



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2026,
Volumen 10, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rm.v10i4

**ASOCIACIÓN ENTRE VARIABLES
CLIMATOLÓGICAS Y RENDIMIENTO DE PALMA
ACEITERA (ELAEIS GUINEENSIS JACQ.) EN DOS
LOCALIDADES DE LA PROVINCIA DE PADRE
ABAD, UCAYALI, PERÚ**

ASSOCIATION BETWEEN CLIMATOLOGICAL VARIABLES AND OIL
PALM (ELAEIS GUINEENSIS JACQ.) YIELD IN TWO LOCALITIES OF
THE PADRE ABAD PROVINCE, UCAYALI, PERU

María Adelaida Pilco Lozano
Universidad Nacional de Ucayali, Perú

Fernando Pérez Leal
Universidad Nacional de Ucayali, Perú

Raúl Armando Pilco Panduro
Universidad Nacional de Ucayali, Perú

José Antonio López Ucariegue
Universidad Nacional de Ucayali, Perú

Luis Alberto Díaz-Sandoval
Universidad Nacional de Ucayali, Perú

Wagner Michel Paredes Isidro
Investigador independiente, Perú

Asociación entre Variables Climatológicas y Rendimiento de Palma Aceitera (*Elaeis Guineensis* Jacq.) en Dos Localidades de la Provincia de Padre Abad, Ucayali, Perú

María Adelaida Pilco Lozano¹

maria_pilco@unu.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0001-9462-7274>

Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Nacional de Ucayali
Ucayali, Perú

Raúl Armando Pilco Panduro

raul_pilco@unu.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0003-2541-2933>

Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Nacional de Ucayali
Ucayali, Perú

Luis Alberto Díaz-Sandoval

luis_diaz@unu.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0003-2541-2933>

Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Nacional de Ucayali
Ucayali, Perú

Fernando Pérez Leal

fernando_perez@unu.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-4753-5603>

Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Nacional de Ucayali
Ucayali, Perú

José Antonio López Ucarieque

jose_lopez@unu.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-9912-0568>

Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Nacional de Ucayali
Ucayali, Perú

Wagner Michel Paredes Isidro

paredes.isidro.10@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-9314-3173>

Investigador independiente
en agricultura tropical amazónica, Perú

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar la asociación entre las principales variables climatológicas y el rendimiento de palma aceitera en los distritos de Neshuya y Boquerón, provincia de Padre Abad, durante el período de junio a diciembre de 2025. Se instalaron estaciones meteorológicas automáticas en parcelas comerciales de ambas localidades para registrar temperatura, precipitación, humedad relativa y radiación solar. El rendimiento se determinó mediante el pesaje de racimos cosechados en 40 plantas por zona y mes. La normalidad de los datos se evaluó con la prueba de Shapiro-Wilk, la comparación entre zonas se realizó mediante la prueba U de Mann-Whitney y un ANOVA de medidas repetidas, y las asociaciones bivariadas se estimaron con el coeficiente de Spearman. Los resultados indicaron una variación temporal significativa del rendimiento ($F = 49,168$; $p = 0,013$), sin diferencias globales entre zonas ($F = 0,315$; $p = 0,631$). La temperatura mínima presentó la correlación más alta con el rendimiento ($\rho = 0,822$; $p < 0,001$), seguida de la precipitación acumulada ($\rho = 0,688$; $p = 0,007$). Un modelo de regresión por pasos incorporó la precipitación y la temperatura media como predictores, explicando el 56,8 % de la varianza. La radiación solar y la humedad relativa no mostraron asociación significativa. Estos resultados aportan una línea base microclimática para la gestión agroclimática del cultivo en la provincia de Padre Abad.

Palabras clave: palma aceitera; microclima; precipitación; temperatura; rendimiento de cultivo; correlación de Spearman; Amazonía peruana

¹ Autor principal

Correspondencia: maria_pilco@unu.edu.pe

Association Between Climatological Variables and oil Palm (*Elaeis Guineensis* Jacq.) Yield in two Localities of the Padre Abad Province, Ucayali, Peru

ABSTRACT

This study aimed to analyze the association between key climatological variables and oil palm yield in the Neshuya and Boquerón districts, Padre Abad province, from June to December 2025. Automatic weather stations were installed in commercial plots at both sites to record temperature, precipitation, relative humidity, and solar radiation. Yield was determined by weighing harvested bunches from 40 plants per site per month. Data normality was assessed using the Shapiro-Wilk test, between-site comparisons were performed through the Mann-Whitney U test and repeated-measures ANOVA, and bivariate associations were estimated using Spearman's correlation coefficient. Results showed significant temporal variation in yield ($F = 49.168$; $p = 0.013$) with no overall differences between sites ($F = 0.315$; $p = 0.631$). Minimum temperature exhibited the strongest correlation with yield ($\rho = 0.822$; $p < 0.001$), followed by cumulative precipitation ($\rho = 0.688$; $p = 0.007$). A stepwise regression model retained precipitation and mean temperature as predictors, accounting for 56.8% of the variance. Solar radiation and relative humidity showed no significant association. These findings provide a microclimatic baseline for agroclimate-informed crop management in the Padre Abad province.

Keywords: oil palm; microclimate; precipitation; temperature; crop yield; Spearman correlation; Peruvian Amazon

*Artículo recibido 20 junio 2026
Aceptado para publicación: 20 julio 2026*



INTRODUCCIÓN

La palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) es el cultivo oleaginoso de mayor rendimiento por unidad de superficie a nivel mundial (Corley y Tinker, 2016). En el Perú, el cultivo se concentra en las regiones amazónicas de San Martín y Ucayali, que reúnen aproximadamente el 77 % del área plantada nacional (Brizuela-Torres et al., 2025), y en la provincia de Padre Abad constituye una actividad económicamente relevante para pequeños productores (Munariz, 2020). No obstante, la productividad promedio se mantiene por debajo de los rendimientos potenciales. Woittiez et al. (2017) propusieron que esta brecha puede interpretarse a partir de factores determinantes, limitantes y reductores del rendimiento.

Las condiciones climáticas regulan procesos fisiológicos clave como la fotosíntesis, la diferenciación floral y el llenado de frutos. El ciclo reproductivo de la palma aceitera se extiende entre 24 y 36 meses, por lo que las condiciones en distintas fases del desarrollo influyen sobre la producción (Corley y Tinker, 2016; Legros et al., 2009; Combres et al., 2013). Sarkar et al. (2020) encontraron una relación negativa entre la temperatura media anual y la producción en Malasia, con reducciones de 10 a 41 % ante incrementos de 1 a 4 °C. Sin embargo, la relación no es lineal: dentro del rango óptimo, temperaturas nocturnas más elevadas pueden favorecer la actividad fisiológica, mientras que valores excesivos generan estrés térmico (Apichatmeta et al., 2017; Safitri et al., 2026).

