representa la mayor cantidad dentro del sector pecuario. Le siguen el ganado porcino, con 983 999 animales, y el ovino, con 561 949. Los equinos están divididos entre caballos, con 143 310 animales, y mulas, que constituyen la menor proporción con 54 044 animales (Tabla 2).

Tabla 2. Población de ganado durante el año 2024.

Tipo de ganado	Cantidad de animales
Vacuno	3 722 314
Porcino	983 999
Ovino	561 949
Caballos	143 310
Mulas	54 044

Fuente: Sistema de Información Pública Agropecuaria (2024).

3.2 Influencia de la temperatura media en las actividades agropecuarias

El plátano tiene un rango óptimo de 22 °C a 30 °C y puede desarrollarse en temperaturas de 20 °C a 35 °C (Zambrano y cols., 2021). En Pastaza, las temperaturas promedio mensuales (20,63 °C a 22,06 °C) están muy cerca del límite inferior del rango óptimo (Figura 2). Los meses como mayo (21,45 °C) y septiembre (21,58 °C) son ideales para este cultivo, ya que favorecen el crecimiento del pseudotallo y el llenado de los frutos (Cedeño García y cols., 2021). Incluso en meses como junio (20,94 °C) y octubre (21,99 °C), las temperaturas no representan una amenaza significativa para el desarrollo del cultivo; no hay un impacto negativo evidente en el plátano. Las temperaturas promedio de Pastaza son adecuadas para garantizar el rendimiento actual de 5,91 t/ha, mostrando un desarrollo regular del cultivo.

El cacao prospera en un rango óptimo de 24 °C a 28 °C y tolera temperaturas de 15 °C a 32 °C (Ferrer-Sánchez y cols., 2022). En Pastaza, las temperaturas promedio mensuales (20,63 °C a 22,06 °C) están por debajo del rango óptimo, pero aún dentro del rango tolerable (Figura 2). Este desajuste podría limitar ligeramente la floración y el cuajado de frutos (Garay-Peralta y cols., 2024). Meses como abril (21,62 °C) y septiembre (21,58 °C) ofrecen mejores condiciones para su desarrollo, aunque no alcanzan el rango óptimo requerido. El cacao muestra un impacto moderado debido a temperaturas que no llegan al rango óptimo según Castillo y cols. (2024). Esto explica su bajo rendimiento de 0,30 t/ha, y aunque el cultivo puede sobrevivir en estas condiciones, su productividad está lejos de ser ideal.

La yuca prospera en un rango óptimo de 25 °C a 29 °C y tolera temperaturas de 18 °C a 35 °C (Rosero y cols., 2024). En Pastaza, todas las temperaturas promedio mensuales (20,63 °C a 22,06 °C) se encuentran dentro del rango tolerable, aunque levemente por debajo del rango óptimo. Esto implica que el cultivo puede desarrollarse adecuadamente en todas las épocas del año (Monsanto y cols., 2020). Los meses como febrero (21,40 °C) y abril (21,62 °C) son particularmente favorables, ya que se acercan al límite inferior del rango óptimo (Figura 2). No se observa un impacto negativo significativo en el rendimiento de la yuca, ya que las temperaturas se mantienen dentro del rango tolerable. El rendimiento actual de 2,21 t/ha es consistente con estas condiciones climáticas. Sin embargo, una temperatura más cercana al rango óptimo podría incrementar ligeramente la productividad.

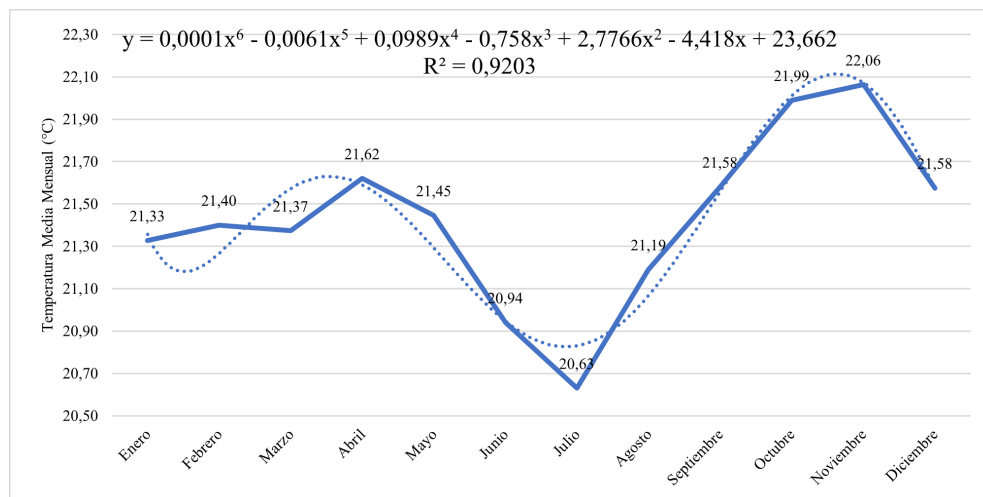


Figura 2. Temperatura media mensual durante el período 2011-2021.

La ganadería, dominada por el ganado vacuno con 3 722 314 animales, también muestra una dependencia crítica de la temperatura. Los meses más cálidos, como octubre (21,99 °C) y noviembre (22,06 °C), generan estrés térmico en el ganado, afectando su ingesta de alimento y productividad, como lo indica Midence y Blas (2024). Por otro lado, las temperaturas más frescas de junio (20,94 °C) y julio (20,63 °C) pueden limitar el crecimiento de pastos naturales (Cárdenas y Telles, 2023), reduciendo la disponibilidad de forrajes esenciales para la alimentación del ganado.

Las variaciones espaciales y temporales de la precipitación en Pastaza indican un patrón altamente dependiente de la topografía y la cobertura vegetal, lo que genera contrastes entre zonas de llanura y piedemonte. Este comportamiento coincide con Cargua y cols. (2024), quienes señalan que los gradientes climáticos locales condicionan la respuesta del suelo y la estabilidad ambiental en regiones amazónicas y andinas. De igual manera, Hidalgo y cols. (2024) evidenciaron que los cambios en la pluviosidad y temperatura influyen directamente en los procesos hidrológicos y ecológicos de montaña. En el contexto agropecuario de Pastaza, estas varia-

ciones determinan la disponibilidad hídrica para los cultivos de plátano, yuca y cacao.