La disponibilidad hídrica es otro factor determinante. Carr (2011) señaló que la palma requiere precipitaciones anuales superiores a 2000 mm distribuidas regularmente, y que déficits acumulados por encima de 200 mm generan caídas significativas en la producción. Rhebergen et al. (2016) y Monzon et al. (2022) identificaron el estrés hídrico como principal limitante climática del rendimiento, hallazgo respaldado por Wandri et al. (2025) en ensayos de largo plazo en Indonesia. La precipitación acumulada ha sido reconocida como predictor relevante del rendimiento en modelos estadísticos y simulaciones agrometeorológicas (Oettli et al., 2018; Pradiko et al., 2023), y la variabilidad climática extrema puede influir significativamente en la productividad (Kamil et al., 2024).

Otras variables han recibido menor atención. La radiación solar rara vez alcanza niveles limitantes en regiones tropicales húmedas (Squire, 1986; Safitri et al., 2026), y el efecto de la humedad relativa tiende

a confundirse con el de la temperatura y la precipitación (Dufrêne y Saugier, 1993; Hardwick et al., 2015).

La mayor parte de la evidencia disponible sobre la relación entre variables climáticas y rendimiento de palma aceitera proviene de plantaciones industriales del sudeste asiático y de África occidental (Woittiez et al., 2017). Estudios recientes han demostrado que el cambio climático puede modificar la aptitud de las áreas de cultivo y afectar la productividad de sistemas agrícolas tropicales, especialmente a través de alteraciones en los patrones de temperatura y precipitación (Appelt et al., 2023).

En el Perú, Panduro (2021) evaluó el efecto de la temperatura y la precipitación sobre la producción en Ucayali con datos de estaciones regionales, y Mozombite-Moreno y Revolo-Acevedo (2025) analizaron la relación clima-rendimiento en Yurimaguas. Ambos estudios emplearon registros de fuentes secundarias, lo cual limita la captura de la variabilidad microclimática dentro de las parcelas. Hardwick et al. (2015) demostraron que las condiciones microclimáticas en las plantaciones difieren de las registradas en estaciones convencionales. Para Neshuya y Boquerón no se han identificado estudios con monitoreo automatizado en parcela, lo cual dificulta la formulación de estrategias de manejo agroclimático (Pradiko et al., 2023).

El presente estudio tuvo como objetivo analizar la asociación entre las variables climatológicas registradas in situ y el rendimiento de palma aceitera en parcelas comerciales de Neshuya y Boquerón durante junio a diciembre de 2025, evaluando las diferencias entre localidades y la capacidad predictiva de las variables climáticas sobre la variación del rendimiento.

METODOLOGÍA

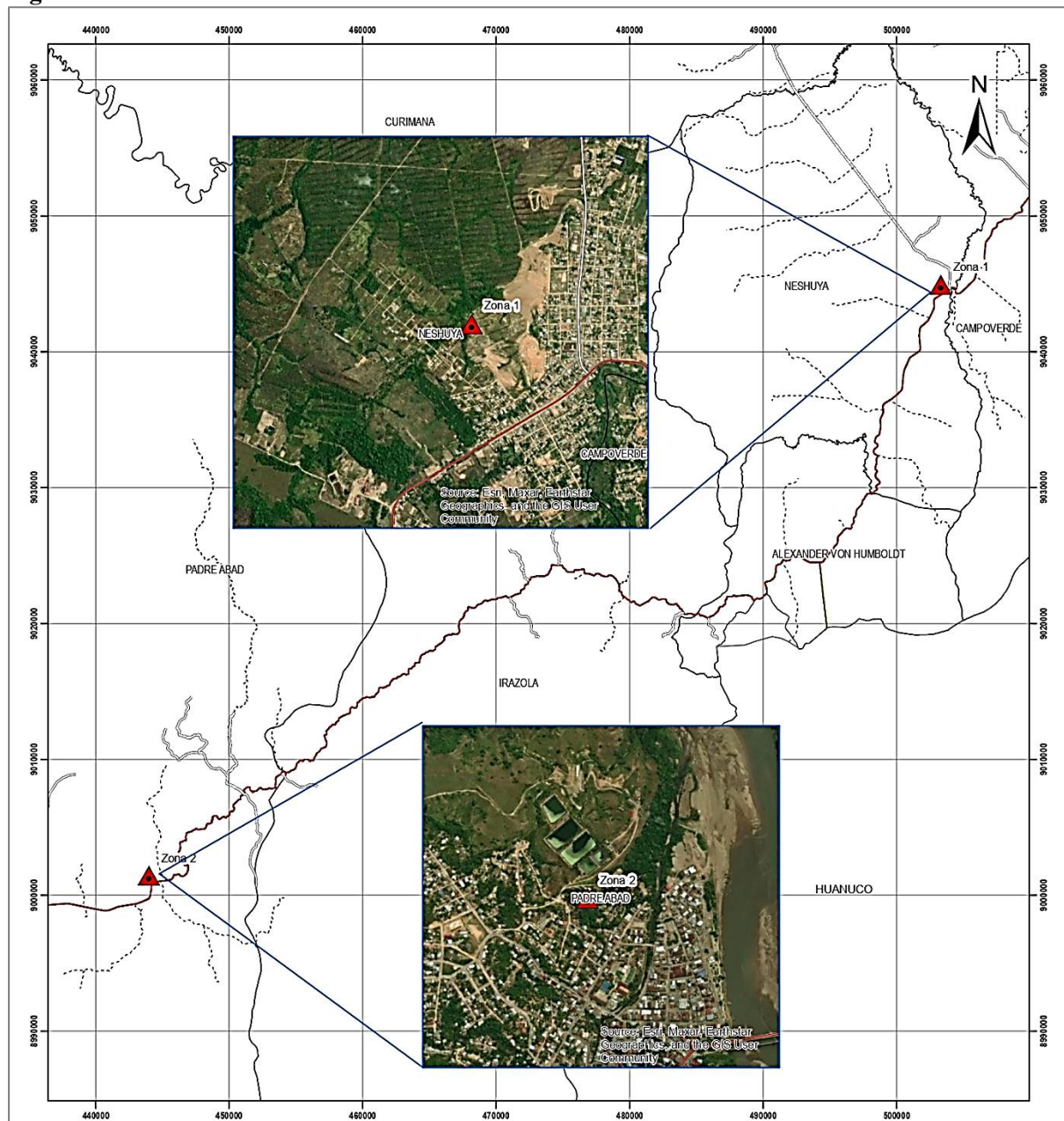
Área de estudio

La investigación se desarrolló en dos zonas del ámbito palmicultor de la provincia de Padre Abad, región Ucayali, Perú. La primera zona se ubicó en el distrito de Neshuya, en predios de la Cooperativa Central de Palmicultores de Ucayali (COCEPU), a 200 msnm (8°38'24" S, 74°58'12" O). La segunda correspondió al distrito de Boquerón, en predios de la Asociación de Palmicultores (ASPASH), a 300 msnm (9°2'0" S, 75°30'36" O). La distancia aproximada entre ambas zonas es de 50 km y presentan diferencias altitudinales y pluviométricas que justifican su comparación en términos agroclimáticos (Figura 1).