3.3 Variabilidad de la precipitación y su efecto en los cultivos de Pastaza

La caña de azúcar depende de un suministro constante de agua, idealmente entre 1 500 y 2 500 mm anuales, distribuidos de manera uniforme (Díaz Serna, 2024; Espinel Rubio y Feo-Ardila, 2022). En Pastaza, meses como mayo (508,70 mm) y abril (450,94 mm) aseguran niveles hídricos adecuados para la acumulación de sacarosa en los tallos (Figura 3). Sin embargo, los meses secos como septiembre (285,35 mm) pueden afectar el crecimiento del cultivo y su rendimiento. Esto coincide con Misra y cols. (2020), quienes destacan que la irregularidad en las lluvias genera estrés hídrico en cultivos de alta demanda hídrica como la caña.

La precipitación en Pastaza resulta adecuada durante los meses húmedos; sin embargo, su distri-

bución irregular limita el rendimiento promedio de la caña de azúcar a 5,71 t/ha. De acuerdo con Santiago Zárate y cols. (2021), el rendimiento promedio por hectárea de caña de azúcar es de 8,26 toneladas, con un máximo registrado de 16,54 toneladas. Esto indica que la implementación de sistemas de riego suplementario y prácticas agrícolas optimizadas podría contribuir a mejorar significativamente el rendimiento de este cultivo.

La piña prospera en un rango de precipitación anual entre 1 000 y 1 500 mm, con requerimientos mensuales de 50 a 125 mm (Aguilera-Arango y cols., 2022). En Pastaza, meses como abril (450,94 mm) y mayo (508,70 mm) exceden ampliamente este rango mensual (Figura 3), lo que podría generar un crecimiento vegetativo excesivo y retrasar la floración según Bonet-Pérez y cols. (2021). Por otro lado, los meses más secos como julio (314,90 mm) y septiembre (285,35 mm) también superan el límite máximo mensual necesario para este cultivo.

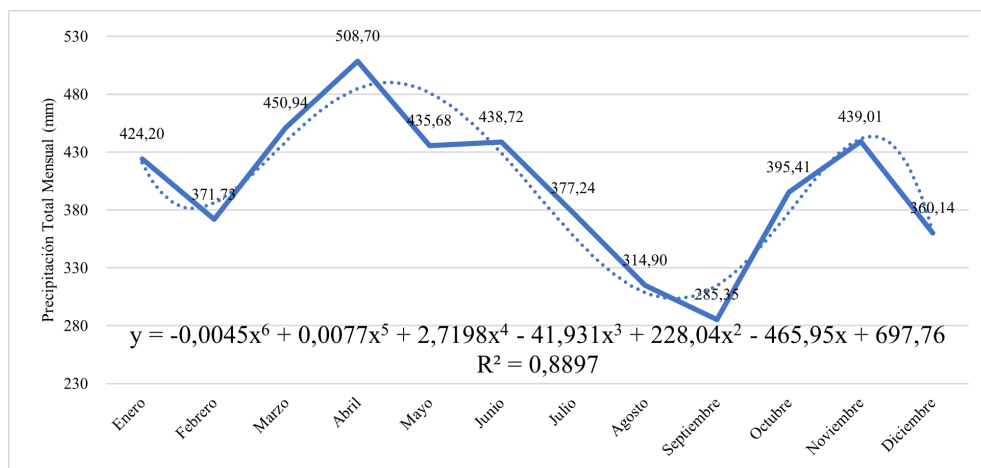


Figura 3. Precipitación total mensual durante el período 2011-2021.

La precipitación en Pastaza, aunque adecuada en cantidad, supera los niveles óptimos recomendados para el cultivo de piña durante todos los meses analizados (Figura 3). Este exceso afecta significativamente el rendimiento, que se sitúa en 9,86 t/ha, mientras que según Vélez-Izquierdo y cols. (2020), el rendimiento promedio esperado para este cultivo es de 20 t/ha. Por lo tanto, hay que implementar medidas de manejo hídrico, como sistemas de dre-

naje eficientes y estrategias de riego controlado, para mitigar los efectos del exceso de agua y optimizar las condiciones del cultivo, favoreciendo así un incremento en el rendimiento.

El café requiere una precipitación anual de 1 200 a 2 000 mm, con lluvias distribuidas uniformemente y valores mensuales ideales de 100 a 200 mm para evitar estrés hídrico prolongado (Parada-Molina

y cols., 2020). En Pastaza, los meses como mayo (508,70 mm) y noviembre (439,01 mm) exceden considerablemente el rango mensual óptimo (Figura 3), lo que podría generar problemas de encharcamiento, afectando la calidad del grano (Quiroz Guerrero y cols., 2024). Por otro lado, los meses más secos como julio (314,90 mm) y septiembre (285,35 mm), aunque superan el límite superior mensual ideal, cumplen con las necesidades mínimas del cultivo.

Las precipitaciones en Pastaza están por encima del rango mensual óptimo para el café en todos los meses analizados, lo que genera un impacto negativo en la calidad del grano por exceso de humedad. Esto explica el bajo rendimiento de 0,58 t/ha, consistente con Parada-Molina y cols. (2020), quienes afirman que las lluvias excesivas pueden interferir en el llenado de granos y reducir su calidad.

El crecimiento de pastos requiere un rango óptimo de precipitaciones entre 300 y 400 mm mensuales (Brenes Gamboa, 2018). En Pastaza, aunque los meses como mayo (508,70 mm) y noviembre (439,01 mm) superan este rango (Figura 3), otros como septiembre (285,35 mm) se encuentran en el límite inferior, lo que puede afectar la producción de forrajes. Estas variaciones en la disponibilidad de agua incrementan los costos operativos debido al uso de suplementos alimenticios y reducen la rentabilidad ganadera (Viera González y cols., 2023).

La precipitación en Pastaza mantiene niveles adecuados para la producción agrícola, aunque su distribución irregular genera impactos diferenciados según el tipo de cultivo. Las lluvias intensas prolongadas favorecen la acumulación hídrica necesaria para la caña de azúcar, pero exceden los requerimientos óptimos de la piña y el café, ocasionando pérdidas en la floración y calidad del grano. Este comportamiento coincide con Mestanza Uquillas y cols. (2025), quienes demostraron que la alternancia entre épocas secas y lluviosas en la costa central del Ecuador modifica la productividad de los cultivos en función del régimen pluvial y la adaptabilidad de las especies. De forma complementaria, Quiroz Antunez y cols. (2022) evidenciaron que la disponibilidad irregular de las lluvias altera la aptitud de los cultivos de café y cacao ante los escenarios de variabilidad climática, afectando su desarrollo fenológico. En consecuencia, la estabilidad de la producción agropecuaria en Pastaza depende de

un manejo hídrico eficiente que permita compensar los efectos de la variabilidad pluviométrica sobre la productividad local.

3.4 Humedad relativa en la productividad agropecuaria de Pastaza

La humedad relativa media mensual en Pastaza se encuentra entre 85,00% y 89,36%, generando impactos significativos en los cultivos y la ganadería (Figura 4). Durante los meses de mayor humedad relativa, como marzo (89,36%) y abril (88,40%), se incrementa la incidencia de enfermedades fúngicas como *Moniliophthora perniciosa* y *Hemileia vastatrix* en cultivos como el cacao y el café (Santiago-Elena y cols., 2020). Según Mamani-Huayhua y cols. (2021), estos patógenos afectan directamente la productividad. Este impacto negativo se debe a que las humedades relativas superiores crean un ambiente óptimo para el desarrollo y dispersión de estos organismos (Lopez y cols., 2021). La implicación principal radica en el incremento de los costos de manejo fitosanitario y la disminución de los rendimientos agrícolas, comprometiendo la sostenibilidad económica de los agricultores locales.

En contraste, durante los meses de menor humedad relativa, como septiembre (85,00%) y octubre (86,33%), los niveles descienden al límite mínimo tolerable para la mayoría de los cultivos (Figura 4). Aunque esto reduce el riesgo de algunas enfermedades fúngicas, no elimina por completo su presencia. Según Duran y cols. (2021), estos descensos pueden generar problemas asociados al estrés hídrico en cultivos sensibles a la humedad, afectando su crecimiento. Por lo tanto, si bien los cultivos se benefician de menores niveles de humedad relativa, aún se requiere un manejo adecuado para mitigar los efectos adversos en la productividad.

En los sistemas ganaderos, las humedades relativas elevadas promueven la aparición de infecciones respiratorias, dérmicas y parasitarias en animales como el ganado vacuno y porcino. Estos problemas pueden presentarse entre marzo y junio, donde los niveles superan consistentemente el 88% (Figura 4). De acuerdo con Conejo-Morales y Wing Ching (2020), estas condiciones adversas se deben a la acumulación de humedad en los corrales, dificultando la ventilación y aumentando los niveles de amoníaco en el aire. La principal implicación de este

fenómeno es la disminución de la ingesta alimenticia de los animales, reduciendo su productividad y elevando los costos operativos debido a tratamientos veterinarios y suplementos alimenticios.

Los meses con menor humedad relativa, como septiembre y octubre, ofrecen cierto alivio para los sistemas ganaderos al reducirse las infecciones respiratorias y la humedad en los corrales (Figura 4).

Sin embargo, estas condiciones también pueden limitar el crecimiento de pastos, que son una fuente primaria de alimento para el ganado. Según Alvarado Irías y Colon García (2023), esto implica que, aunque los animales experimentan menos estrés térmico, los productores enfrentan el desafío de suplir la falta de forraje natural con alimentos suplementarios, incrementando los costos.

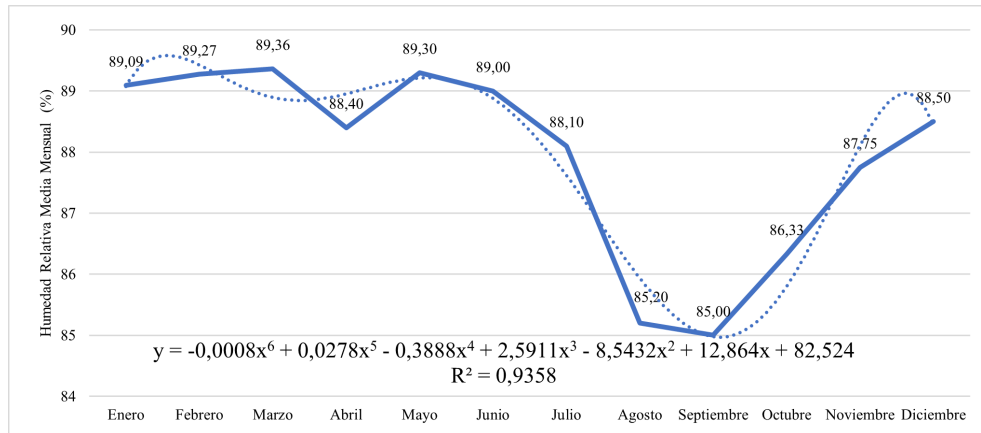


Figura 4. Humedad relativa media mensual durante el período 2011-2021.

Los valores elevados de humedad relativa observados en Pastaza confirman una condición atmosférica constante que favorece el desarrollo de enfermedades fúngicas y la proliferación de microorganismos que afectan la fisiología vegetal y animal. De acuerdo con Bibi y Rahman (2023), este tipo de ambiente limita la transpiración foliar y altera los procesos metabólicos de los cultivos, reduciendo su eficiencia fotosintética. En concordancia, Vásquez y cols. (2024) evidenciaron que los niveles de humedad superiores al 85% en condiciones tropicales incrementan la incidencia de plagas y enfermedades, reduciendo la estabilidad productiva de los sistemas agrícolas. Por tanto, el control de la humedad relativa mediante prácticas de manejo microclimático y ventilación controlada en zonas de cultivo se presenta como una alternativa viable para reducir las pérdidas y mantener la sostenibilidad agropecuaria en la región amazónica ecuatoriana.