En cada zona se seleccionaron dos parcelas comerciales de palma aceitera mediante muestreo no probabilístico basado en criterios de elegibilidad relacionados con accesibilidad, homogeneidad del manejo y disponibilidad de información productiva. Las palmas presentaron una edad comprendida entre 8 y 10 años, correspondiente a la fase de madurez productiva. El material genético correspondió al híbrido comercial tipo Deli × AVROS (DxP) de *Elaeis guineensis*, con una densidad de siembra de 143 plantas por hectárea. Las parcelas compartieron condiciones similares de manejo agronómico en cuanto a fertilización, control fitosanitario y frecuencia de cosecha.

Figura 1



Tipo y diseño de investigación

El estudio correspondió a un diseño observacional, prospectivo y longitudinal, dado que las variables se registraron sin manipulación experimental a lo largo de siete meses consecutivos (junio a diciembre de 2025). El análisis incluyó un componente descriptivo y correlacional para evaluar la asociación entre variables climatológicas y rendimiento. La clasificación del diseño se estableció siguiendo el sistema de clasificación de diseños de investigación propuesto por Ato et al. (2013), ubicando el presente estudio dentro de los diseños observacionales con alcance descriptivo-correlacional

Monitoreo climatológico

Se instaló una estación meteorológica automática modelo HP2550 en la parte central de cada zona de estudio. Los equipos registraron las variables climáticas de forma continua a intervalos horarios. Los datos se almacenaron en tarjeta MicroSD y se descargaron periódicamente para su consolidación. Las variables registradas fueron temperatura ambiental (°C), humedad relativa (%), precipitación acumulada (mm), radiación solar (W/m²), velocidad del viento (m/s) y presión barométrica (hPa), de acuerdo con las especificaciones técnicas del fabricante (Ecowitt, 2024). Las estaciones fueron adquiridas, instaladas y calibradas entre marzo y abril de 2025.

El período de análisis comprendió de junio a diciembre de 2025, correspondiente al intervalo en el que se dispuso simultáneamente de registros climáticos validados y de evaluaciones de rendimiento en campo. Los registros horarios se consolidaron en promedios mensuales para temperatura (media, máxima y mínima), humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento y presión barométrica, mientras que la precipitación se expresó como acumulado mensual. El punto de rocío, también registrado por las estaciones, no se incluyó en el análisis principal por tratarse de una variable derivada de la temperatura y la humedad relativa.

Previamente al análisis se verificó la integridad de los registros y la consistencia temporal de la información generada por ambas estaciones.

Evaluación de rendimiento

El rendimiento se evaluó mediante visitas periódicas a las parcelas durante el período de junio a diciembre de 2025. En cada evaluación se registró el número de racimos cosechados y se pesó individualmente cada racimo en 20 plantas previamente marcadas por parcela, utilizando una balanza



digital calibrada con una precisión de $\pm 0,1$ kg. La frecuencia de evaluación fue quincenal. En total se evaluaron 80 plantas (40 por zona) distribuidas en cuatro parcelas (dos por zona).

El rendimiento por planta se calculó a partir del número de racimos cosechados y el peso individual de cada racimo registrado en cada evaluación. Para la conversión a toneladas por hectárea se utilizó la fórmula: $\text{rendimiento (t/ha)} = \text{peso total (kg)} \times 143 / (\text{número de plantas evaluadas} \times 1000)$, donde el peso total corresponde a la suma del peso de todos los racimos registrados y 143 a la densidad de siembra expresada en plantas por hectárea. Los valores mensuales se obtuvieron como el acumulado de todas las evaluaciones realizadas dentro de cada mes. Los análisis se realizaron a partir de valores agregados mensuales por parcela y por zona.

Análisis estadístico

El procesamiento inicial de datos se realizó en Microsoft Excel para la consolidación de bases de datos. Se verificó la integridad de los registros climáticos y se corrigieron las inconsistencias puntuales detectadas en la digitación de los datos de rendimiento. Los análisis inferenciales se ejecutaron en IBM SPSS Statistics versión 26. La ruta analítica comprendió seis fases secuenciales que se describen a continuación.

En primer lugar, se calcularon la media, desviación estándar y valores extremos para todas las variables de rendimiento y climáticas, segmentados por zona y mes. Se utilizaron 560 registros de rendimiento a nivel de planta (80 plantas evaluadas durante siete meses) y 14 observaciones mensuales para las variables climatológicas (siete por zona).

Para verificar el supuesto de normalidad se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk a la distribución del rendimiento en cada zona. Esta prueba fue seleccionada por su desempeño superior frente a Kolmogorov-Smirnov en la detección de desviaciones de la distribución normal con muestras de distintos tamaños (Shapiro y Wilk, 1965; Ghasemi y Zahediasl, 2012).

La comparación del rendimiento entre zonas se realizó por mes utilizando dos pruebas complementarias sobre los valores de rendimiento a nivel de planta. La prueba t de Student para muestras independientes comparó 40 plantas de Neshuya frente a 40 de Boquerón en cada mes. Dado que los datos no cumplieron el supuesto de normalidad, se aplicó simultáneamente la prueba U de Mann-Whitney (Mann y Whitney, 1947) como alternativa no paramétrica, adoptando un nivel de significancia de 0,05 para ambas pruebas.

Se aplicó un modelo lineal general con medidas repetidas para evaluar el efecto del factor tiempo (mes, siete niveles) como factor intra-sujetos y la zona (dos niveles) como factor inter-sujetos. En este análisis, la unidad experimental fue la parcela, con cuatro observaciones (dos parcelas por zona), por lo que la matriz de datos se reestructuró calculando el rendimiento promedio mensual por parcela. La esfericidad se evaluó con la prueba de Mauchly (1940) y, ante su violación, se aplicó la corrección de Greenhouse-Geisser (1959).

El coeficiente de correlación de Spearman se utilizó para evaluar la asociación entre cada variable climatológica mensual y el rendimiento, empleando como unidad de análisis las observaciones mensuales por zona ($n = 14$). Se seleccionó esta alternativa no paramétrica en lugar del coeficiente de Pearson debido al incumplimiento del supuesto de normalidad y al reducido tamaño muestral (Spearman, 1904). El análisis principal se realizó con los datos combinados de ambas zonas ($n = 14$). Finalmente, se realizó un análisis de regresión lineal múltiple con selección por pasos (stepwise) para identificar las variables climatológicas con mayor capacidad predictiva sobre el rendimiento mensual. Las variables candidatas fueron temperatura media, precipitación acumulada, humedad relativa media y radiación solar media. Los criterios de entrada y salida del modelo se fijaron en $p \leq 0,05$ y $p \geq 0,10$. Se verificó la ausencia de multicolinealidad mediante el factor de inflación de la varianza ($VIF < 10$) y la independencia de los residuos con el estadístico de Durbin-Watson (Durbin y Watson, 1951; O'Brien, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización climatológica de las zonas de estudio

La Tabla 1 presenta el resumen mensual de las variables climatológicas registradas en Neshuya y Boquerón durante el período de junio a diciembre de 2025. En Neshuya, la temperatura media mensual osciló entre 24,16 °C en julio y 25,55 °C en noviembre, la precipitación acumulada varió entre 19,9 mm en julio y 365,0 mm en octubre, la humedad relativa media se mantuvo entre 83,30 % y 90,99 %, y la radiación solar media fluctuó entre 113,90 y 150,11 W/m².