3.5 Evaporación potencial en la disponibilidad hídrica de cultivos en Pastaza

La evaporación potencial media mensual en Pastaza varía entre 54,16 mm en febrero y 89,57 mm en septiembre (Figura 5). La alta evaporación incrementa la pérdida de humedad en el suelo, reduciendo significativamente la disponibilidad hídrica para cultivos como el plátano, la yuca, la caña de azúcar y la piña. Durante los meses de agosto y septiembre, con valores que superan los 80 mm, los agricultores enfrentan un aumento en las necesidades de riego para mantener un nivel adecuado de humedad en el suelo. Según Misra y cols. (2020), la alta evaporación puede limitar la capacidad de los cultivos para absorber nutrientes y realizar procesos clave como la fotosíntesis, lo que resulta en un menor rendimiento.

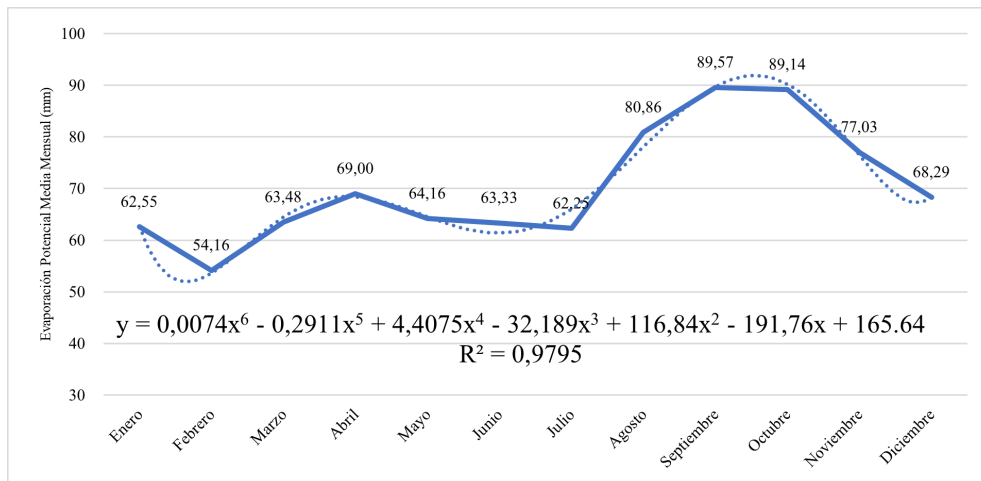


Figura 5. Evaporación potencial media mensual durante el período 2011-2021.

En la caña de azúcar, este fenómeno impacta directamente la acumulación de sacarosa en los tallos, reduciendo su calidad y productividad. Asimismo, en la piña, el estrés hídrico causado por la evaporación elevada puede retrasar la floración y disminuir el tamaño del fruto (Coelho y cols., 2024). Estos efectos subrayan la necesidad de técnicas avanzadas de manejo del agua, como el riego por goteo, para optimizar el uso de este recurso limitado en períodos críticos.

Según Srivastava y cols. (2021), se requiere una gestión integrada del agua para mitigar estos conflictos. Las estrategias como la captación de agua de lluvia, el uso de tecnologías de riego eficientes y la implementación de sistemas de almacenamiento pueden ayudar a equilibrar las necesidades de ambos sectores. Además, las prácticas agrícolas sostenibles, como la cobertura del suelo y el uso de cultivos resistentes al estrés hídrico, pueden reducir la dependencia de recursos hídricos adicionales, mejorando la sostenibilidad general de las actividades agropecuarias en Pastaza.

La dinámica de evaporación en Pastaza muestra una relación con la radiación solar y la cobertura vegetal, factores que modulan la disponibilidad hídrica efectiva en el suelo. Según Arias-Muñoz y cols. (2025), la variación térmica y la intensidad de la radiación inciden directamente sobre el balance de agua en ecosistemas amazónicos, determinando la velocidad de evaporación y la retención de humedad superficial. En combinación con lo expuesto

por Misra y cols. (2020), el aumento de la evaporación reduce la capacidad de los cultivos para mantener la humedad radicular necesaria, afectando los procesos fisiológicos como la transpiración y la asimilación de nutrientes.

3.6 Modelos de regresión de las variables climáticas

Las regresiones aplicadas a las variables climáticas muestran comportamientos polinómicos de sexto orden que describen de manera adecuada la variación mensual de las condiciones meteorológicas registradas en el cantón Pastaza durante el período 2011-2021 (Tabla 3). Los resultados evidencian que las variables presentan una tendencia no lineal, determinada principalmente por los ciclos estacionales y los factores atmosféricos propios de las zonas tropicales.

Según Srivastava y cols. (2021), se requiere una gestión integrada del agua para mitigar estos conflictos. Las estrategias como la captación de agua de lluvia, el uso de tecnologías de riego eficientes y la implementación de sistemas de almacenamiento pueden ayudar a equilibrar las necesidades de ambos sectores. Además, las prácticas agrícolas sostenibles, como la cobertura del suelo y el uso de cultivos resistentes al estrés hídrico, pueden reducir la dependencia de recursos hídricos adicionales, mejorando la sostenibilidad general de las actividades agropecuarias en Pastaza.

La dinámica de evaporación en Pastaza muestra una relación con la radiación solar y la cobertura vegetal, factores que modulan la disponibilidad hídrica efectiva en el suelo. Según Arias-Muñoz y cols. (2025), la variación térmica y la intensidad de la radiación inciden directamente sobre el balance de agua en ecosistemas amazónicos, determinando la velocidad de evaporación y la retención de humedad superficial. En combinación con lo expuesto por Misra y cols. (2020), el aumento de la evaporación reduce la capacidad de los cultivos para mantener la humedad radicular necesaria, afectando los procesos fisiológicos como la transpiración y la asimilación de nutrientes.

3.7 Modelos de regresión de las variables climáticas

Las regresiones aplicadas a las variables climáticas muestran comportamientos polinómicos de sexto orden que describen de manera adecuada la variación mensual de las condiciones meteorológicas registradas en el cantón Pastaza durante el período 2011-2021 (Tabla 3). Los resultados evidencian que las variables presentan una tendencia no lineal, determinada principalmente por los ciclos estacionales y los factores atmosféricos propios de las zonas tropicales.