En Boquerón, la temperatura media registró valores entre 23,91 °C en julio y 24,96 °C en septiembre. La precipitación acumulada fue considerablemente mayor que en Neshuya, con valores entre 140,7 mm en septiembre y 796,3 mm en octubre.



La humedad relativa media se ubicó entre 87,24 % y 94,16 %, siendo consistentemente superior a la de Neshuya. La radiación solar media varió entre 105,39 y 139,64 W/m².

Tabla 1.

Variables climatológicas mensuales en las zonas de Neshuya y Boquerón, junio-diciembre 2025

Zona	Mes	T media (°C)	T máx (°C)	T mín (°C)	HR (%)	Precip. (mm)	Rad. (W/m ²)
Neshuya	Junio	24,89	34,9	19,3	89,43	89,0	113,90
Neshuya	Julio	24,16	34,4	15,6	85,26	19,9	122,99
Neshuya	Agosto	25,37	35,3	17,5	83,30	147,1	150,11
Neshuya	Septiembre	25,25	35,2	19,9	87,73	185,6	140,76
Neshuya	Octubre	25,35	34,6	20,8	89,88	365,0	128,27
Neshuya	Noviembre	25,55	33,5	21,2	90,99	260,1	114,57
Neshuya	Diciembre	25,52	32,9	20,3	90,35	93,3	137,24
Boquerón	Junio	24,12	32,5	18,8	91,98	282,2	105,39
Boquerón	Julio	23,91	33,5	16,7	88,35	147,9	118,68
Boquerón	Agosto	24,58	35,1	17,9	88,10	252,5	135,27
Boquerón	Septiembre	24,96	35,2	18,3	87,24	140,7	139,64
Boquerón	Octubre	24,69	36,1	19,9	90,86	796,3	131,57
Boquerón	Noviembre	24,86	33,6	20,8	92,97	549,9	126,70
Boquerón	Diciembre	24,63	32,5	20,2	94,16	642,6	106,07

Nota. T = temperatura; HR = humedad relativa; Precip. = precipitación acumulada mensual; Rad. = radiación solar. Datos registrados por estaciones meteorológicas automáticas HP2550.

La diferencia más notable entre localidades correspondió a la precipitación acumulada mensual, donde Boquerón superó a Neshuya en un promedio de 236,01 mm por mes. La humedad relativa fue 2,39 puntos porcentuales más elevada en Boquerón, mientras que la temperatura media resultó 0,62 °C inferior. La presión barométrica fue consistentemente menor en Boquerón, resultado coherente con su mayor altitud (300 frente a 200 msnm).

Rendimiento de palma aceitera

La Tabla 2 presenta los estadísticos descriptivos del rendimiento para ambas zonas. En Neshuya, el rendimiento medio mensual presentó una tendencia creciente desde junio (0,0309 t/ha) hasta alcanzar su valor más alto en octubre (0,1801 t/ha), para luego descender en noviembre y diciembre. El peso promedio por racimo superó los 11 kg en septiembre, octubre y diciembre.

En Boquerón, el rendimiento osciló entre 0,0181 t/ha en julio y 0,1531 t/ha en noviembre. El número promedio de racimos por planta fue más elevado que en Neshuya en la mayoría de los meses, llegando

a 2,85 en noviembre, pero el peso promedio por racimo fue menor, situándose generalmente por debajo de 10 kg. Este patrón indica que Boquerón produjo mayor cantidad de racimos de menor tamaño individual.

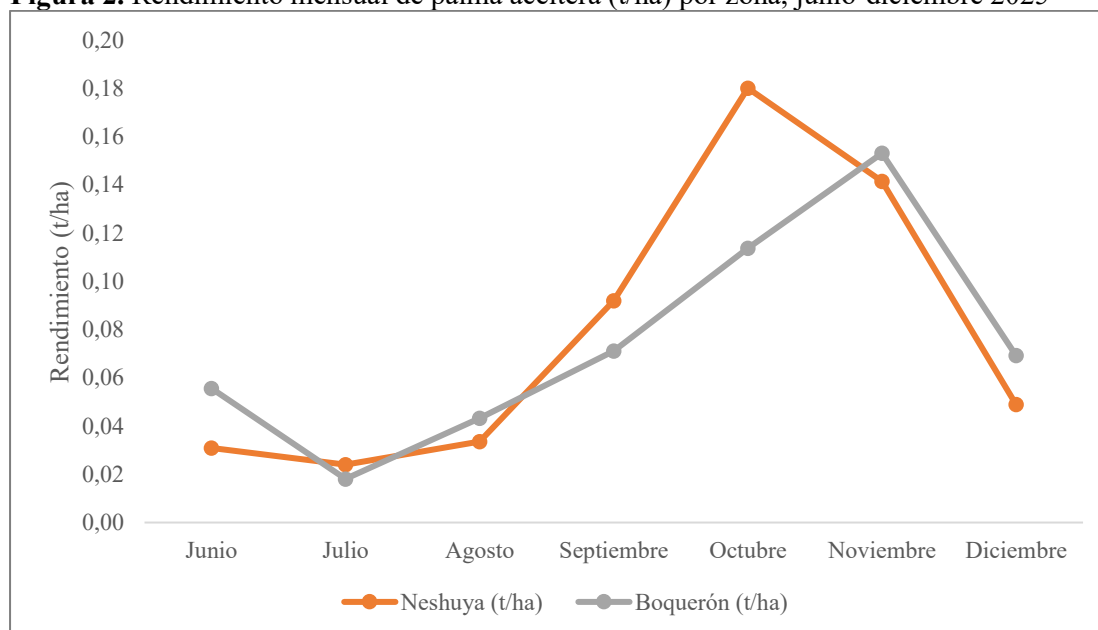
Tabla 2. Estadísticos descriptivos del rendimiento de palma aceitera por zona, junio-diciembre 2025