Tabla 3. Modelos de regresión polinómica de las variables climáticas en Pastaza (2011–2021).

Variable climática	Ecuación de regresión polinómica (6° orden)	R ²	Figura
Temperatura media mensual (°C)	$y = 0,0001x^6 - 0,0061x^5 + 0,0989x^4 - 0,758x^3 + 2,7766x^2 - 4,418x + 23,662$	0,9203	Fig. 2
Precipitación total mensual (mm)	$y = -0,0045x^6 + 0,0077x^5 + 2,7198x^4 - 41,931x^3 + 228,04x^2 - 465,95x + 697,76$	0,8897	Fig. 3
Humedad relativa media mensual (%)	$y = -0,0008x^6 + 0,0278x^5 - 0,3888x^4 + 2,5911x^3 - 8,5432x^2 + 12,864x + 82,524$	0,9358	Fig. 4
Evaporación potencial media mensual (mm)	$y = 0,0074x^6 - 0,2911x^5 + 4,4075x^4 - 32,189x^3 + 116,84x^2 - 191,76x + 165,64$	0,9795	Fig. 5

De manera general, las tendencias identificadas confirman que las fluctuaciones climáticas en Pastaza no responden a relaciones lineales simples, sino a comportamientos polinómicos que representan mejor la dinámica atmosférica local. Estos resultados coinciden con lo señalado por Shah y cols. (2019), quienes explican que la radiación solar y la presión atmosférica generan variaciones complejas en regiones tropicales que dificultan el uso de modelos lineales. En este contexto, se recomienda complementar el análisis con enfoques estocásticos o de aprendizaje automático para capturar patrones no deterministas en la variabilidad climática (Gowtham y cols., 2018; Pujahari y cols., 2022).

3.8 Impacto mensual de factores climáticos sobre los cultivos

Durante enero y octubre, la saturación del suelo por alta humedad y lluvias intensas afecta los cultivos como caña de azúcar y plátano, lo que coincide con lo reportado por Arias-Muñoz y cols. (2025),

quienes proyectan una reducción del 14,65% en la superficie de cultivo de caña hacia 2031, como consecuencia de la presión ambiental y climática. En abril, la alta humedad y temperatura favorecen la proliferación de hongos y bacterias en frutos tropicales, como el cacao, situación que se intensificará bajo los escenarios RCP (Trayectorias Representativas de Concentración, por sus siglas en inglés) 4.5 y 8.5 por el incremento de precipitaciones extremas y temperatura (Serrano-Vincenti y cols., 2025).

A partir de junio se observa un déficit hídrico inicial y progresivo, el cual afecta a los cultivos como el plátano, la caña de azúcar y la yuca. Este patrón se alinea con Cachipuendo y cols. (2025), quienes advierten sobre la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas frente a la reducción de la disponibilidad hídrica debido a la pérdida de capacidad de retención. Además, septiembre presenta un riesgo de floración asincrónica por precipitaciones irregulares, afectando la sincronización fenológica del cacao.

Finalmente, diciembre muestra una mayor incidencia de plagas, en línea con Meza y cols. (2020), donde el calentamiento climático intensifica la reproducción de patógenos y plagas en los sistemas agrícolas tradicionales. Estos efectos validan la ne-

cesidad de estrategias locales de adaptación climática, especialmente en zonas de producción diversificada y limitada infraestructura de riego.

Tabla 4. Relación entre condiciones climáticas mensuales, tipo de afectación y cultivos sensibles.

Mes	Factor climático	Tipo de afectación	Cultivos potencialmente afectados
Enero	Alta humedad + lluvias intensas	Saturación del suelo	Caña de azúcar, yuca, plátano
Febrero	Alta humedad + baja radiación	Reducción de la fotosíntesis	Cacao
Marzo	Exceso de lluvias	Encharcamiento, erosión	Naranja
Abril	Alta humedad + temperaturas altas	Proliferación de enfermedades	Cacao
Mayo	Lluvias moderadas	Buen desarrollo vegetativo	Maíz, yuca
Junio	Menor humedad relativa	Déficit hídrico inicial	Plátano, caña de azúcar, yuca
Julio	Baja precipitación	Estrés hídrico progresivo	Pastos
Agosto	Déficit de humedad + alta radiación	Marchitez, reducción del rendimiento	Yuca, plátano
Septiembre	Precipitaciones irregulares	Riesgo de floración asincrónica	Cacao
Octubre	Incremento de lluvias	Saturación del suelo	Caña, yuca
Noviembre	Alta humedad y nubosidad	Reducción de maduración	Cacao
Diciembre	Lluvias intensas y calor	Aumento de plagas y hongos	Plátano

4 Conclusiones

La temperatura media mensual se mantuvo entre 20,63 °C y 22,06 °C, un rango favorable para los cultivos como el plátano y la yuca, aunque inferior al óptimo para el cacao, lo que limita su productividad. La precipitación total mensual alcanzó valores máximos en abril y mayo (450–470 mm), favoreciendo el desarrollo de la caña de azúcar, pero incrementando el riesgo de encharcamiento en cultivos sensibles como el café. La disminución de lluvias en septiembre y octubre redujo la disponibilidad hídrica, afectando la producción forrajera y la sostenibilidad de los sistemas ganaderos.

Los niveles elevados de humedad relativa (85%–89%) incrementaron la incidencia de enfermedades fúngicas en el cacao y el café, generando mayores costos de manejo, mientras que en la ganadería se observó un aumento de enfermedades respiratorias. Finalmente, la evaporación potencial, que alcanzó su máximo en septiembre (89,57 mm), evidenció la necesidad de estrategias de manejo del agua y prácticas de conservación de humedad en el suelo para evitar el estrés hídrico.

Contribución de los autores

B.T.L.Z.: Conceptualización, Análisis formal, Curación de datos. **J.M.M.V.:** Redacción – borrador original, Metodología e Investigación. **R.D.V.P.:** Redacción – revisión y edición, Validación.

Referencias

- Aguilera-Arango, G. A., Puentes-Díaz, C. L., y Morillo-Coronado, Y. (2022). Importancia de los recursos genéticos de la piña (*Ananas comosus* [L.] Merr. var. *comosus*) en Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2), 48171. Online: <https://doi.org/10.15517/am.v33i2.48171>
- Alvarado Irías, E. E., y Colon García, A. P. (2023). Determinantes de la adaptación en el marco de un análisis de riesgo y vulnerabilidad al cambio climático. *Revista Universidad y Sociedad*, 15(2), 141–151. Online: <https://h7.cl/1of1b>
- Arias-Muñoz, P., Chamorro-Benavides, E. L., Patiño-Yar, S. A., Jácome-Aguirre, G., y Rosales, O. (2025). Efectos del cambio de uso

- de suelo y cambio climático en la distribución potencial de la caña de azúcar en el valle del Chota, Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 42(2), 90–105. Online: <https://doi.org/10.17163/lgr.n42.2025.06>
- Arteaga, L. E., y Burbano, J. E. (2018). Effects of climate change: A look to Agriculture. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 79–91. Online: <https://doi.org/10.22267/rcia.183502.93>
- Bibi, F., y Rahman, A. (2023). An overview of climate change impacts on agriculture and their mitigation strategies. *Agriculture*, 13(8), 1508. Online: <https://doi.org/10.3390/agriculture13081508>
- Bilali, H., Bassole, I. H. N., Dambo, L., y Berjan, S. (2020). Climate change and food security. *Agriculture and Forestry*, 66(3), 197–210. Online: <https://doi.org/10.17707/AgriForest.66.3.16>
- Bonet-Pérez, C., Guerrero-Posada, P., Hernández-Llanes, J., Rodríguez-Correa, D., y La Rosa-Fernández, Y. (2021). Riego y drenaje en el cultivo de la piña (cultivar MD-2) en Ciego de Ávila. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(1), e02. Online: <https://h7.cl/1of1f>
- Brenes Gamboa, S. (2018). Evaluación del rendimiento y periodo de descanso de tres pastos de piso. *InterSedes*, 19(39), 133–145. Online: <https://doi.org/10.15517/isucr.v19i39.34073>
- Cachipuendo, C., Ilbay, M., y Requelme, N. (2025). Gestión comunitaria y sostenibilidad en sistemas de riego andinos mediante indicadores de uso eficiente del agua en la agricultura. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 42(2). Online: <https://doi.org/10.17163/lgr.n42.2025.03>
- Cargua, C. J., Espin, R., Valencia, B. G., Simbaña, M., Araujo, S., Cornejo, C., y Ocampos, A. (2024). Análisis de susceptibilidad a deslizamientos empleando el proceso de jerarquía analítica en una carretera Amazónica del Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 39(1), 116–136. Online: <https://doi.org/10.17163/lgr.n39.2024.07>
- Castillo, M., Brambila-Paz, J., García-Sánchez, R., Omaña-Silvestre, J., Gonzalez-Estrada, A., y Legarreta-Gonzalez, M. (2024). Factores socioeconómicos que afectan el rendimiento del cacao, en el norte centro, Nicaragua. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 34(63), e241385. Online: <https://doi.org/10.24836/es.v34i63.1385>
- Cedeño García, G., Velásquez Cedeño, S., Cedeño, B., Chávez, J., y Álava, G. (2021). Bioestimulante en el crecimiento y calidad de plántulas de plátano en fase de vivero. *Revista Espamciencia*, 12(2), 124–130. Online: https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i2.274
- Coelho, E., Ferreira Lima, L., Stringam, B., Matos, A., Lima Santos, D., Reinhardt, D., ... Cunha, F. (2024). Water productivity in pineapple (*Ananas comosus*) cultivation using plastic film to reduce evaporation and percolation. *Agricultural Water Management*, 296(1), 108785. Online: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108785>
- Conejo-Morales, J. F., y Wing Ching, R. (2020). Condiciones climáticas y la producción láctea del ganado jersey en dos pisos altitudinales. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 157–176. Online: <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.34739>
- Cvetkovic-Vega, A., Maguiña Jorge, L., Soto Alonso, L.-V. J., y López Lucy, E. C. (2021). Estudios transversales. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 21(1), 179–185. Online: <https://doi.org/10.25176/rfmh.v21i1.3069>
- Cárdenas, E., y Telles, F. (2023). Características agronómicas y productivas de tres variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la sierra central del Perú. *Anales Científicos*, 84(1), 110–116. Online: <https://doi.org/10.21704/ac.v84i2.2000>
- Duran, M., Ramos, F. L., Alvarado, R., y Altamirano, L. (2021). Evaluación del índice de estrés hídrico de cultivos (IEHC) en ají (*Capsicum*) bajo riego por goteo en las condiciones áridas de la costa norte del Perú. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 481–489. Online: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.052>
- Díaz Serna, J. C. (2024). Relación espacial entre propiedades de suelos y estrés hídrico en caña de azúcar en la hacienda Churimal-Roldanillo-Valle del Cauca, Colombia. *Suelos Ecuatoriales*, 49(1 y 2), 65–74. Online: [https://doi.org/10.47864/SE\(49\)2019p65-74_107](https://doi.org/10.47864/SE(49)2019p65-74_107)
- Espinel Rubio, G. A., y Feo-Ardila, D. (2022). Territorio e identidad de resistencia en jóvenes del Catatumbo (Colombia), constructores de paces im-