Zona	Mes	n	Racimos/planta (M ± DE)	Peso total kg (M ± DE)	Peso/racimo kg (M ± DE)	Rend. t/ha (M ± DE)
Neshuya	Junio	40	0,35 ± 0,77	4,33 ± 9,75	2,75 ± 5,40	0,0309 ± 0,0697
Neshuya	Julio	40	0,42 ± 0,81	3,36 ± 6,82	2,12 ± 4,25	0,0240 ± 0,0488
Neshuya	Agosto	40	0,50 ± 0,88	4,69 ± 9,40	2,39 ± 4,29	0,0336 ± 0,0672
Neshuya	Septiembre	40	1,05 ± 1,11	12,87 ± 15,74	6,74 ± 7,07	0,0920 ± 0,1125
Neshuya	Octubre	40	1,50 ± 1,36	25,19 ± 24,45	11,05 ± 8,39	0,1801 ± 0,1748
Neshuya	Noviembre	40	1,68 ± 1,70	19,79 ± 20,72	8,08 ± 6,03	0,1415 ± 0,1481
Neshuya	Diciembre	40	0,60 ± 0,78	6,85 ± 9,37	4,82 ± 5,92	0,0490 ± 0,0670
Boquerón	Junio	40	1,02 ± 1,05	7,78 ± 8,28	5,05 ± 4,07	0,0556 ± 0,0592
Boquerón	Julio	40	0,40 ± 0,67	2,53 ± 4,12	2,01 ± 3,27	0,0181 ± 0,0294
Boquerón	Agosto	40	0,80 ± 0,99	6,04 ± 7,36	3,75 ± 4,24	0,0432 ± 0,0526
Boquerón	Septiembre	40	1,32 ± 0,97	9,95 ± 8,36	5,91 ± 3,62	0,0711 ± 0,0598
Boquerón	Octubre	40	1,57 ± 1,57	15,91 ± 18,20	6,97 ± 5,08	0,1137 ± 0,1301
Boquerón	Noviembre	40	2,85 ± 0,89	21,41 ± 8,98	7,31 ± 1,56	0,1531 ± 0,0642
Boquerón	Diciembre	40	1,45 ± 0,88	9,69 ± 5,82	6,25 ± 2,30	0,0693 ± 0,0416

Nota. n = plantas evaluadas por mes; M = media; DE = desviación estándar. Densidad de siembra de 143 plantas/ha. Rendimiento (t/ha) = peso total (kg) × 143 / (n × 1000).

Ambas zonas mostraron un patrón estacional similar, con rendimientos bajos entre junio y agosto y valores máximos entre septiembre y noviembre (Figura 2). Diciembre marcó un descenso en ambos casos. La alta desviación estándar observada en todos los meses refleja la variabilidad natural entre plantas, donde algunas producen varios racimos mientras que otras no producen ninguno en un mes determinado.

Figura 2. Rendimiento mensual de palma aceitera (t/ha) por zona, junio-diciembre 2025



Este comportamiento estacional coincide con Monzon et al. (2022), quienes describieron variaciones temporales del rendimiento asociadas a condiciones climáticas y a ciclos endógenos del cultivo en Indonesia. En Padre Abad, el incremento productivo hacia la segunda mitad del período es consistente con la transición del período seco al lluvioso que caracteriza al trópico amazónico.

Comparación del rendimiento entre zonas

La prueba de Shapiro-Wilk indicó que el rendimiento no siguió una distribución normal en ninguna de las dos zonas ($p < 0,001$ en ambos casos), lo cual se explica por la alta proporción de plantas con cero racimos en determinados meses. Frente a este resultado, se aplicaron pruebas no paramétricas complementarias en las fases subsecuentes del análisis.

La Tabla 3 presenta los resultados de la prueba *t* de Student y la prueba *U* de Mann-Whitney por mes. La prueba *t* no detectó diferencias significativas en ninguno de los siete meses, con valores de significancia entre 0,058 en octubre y 0,653 en noviembre. La prueba *U* de Mann-Whitney arrojó resultados concordantes en cinco meses, pero detectó diferencias significativas en junio ($U = 491$; $p = 0,001$) y diciembre ($U = 548$; $p = 0,014$), ambas con rangos más altos para Boquerón.

Tabla 3.

Comparación del rendimiento (t/ha) entre zonas por mes mediante prueba t y U de Mann-Whitney

Mes	Neshuya (M ± DE)	Boquerón (M ± DE)	t	Sig. (t)	U	Sig. (U)
Junio	0,0309 ± 0,0697	0,0556 ± 0,0592	-1,705	0,092	491,0	0,001*
Julio	0,0240 ± 0,0488	0,0181 ± 0,0294	0,657	0,513	784,0	0,845
Agosto	0,0336 ± 0,0672	0,0432 ± 0,0526	-0,711	0,479	662,5	0,128
Septiembre	0,0920 ± 0,1125	0,0711 ± 0,0598	1,035	0,304	800,0	1,000
Octubre	0,1801 ± 0,1748	0,1137 ± 0,1301	1,927	0,058	643,5	0,127
Noviembre	0,1415 ± 0,1481	0,1531 ± 0,0642	-0,451	0,653	634,0	0,109
Diciembre	0,0490 ± 0,0670	0,0693 ± 0,0416	-1,629	0,107	548,0	0,014*

Nota. n = 40 plantas por zona por mes. M = media; DE = desviación estándar. * p < 0,05.

Las discrepancias entre ambas pruebas en junio y diciembre se explican porque Mann-Whitney evalúa diferencias en la distribución completa de rangos, no solo en las medias, y resulta sensible a la asimetría y a la alta proporción de valores nulos característica de los meses de baja producción. En conjunto, los resultados indican que no existen diferencias consistentes ni generalizadas en el rendimiento entre Neshuya y Boquerón durante el período evaluado. Fleiss et al. (2022) encontraron que las diferencias entre plantaciones de Malasia se asociaron principalmente con factores de manejo, suelo y material genético antes que con las condiciones climáticas. En la presente investigación, la selección de parcelas con criterios homogéneos de edad, material genético y manejo pudo haber atenuado la expresión de las diferencias ambientales sobre el rendimiento.

Variación temporal e interacción zona-tiempo

El ANOVA de medidas repetidas confirmó los hallazgos anteriores desde una perspectiva multifactorial. La prueba de Mauchly indicó violación del supuesto de esfericidad (W = 0,000), por lo que los resultados se interpretaron con la corrección de Greenhouse-Geisser. La Tabla 4 presenta los efectos intra-sujetos e inter-sujetos.

Tabla 4. Resultados del ANOVA de medidas repetidas para rendimiento (t/ha)

Fuente	Corrección	SC tipo III	gl	MC	F	Sig.	η^2p
Mes	Greenhouse-Geisser	25,490	1,166	21,866	49,168	0,013	0,961
Mes × Zona	Greenhouse-Geisser	2,407	1,166	2,065	4,643	0,148	0,699
Zona	Inter-sujetos	0,042	1	0,042	0,315	0,631	0,136

Nota. SC = suma de cuadrados; MC = media cuadrática; η^2p = eta cuadrado parcial. Efectos intra-sujetos con corrección de Greenhouse-Geisser por violación de esfericidad (Mauchly W = 0,000). Efecto inter-sujetos para el factor Zona.