- perfectas. *Investigación & Desarrollo*, 30(1), 40–68. Online: <https://doi.org/10.14482/INDES.30.1.303.661>
- Ferrer-Sánchez, Y., Mafaldo-Sajami, A., Plasencia-Vázquez, A., y Urdánigo, J. (2022). Riesgo para el cultivo de cacao por los cambios en la distribución potencial del fitopatógeno *Moniliophthora perniciosa* bajo escenarios de cambio climático en Ecuador continental. *Revista Terra*, 40(1), 1–10. Online: <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1338>
- Garay-Peralta, I., Villarruel-Fuentes, M., Peón, A., Chávez-Morales, R., y Herrera-Alarcón, J. (2024). Factores climáticos en el desarrollo y producción de cacao en Úrsulo Galván, Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1), 54337. Online: <https://doi.org/10.15517/am.2024.54337>
- García-Rengifo, C., y Durán-Ballén, S. (2023). Variabilidad climática en la cuenca hidrográfica del río Chalpi Grande en Napo-Ecuador. *Enfoque UTE*, 14(1), 1–17. Online: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.872>
- Gobierno Provincial de Pastaza. (2020). *Información de la Provincia de Pastaza*. Recuperado el 26 diciembre 2024 de <https://h7.cl/1jcDc>.
- González Osorio, B. B., Barragán Monrroy, R., Simba Ochoa, L., y Rivero Herrada, M. (2020). Influencia de las variables climáticas en el rendimiento de cultivos transitorios en la provincia Los Ríos, Ecuador. *Centro Agrícola*, 47(4), 54–64. Online: <https://h7.cl/1of1n>
- Gowtham, R., Ramaraj, A. P., y Geethalakshmi, V. (2018). Chapter 13 - Climate Change Projections and Addressing Intrinsic Uncertainties. En C. Sivaperuman, A. Velmurugan, A. K. Singh, y I. Jaisankar (Eds.), *Biodiversity and climate change adaptation in tropical islands* (pp. 387–402). Academic Press. Online: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813064-3.00013-2>
- Hernández, C., Methol, M., y Cortelezzi, (2018). Estimación de pérdidas y daños por eventos climáticos extremos en el sector agropecuario. *Anuario OPYPA*, 1, 559–568. Online: <https://h7.cl/1of1u>
- Hidalgo, D., Domínguez, C., Villacís, M., Ruíz, J.-C., Maisincho, L., Cáceres, B., ... Piedra, D. (2024). Retroceso del glaciar del Carihuairazo y sus implicaciones en la comunidad de Cunucyacu. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 39(1), 92–115. Online: <https://doi.org/10.17163/lgr.n39.2024.06>
- Kumar, L., Chhogyel, N., Gopalakrishnan, T., Hasan, M. K., Jayasinghe, S. L., Kariyawasam, C. S., ... Ratnayake, S. (2022). Chapter 4 - Climate change and future of agri-food production. En R. Bhat (Ed.), *Future foods* (pp. 49–79). Academic Press. Online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91001-9.00009-8>
- Lal, R. (2021). Chapter 31 - Climate change and agriculture. En T. M. Letcher (Ed.), *Climate change* (Third ed., pp. 661–686). Elsevier. Online: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821575-3.00031-1>
- Lopez, M., Badillo, M., Bautista, A., y Rico, A. (2021). Hongos en semillas de *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. almacenadas bajo dos humedades relativas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(66), 1–16. Online: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.689>
- Mamani-Huayhua, G., Leon-Ttacca, B., Palao-Iturregui, L. A., y Borja-Loza, Y. R. (2021). Biocontrol de la roya amarilla del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) con cepas de *Trichoderma* sp. endófito. *Cultivos Tropicales*, 42(4), e01. Online: <https://h7.cl/1of1y>
- Mestanza Uquillas, C. A., Cedeño Cárcamo, P. J., Véliz Zamora, D. V., Vásquez Matute, S. C., y Pinargote Alava, J. J. (2025). Distanciamiento de siembra en *Zea mays* L. durante la época seca y lluviosa en la costa central del Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 41(1), 151–161. Online: <https://doi.org/10.17163/lgr.n41.2025.10>
- Meza, K., Cusme, M., Velasquez, J., y Chirinos, D. (2020). Trips (Thysanoptera) asociados con la pitahaya *Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt. Especies, niveles poblacionales, daños y algunos enemigos naturales. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 32(2). Online: <https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.07>
- Midence, M., y Blas, R. (2024). Enfermedad renal crónica asociada al estrés térmico: una revisión de literatura. *Revista Torreón Universitario*, 13(1), 211–223. Online: <https://doi.org/10.5377/rtu.v13i38.19310>

- Misra, V., Solomon, S., Mall, A. K., Prajapati, C. P., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., y Ansari, M. I. (2020). Morphological assessment of water stressed sugarcane: A comparison of waterlogged and drought affected crop. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(5), 1228–1236. Online: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.02.007>
- Monsanto, L., Mota, N., y Gómez, X. (2020). La producción de semillas y raíces del cultivo de yuca se mantiene bajo diferentes densidades de siembra: un enfoque agroecológico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(3), 1–7. Online: <https://doi.org/10.56369/tsaes.3388>
- Monterroso-Rivas, A. I., y Gómez-Díaz, J. D. (2021). Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México. *Terra Latinoamericana*, 39(1), e774. Online: <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774>
- Mosquera Ponce, J. D. C., Alvarado Santacruz, F. J., Yumbo Licuy, A. M., y Muñoz Pinela, A. G. (2024). Análisis del sistema de producción agropecuaria y su contribución a la economía familiar en la provincia de Pastaza. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 6838–6863. Online: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11880
- Ordoñez, L., Vallejo, E., Amariles, D., Mesa, J., Esquivel, A., Llanos-Herrera, L., ... Ramirez-Villegas, J. (2022). Applying agroclimatic seasonal forecasts to improve rainfed maize agronomic management in Colombia. *Climate Services*, 28(1), 100333. Online: <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2022.100333>
- Paliz, C., Perugachi, N., Martínez, J., Moreno, M., Yaucán, C., y Palaguachi, R. (2021). Análisis estadístico de datos de las precipitaciones usando métodos robustos y bootstrap. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 12(2), 52–61. Online: <https://doi.org/10.29166/revfig.v12i2.3515>
- Parada-Molina, P. C., Cervantes-Pérez, J., Ruiz-Molina, V. E., y Cerdán Cabrera, C. R. (2020). Efectos de la variabilidad de la precipitación en la fenología del café: caso zona cafetalera Xalapa-Coatepec, Veracruz, Mex. *Revista Ingeniería y Región*, 24(1), 61–71. Online: <https://doi.org/10.25054/22161325.2752>
- Pozo-Santiago, C. O., Velázquez-Martínez, J. R., Torres-De la Cruz, M., Cruz-Pérez, A. D. I., Capello-García, S., y Sánchez-Gutierrez, F. (2020). El papel de la humedad relativa, temperatura y sustratos en la supervivencia de *Nasutitermes corniger*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(3), e2742. Online: <https://doi.org/10.19136/era.a7n3.2742>
- Pujahari, R. M., Yadav, S. P., y Khan, R. (2022). Chapter 6 - Intelligent farming system through weather forecast support and crop production. En M. A. Khan, R. Khan, y M. A. Ansari (Eds.), *Application of machine learning in agriculture* (pp. 113–130). Academic Press. Online: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90550-3.00009-6>
- Quiroz Antunez, U. G., Monterroso Rivas, A. I., Calderón Vega, M. F., y Ramírez García, A. G. (2022). Aptitud de los cultivos de café (*Coffea arabica* L.) y cacao (*Theobroma cacao* L.) considerando escenarios de cambio climático. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 36(2), 60–74. Online: <https://doi.org/10.17163/lgr.n36.2022.05>
- Quiroz Guerrero, I., Pérez-Vázquez, A., Landeros Sánchez, C., Gallardo López, F., Velasco Velasco, J., y Benítez Badillo, G. (2024). Capacidad de resiliencia del agroecosistema café en Tezonapa, Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1), 55146. Online: <https://doi.org/10.15517/am.2024.55146>
- Rosero, A., Montes, A., Mara, S., Herazo, J., Valencia, K., Andrade, L. A., ... Trujillo, M. (2024). *Modelo productivo de las variedades registradas de yuca industrial para el Caribe colombiano* (Vol. 1). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Online: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7407235>
- Rosvold, E. L. (2021). Chapter 19 - Security implications of climate change: The climate-conflict nexus. En T. M. Letcher (Ed.), *The impacts of climate change* (pp. 465–478). Elsevier. Online: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822373-4.00015-X>
- Santiago-Elena, E., Zamora-Macorra, E. J., Zamora-Macorra, M., y Elizalde-Gaytan, K. G. (2020). Interacción entre *Mycodiplosis* y *Hemileia vastatrix* en tres escenarios de manejo del cultivo de café (*Coffea arabica*). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 38(3), 320–336. Online: <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2005-2>