El efecto del factor Mes resultó significativo ($F = 49,168$; $p = 0,013$; $\eta^2p = 0,961$), confirmando que el rendimiento varió de manera significativa a lo largo del período evaluado. El tamaño del efecto indica que el 96,1 % de la varianza del rendimiento se explica por el factor temporal. La interacción Mes $\times$ Zona no alcanzó significancia ($F = 4,643$; $p = 0,148$; $\eta^2p = 0,699$), lo cual indica que el patrón temporal general fue similar en ambas localidades.

El factor Zona no presentó un efecto significativo sobre el rendimiento promedio global ($F = 0,315$; $p = 0,631$; $\eta^2p = 0,136$). Este resultado confirma que las diferencias climatológicas entre Neshuya y Boquerón no se tradujeron en diferencias significativas en la productividad. Cabe precisar que el ANOVA operó con dos parcelas por zona como unidades experimentales, lo cual restringió los grados de libertad del error inter-sujetos a dos e impidió el cálculo de pruebas multivariantes.

Asociación entre variables climatológicas y rendimiento

La Tabla 5 presenta los coeficientes de correlación de Spearman entre las variables climatológicas mensuales y el rendimiento ($n = 14$). La temperatura mínima presentó la asociación más fuerte ($\rho = 0,822$; $p < 0,001$), seguida de la precipitación acumulada ($\rho = 0,688$; $p = 0,007$).

Tabla 5.

Correlaciones de Spearman entre variables climatológicas y rendimiento de palma aceitera ($n = 14$)

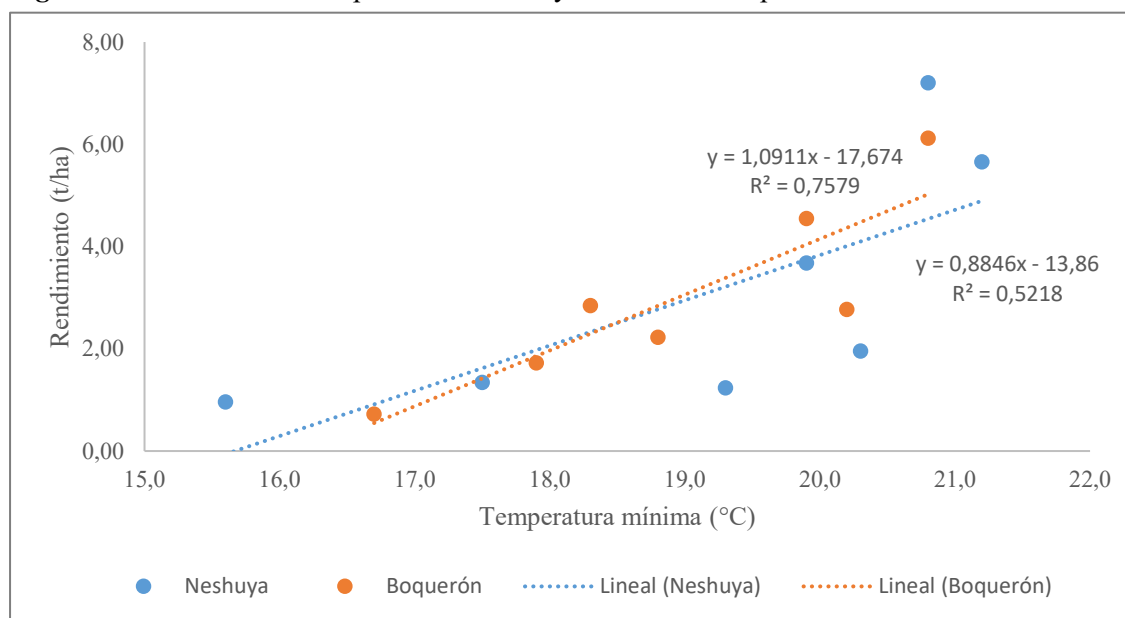
Variable climática	ρ	Sig. (bilateral)
Temperatura media ($^{\circ}\text{C}$)	0,455	0,102
Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)	0,075	0,799
Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$)	0,822**	< 0,001
Humedad relativa (%)	0,495	0,072
Precipitación acumulada (mm)	0,688**	0,007
Radiación solar (W/m^2)	0,095	0,748
Velocidad del viento (m/s)	-0,150	0,608
Presión barométrica (hPa)	-0,398	0,159

Nota. ** $p < 0,01$ (bilateral). ρ = coeficiente de correlación de Spearman. $n = 14$ observaciones mensuales (7 meses $\times$ 2 zonas).

La correlación positiva de la temperatura mínima con el rendimiento (Figura 3) difiere de Sarkar et al. (2020), quienes hallaron una relación negativa en Malasia, y de Mozombite-Moreno y Revolo-Acevedo (2025), con una correlación de -0,597 en Yurimaguas. Abubakar et al. (2021), en una revisión sistemática sobre los efectos del cambio climático en la producción de palma aceitera, confirmaron que las temperaturas elevadas reducen la productividad por estrés térmico y alteración de procesos

fisiológicos. La divergencia se explica al considerar que en Padre Abad la temperatura media osciló entre 23,91 y 25,55 °C, dentro del intervalo favorable de 24 a 28 °C indicado por Corley y Tinker (2016).

Figura 3. Relación entre temperatura mínima y rendimiento de palma aceitera



Dentro de ese rango, variaciones térmicas moderadas pueden asociarse con mayor actividad fisiológica y mejor desempeño reproductivo (Legros et al., 2009). Zhang et al. (2025) confirmaron que la temperatura mínima durante la etapa de floración fue el factor meteorológico con mayor influencia sobre el rendimiento en Malasia, y que temperaturas nocturnas más bajas favorecen la acumulación de reservas de carbohidratos necesarias para el desarrollo de los racimos. Los estudios con relaciones negativas abarcan contextos donde las temperaturas superan el límite superior del rango óptimo, condición que no se presentó en esta investigación. La temperatura media mostró una tendencia positiva ($\rho = 0,455$; $p = 0,102$) sin alcanzar significancia estadística.

La precipitación acumulada confirmó su relevancia como factor asociado al rendimiento, resultado coherente con Carr (2011) y con Monzon et al. (2022), quienes identificaron el estrés hídrico como el principal factor de variación del rendimiento en Indonesia. Kamil et al. (2024) corroboraron esta tendencia al reportar que anomalías en la precipitación se asociaron con reducciones significativas en el rendimiento de racimos en plantaciones de Malasia.

Sin embargo, esta asociación debe interpretarse como una relación observada y no como evidencia causal, dado que la precipitación contemporánea puede estar correlacionada estacionalmente con las condiciones que prevalecieron durante fases reproductivas anteriores del cultivo.

La radiación solar no mostró asociación significativa con el rendimiento ($\rho = 0,095$; $p = 0,748$). Este resultado coincide con Oettli et al. (2018) y con Woittiez et al. (2017), quienes indicaron que la especie requiere un mínimo aproximado de $15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. Los valores registrados en ambas zonas se mantuvieron dentro de un rango no limitante, lo que contribuye a explicar la ausencia de un efecto detectable.

La humedad relativa presentó una tendencia positiva ($\rho = 0,495$; $p = 0,072$) sin alcanzar significancia. Munévar (2004) indicó que la palma aceitera se adapta bien a ambientes con humedad superior a 75 %, condición ampliamente cumplida en ambas zonas (83,30 a 94,16 %). La escasa variabilidad dentro de un rango favorable pudo limitar la capacidad discriminante de esta variable. Su efecto podría confirmarse con series más extensas o con el cálculo directo del déficit de presión de vapor, cuya relevancia fue destacada por Pradiko et al. (2023).

Modelo predictivo del rendimiento

La Tabla 6 presenta los modelos de regresión lineal múltiple con selección por pasos. El primer modelo incorporó la precipitación acumulada como único predictor, explicando el 31,0 % de la varianza del rendimiento ($R^2 = 0,310$; R^2 ajustado = 0,252; $F = 5,380$; $p = 0,039$).

Tabla 6. Modelos de regresión lineal múltiple por pasos para el rendimiento de palma aceitera (t/ha)

Modelo	Predictores incluidos	R	R^2	R^2 ajustado	Cambio en R^2
1	Precipitación acumulada	0,556	0,310	0,252	0,310
2	Precipitación acumulada + Temperatura media	0,753	0,568	0,489	0,258

Nota. Variable dependiente: rendimiento (t/ha). Método de selección por pasos (stepwise). VIF < 1,01 en ambos predictores. Durbin-Watson del Modelo 2 = 2,310.

El segundo modelo añadió la temperatura media, elevando la capacidad explicativa al 56,8 % de la varianza ($R^2 = 0,568$; R^2 ajustado = 0,489; $F = 7,220$; $p = 0,010$). La incorporación de la temperatura media aportó un incremento del 25,8 % en la varianza explicada. El factor de inflación de varianza fue inferior a 1,01 para ambos predictores, descartando multicolinealidad. El estadístico de Durbin-Watson (2,310) se ubicó dentro del rango aceptable, sugiriendo ausencia de autocorrelación en los residuos.

La humedad relativa y la radiación solar no ingresaron al modelo por no cumplir el criterio de significancia del método *stepwise*. Estos resultados son consistentes con las correlaciones bivariadas reportadas en la Tabla 5.

La capacidad explicativa del modelo ($R^2 = 0,568$) es comparable al 50,16 % reportado por Pradiko et al. (2023) en Indonesia y sustancialmente superior al valor inferior al 1 % de Fleiss et al. (2022) en Malasia. Wandri et al. (2025) corroboraron que el estrés hídrico constituye el principal determinante de la variación temporal del rendimiento en ensayos de largo plazo en Indonesia, incluso cuando se optimiza la fertilización. Esta diferencia podría deberse a que Fleiss et al. evaluaron plantaciones con manejo intensivo que atenúa la señal climática. La proporción no explicada, cercana al 43 %, puede atribuirse a factores edáficos, historial de fertilización y eficiencia de cosecha, elementos que Woittiez et al. (2017) y Rhebergen et al. (2020) identificaron como determinantes del rendimiento no capturados en modelos exclusivamente climáticos.

CONCLUSIONES

Las condiciones climáticas locales mostraron una asociación significativa con el rendimiento de palma aceitera en los distritos de Neshuya y Boquerón durante el período evaluado. La temperatura mínima fue la variable con mayor capacidad de asociación con la productividad, seguida de la precipitación acumulada, que además constituyó el primer predictor retenido en el modelo de regresión. Ambas variables, junto con la temperatura media, explicaron de manera conjunta una proporción relevante de la variación del rendimiento.

La radiación solar y la humedad relativa no evidenciaron asociación significativa, resultado atribuible a que sus valores se mantuvieron dentro de rangos no limitantes para el cultivo durante todo el período de monitoreo.

El rendimiento presentó un patrón estacional común a ambas localidades, con valores bajos durante los meses secos y máximos durante la transición al período lluvioso, sin que las diferencias climatológicas entre zonas se tradujeran en diferencias significativas en la productividad promedio. Estos hallazgos aportan la primera línea base microclimática obtenida mediante estaciones automáticas instaladas directamente en parcelas comerciales de la provincia de Padre Abad.

Se recomienda ampliar el período de monitoreo para generar series plurianuales que permitan evaluar la variabilidad interanual del rendimiento, incrementar el número de parcelas de estudio, e incorporar análisis con desfases temporales entre las variables climáticas y la producción, considerando que la literatura ha documentado efectos del clima sobre la palma aceitera con rezagos asociados a fases críticas del ciclo reproductivo.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el Fondo de Desarrollo Socioeconómico de Camisea (FOCAM), a través de la Universidad Nacional de Ucayali. Los autores agradecen al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional de Ucayali por el respaldo institucional, a la Cooperativa Central de Palmicultores de Ucayali (COCEPU) y a la Asociación de Palmicultores (ASPASH) por facilitar el acceso a las parcelas de estudio, y a los técnicos de campo que colaboraron en la verificación de los equipos y la descarga de datos.

Contribución de autores

M. A. Pilco-Lozano: Conceptualización, Metodología, Investigación, Supervisión, Administración del proyecto, Obtención de financiamiento. F. Pérez-Leal: Metodología, Redacción – revisión y edición, Supervisión. R. A. Pilco-Panduro: Investigación, Recursos, Redacción – revisión y edición. J. A. López-Ucarieque: Investigación, Recursos, Validación. L. A. Díaz-Sandoval: Investigación, Recursos, Validación, Análisis formal, Redacción – revisión y edición. W. M. Paredes-Isidro: Investigación, Curación de datos, Análisis formal, Visualización.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abubakar, A., Ishak, M. Y., & Makmom, A. A. (2021). Impacts of and adaptation to climate change on the oil palm in Malaysia: A systematic review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(39), 54339–54361. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15890-3>.
- Appelt, J. L., Saphangthong, T., Malek, Ž., Verburg, P. H., & van Vliet, J. (2023). Climate change impacts on tree crop suitability in Southeast Asia. *Regional Environmental Change*, 23, 117. <https://doi.org/10.1007/s10113-023-02111-5>