- Santiago Zárate, I. M., Martínez Damián, M., Cuevas Alvarado, C. M., Valdivia Alcalá, R., García Hernández, M. I., y Hernández Toscano, J. (2021). Productividad y cambio tecnológico en la agroindustria de la caña de azúcar en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(6), 1005–1017. Online: <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2692>
- Serrano-Vincenti, S., Guamán-Pozo, J., Chuqui, J., Tufiño, R., y Franco-Crespo, C. (2025). Measuring the effects of climate change on traditional crops in tropical highlands, Ecuador. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9. Online: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1447593>
- Sgroi, F. (2023). Circular economy and sustainable agri-food systems. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100815. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100815>
- Shah, K., Chaturvedi, V., y Gupta, S. (2019). Chapter 25 - Climate Change and Abiotic Stress-Induced Oxidative Burst in Rice. En M. Hasanuzzaman, M. Fujita, K. Nahar, y J. K. Biswas (Eds.), *Advances in rice research for abiotic stress tolerance* (pp. 505–535). Woodhead Publishing. Online: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814332-2.00025-3>
- Singh, N. K., Yadav, M., Singh, V., Padhiyar, H., Kumar, V., Bhatia, S. K., y Show, P.-L. (2023). Artificial intelligence and machine learning-based monitoring and design of biological wastewater treatment systems. *Bioresource Technology*, 369(1), 128486. Online: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128486>
- Sistema de Información Pública Agropecuaria. (2024). *Información productiva territorial*. Recuperado de <https://h7.cl/1jcDz>.
- Srivastava, P. K., Suman, S., Pandey, V., Gupta, M., Gupta, A., Gupta, D. K., ... Singh, U. (2021). Chapter 1 - Concepts and methodologies for agricultural water management. En P. K. Srivastava, M. Gupta, G. Tsakiris, y N. W. Quinn (Eds.), *Agricultural water management* (pp. 1–18). Academic Press. Online: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812362-1.00001-1>
- Valle, S. B., Yaguache, B. D., Caicedo, W. O., Toscano, J. F., Yucailla, D. M., y Abril, R. V. (2021). Caracterización socioeconómica y productiva de los cañicultores de la provincia Pastaza, Ecuador. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 55(2), 113–127. Online: <https://h7.cl/1of1P>
- Viera González, E. Y., Barcia Sardiñas, S., y Gómez Díaz, D. (2023). Servicios climáticos para el sector agrícola, basados en los pilares del Marco Mundial para los Servicios Climáticos. *Revista Cubana de Meteorología*, 29(2), 1–14. Online: <https://h7.cl/1of1U>
- Vásquez, S. C., Villavicencio Sanchez, E. I., Guamán, A. O., Molina-Müller, M., y Mestanza Uquillas, C. A. (2024). Efecto de la densidad de plantas sobre los componentes del rendimiento de fréjol cultivado en condiciones de campo en un valle interandino de Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 39(1), 160–170. Online: <https://doi.org/10.17163/lgr.n39.2024.10>
- Vásquez-Dávila, S., y Bravo-Benavides, D. (2023). Impacto del cambio climático en la producción agrícola de la provincia de Loja, periodo 2007-2020. *Revista Económica*, 11(1), 93–103. Online: <https://doi.org/10.54753/rve.v11i1.1623>
- Vélez-Izquierdo, A., Espinosa-García, J. A., Uresti-Gil, J., Jolalpa-Barrera, J. L., Rangel-Quintos, J., y Uresti-Duran, D. (2020). Estudio técnico-económico para identificar áreas con potencial para producir piña en el trópico húmedo de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(7), 1619–1632. Online: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2594>
- World Meteorological Organization. (2010). *Manual on the global observing system: Volume II – Regional Aspects*. World Meteorological Organization (WMO). Online: <https://h7.cl/1of20>
- World Meteorological Organization. (2021). *WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019)*. World Meteorological Organization (WMO). Online: <https://h7.cl/1jcDS>
- Zambrano, J., Párraga, J., Cobeña, C., Jiménez-Flores, L., Ulloa, S., López, F., ... Urdaneta, A. (2021). Fertilización con magnesio en plátano 'Barraganete' (*Musa AAB*) Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 35(1), 8–19. Online: <https://doi.org/10.17163/lgr.n35.2022.01>