- Apichatmeta, K., Sudsiri, C. J., & Ritchie, R. J. (2017). Photosynthesis of oil palm (*Elaeis guineensis*). *Scientia Horticulturae*, 214, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.013>
- Ato, M., López-García, J. J., & Benavente, A. (2013). Un sistema de clasificación de los diseños de investigación en psicología. *Anales de Psicología*, 29(3), 1038–1059. <https://doi.org/10.6018/analesps.29.3.178511>
- Brizuela-Torres, D., Gutierrez-Velez, V. H., DeFries, R., Müller, R., & Pacheco, P. (2025). Is oil palm a threat or an opportunity for Peru's forests? *Journal of Environmental Management*, 394, 127462. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127462>
- Carr, M. K. V. (2011). The water relations and irrigation requirements of oil palm (*Elaeis guineensis*): A review. *Experimental Agriculture*, 47(4), 629–652. <https://doi.org/10.1017/S0014479711000494>
- Combres, J.-C., Pallas, B., Rouan, L., Mialet-Serra, I., Caliman, J.-P., Braconnier, S., Soulié, J.-C., & Dingkuhn, M. (2013). Simulation of inflorescence dynamics in oil palm and estimation of environment-sensitive phenological phases: A model based analysis. *Functional Plant Biology*, 40(3), 263–279. <https://doi.org/10.1071/FP12133>
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2016). The oil palm (5th ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118953297>
- Dufrêne, E., & Saugier, B. (1993). Gas exchange of oil palm in relation to light, vapour pressure deficit, temperature and leaf age. *Functional Ecology*, 7(1), 97–104. <https://doi.org/10.2307/2389872>
- Durbin, J., & Watson, G. S. (1951). Testing for serial correlation in least squares regression. II. *Biometrika*, 38(1-2), 159–178. <https://doi.org/10.1093/biomet/38.1-2.159>
- Fleiss, S., McClean, C. J., King, H., & Hill, J. K. (2022). Limited impacts of climatic conditions on commercial oil palm yields in Malaysian plantations. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3, 59. <https://doi.org/10.1186/s43170-022-00127-1>
- Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2012). Normality tests for statistical analysis: A guide for non-statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, 10(2), 486–489. <https://doi.org/10.5812/ijem.3505>



- Greenhouse, S. W., & Geisser, S. (1959). On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika*, 24(2), 95–112. <https://doi.org/10.1007/BF02289823>
- Hardwick, S. R., Toumi, R., Pfeifer, M., Turner, E. C., Nilus, R., & Ewers, R. M. (2015). The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201, 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.11.010>
- Kamil, N. N., Xiao, S., Syed Salleh, S. N., Xu, H., & Zhuang, C. C. (2024). Nonlinear impacts of climate anomalies on oil palm productivity. *Heliyon*, 10(16), e35798. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35798>
- Legros, S., Mialet-Serra, I., Caliman, J. P., Siregar, F. A., Clément-Vidal, A., & Dingkuhn, M. (2009). Phenology and growth adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to photoperiod and climate variability. *Annals of Botany*, 104(6), 1171–1182. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp214>
- Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics*, 18(1), 50–60. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>
- Mauchly, J. W. (1940). Significance test for sphericity of a normal n-variate distribution. *The Annals of Mathematical Statistics*, 11(2), 204–209. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177731915>
- Monzon, J. P., Jabloun, M., Cock, J., Caliman, J. P., Couëdel, A., Donough, C. R., Vui, P. H. V., Lim, Y. L., Mathews, J., Oberthür, T., Prabowo, N. E., Rattalino Edreira, J., Sidhu, M., Slingerland, M. A., Sugianto, H., & Grassini, P. (2022). Influence of weather and endogenous cycles on spatiotemporal yield variation in oil palm. *Agricultural and Forest Meteorology*, 314, 108789. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108789>
- Mozombite-Moreno, L. A., & Revolo-Acevedo, R. H. (2025). Rendimiento de la palma aceitera relacionado al cambio climático en zona tropical, Yurimaguas, Alto Amazonas, Loreto, Perú. *Idesia*, 43, e08. <https://doi.org/10.4067/0718-3429-idesia-2025-43-e08>
- Munariz, J. G. (2020). Evaluación agroeconómica de los factores de producción de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) a nivel de pequeños productores del valle Shambillo en Aguaytía, región



- Ucayali [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ucayali].
<https://hdl.handle.net/20.500.14621/4838>
- Munévar M., F. (2004). Criterios agroecológicos útiles en la selección de tierras para nuevas siembras de palma de aceite en Colombia. *Palmas*, 25(especial), 148–159.
- O'Brien, R. M. (2007). A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors. *Quality & Quantity*, 41, 673–690. <https://doi.org/10.1007/s11135-006-9018-6>
- Oettli, P., Behera, S. K., & Yamagata, T. (2018). Climate based predictability of oil palm tree yield in Malaysia. *Scientific Reports*, 8, 2271. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20298-0>
- Panduro, N. M. (2021). Impacto de la variabilidad de la temperatura y precipitación pluvial sobre la producción de la palma aceitera, cacao y camu camu en Ucayali [Tesis doctoral, Universidad Nacional Hermilio Valdizán].
- Pradiko, I., Hariyadi, H., & June, T. (2023). Quantification of climate factors contributing to variation of oil palm yield. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 31(2), 108–123. <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v31i2.222>
- Rhebergen, T., Fairhurst, T., Zingore, S., Fisher, M., Oberthür, T., & Whitbread, A. (2016). Climate, soil and land-use based land suitability evaluation for oil palm production in Ghana. *European Journal of Agronomy*, 81, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.08.004>
- Rhebergen, T., Zingore, S., Giller, K. E., Adu Frimpong, C., Acheampong, K., Tetteh Ohipeni, F., Panyin, E. K., Zutah, V., & Fairhurst, T. (2020). Closing yield gaps in oil palm production systems in Ghana through best management practices. *European Journal of Agronomy*, 115, 126011. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126011>
- Safitri, L., Galdos, M. V., Pradiko, I., Comber, A., & Challinor, A. (2026). Assessing climate-smartness of agronomic practices in oil palm production under changing climate conditions. *European Journal of Agronomy*, 174, 127966. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127966>
- Sarkar, M. S. K., Begum, R. A., & Pereira, J. J. (2020). Impacts of climate change on oil palm production in Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(9), 9760–9770. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07601-1>

- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3-4), 591–611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things. *The American Journal of Psychology*, 15(1), 72–101.
- Squire, G. R. (1986). A physiological analysis of oil palm trials. *PORIM Bulletin*, 12, 12–31.
- Wandri, R., Monzon, J. P., Carciochi, W. D., Hairiah, K., Suprayogo, D., van Noordwijk, M., Asmono, D., & Grassini, P. (2025). Can improved plant nutrition buffer against water-related yield losses in oil palm? *Agricultural Water Management*, 322, 109980. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109980>
- Woittiez, L. S., van Wijk, M. T., Slingerland, M., van Noordwijk, M., & Giller, K. E. (2017). Yield gaps in oil palm: A quantitative review of contributing factors. *European Journal of Agronomy*, 83, 57–77. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.002>
- Zhang, D., Wang, J., Zhou, Y., Cui, M., & Li, X. (2025). Impacts of tropical sea surface temperature variability on oil palm yield in Malaysia. *Environmental Research Communications*, 7, 081007. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/adf79a>