

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

ESCUELA DE POSGRADO



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**MAESTRÍA EN CAMBIO CLIMÁTICO, AGRICULTURA Y
DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE**

**EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO (N₂O) RESULTANTES
DE LA APLICACIÓN DE FUENTES NITROGENADAS EN
SUELOS CAFETALEROS DE CHIRINOS, CAJAMARCA,
PERÚ**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO
EN CIENCIAS EN CAMBIO CLIMÁTICO, AGRICULTURA Y
DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE**

Autor: Bach. Jorge Antonio Fernandez Jibaja

Asesores: Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo

Dr. Guillermo Guardia Vázquez

Línea de investigación: Mitigación del cambio climático

JAÉN – PERÚ

2026

Jorge Antonio Fernandez Jibaja

EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO (N₂O) RESULTANTES DE LA APLICACIÓN DE FUENTES NITROGENADAS EN SUELOS CAFE...

 Quick Submit Quick Submit Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3637382539

Fecha de entrega

31 ago 2026, 11:15 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

31 ago 2026, 11:22 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

1._INFORME_FINAL_DE_TESIS_Subsanado_Post_Sust.docx.docx

Tamaño del archivo

4.7 MB

131 páginas

28.201 palabras

154.984 caracteres



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Alexander Huamán Mera

DIRECTOR (a) DE LA ESCUELA DE POSGRADO

2% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
16 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN


Dr. Alexander Huamán Mera
DIRECTOR (a) DE LA ESCUELA DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO (X) /DOCTOR()

En la ciudad de Jaén, el día 20 de agosto del año 2026, siendo las 16:00 horas, el sustentante Jorge Antonio Fernández Jibaja defiende en sesión pública presencial (X) / a distancia () la Tesis titulada: **EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO (N₂O) RESULTANTE DE LA APLICACIÓN DE FUENTES NITROGENADAS EN SUELOS CAFETALEROS DE CHIRINOS, CAJAMARCA, PERÚ**, para obtener el Grado Académico de Maestro (X)/Doctor () en Ciencias en Cambio Climático, Agricultura y Desarrollo Rural Sostenible, ante el Jurado Evaluador conformado por:

Presidente: Dr. Manuel Emilio Milla Pino

Secretario: Dr. Alexander Huamán Mera

Vocal: Dr. Segundo Sánchez Tello

El sustentante procedió hacer la exposición de la investigación, haciendo especial mención de sus aportaciones a la sociedad y/o ciencia. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el sustentante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del sustentante, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis de Maestría (X)/Doctorado (), en términos de:

Aprobado (X) por Unanimidad (X) / Mayoría () Desaprobado ()



CONTACTO

Oficina Posgrado: 959211333



EMAIL

posgrado@unj.edu.pe



DIRECCIÓN

Carretera Jaén – San Ignacio Km 24
Sector Yanuyacu



REDES SOCIALES

      
www.unj.edu.pe

UNJ | EPG

ESCUELA DE POSGRADO

Con la mención: En Cambio Climático, Agricultura y Desarrollo Rural Sostenible

- Aprobado con excelencia : 19 - 20 ()
- Aprobado con distinción : 17-18 ()
- Aprobado : 14-16 (16)
- Desaprobado : <14 ()

Otorgada la calificación, el secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en sesión pública.

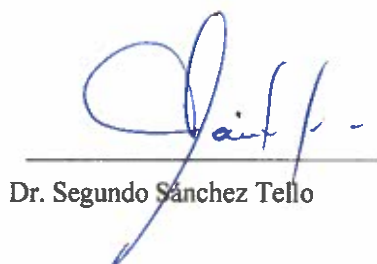
Siendo las horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Grado Académico de Maestro (X)/Doctor ().



Dr. Manuel Emilio Milla Pino



Dr. Alexander Huamán Mera



Dr. Segundo Sanchez Tello

OBSERVACIONES:

.....

.....



CONTACTO

Oficina Posgrado: 959211333



EMAIL

posgrado@unj.edu.pe



DIRECCIÓN

Carretera Jaén - San Ignacio Km 24
Sector Yanuyacu



REDES SOCIALES

         
www.unj.edu.pe

“Año de la recuperación y consolidación de la economía Peruana”

ANEXO N° 7:

**Declaración Jurada de Autenticidad y de no plagio
de la Tesis o Trabajo de Investigación (posgrado)**

Yo, Jorge Antonio Fernandez Jibaja, egresado del Programa de Maestría en Cambio Climático, Agricultura y Desarrollo Rural Sostenible de la Universidad Nacional de Jaén, identificado con DNI 73892424

Declaro bajo juramento que:

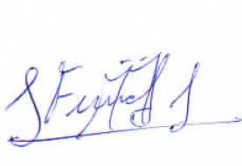
7. Soy autor del trabajo titulado:
“Emisiones de Óxido Nitroso (N_2O) Resultantes de la Aplicación de Fuentes Nitrogenadas en Suelos Cafetaleros de Chirinos, Cajamarca, Perú”

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar el **Grado de Maestro en Ciencias en Cambio Climático, Agricultura y Desarrollo Rural Sostenible**.

8. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
9. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
10. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
11. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 07 de setiembre de 2026



Jorge Antonio Fernandez Jibaja
DNI: 73892424

Dedicatoria

A Dios, a mi familia y a quienes estuvieron presentes en el transcurso de este proceso.

Jorge Antonio Fernandez Jibaja

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios por la oportunidad de estar presente y culminar esta investigación, asimismo agradezco a Lida Yanet, Jorge Carlos, Nerea Romina, Carlos Andre, Loyola Sampertegui y Lida Pérez por la confianza e impulso, de igual manera agradezco a mis asesores Annick y Guillermo por el acompañamiento, asesoramiento y disposición para la mejora y conclusión de este trabajo.

Agradezco también a la Universidad Nacional de Jaén por el apoyo brindado a través del Instituto de Ciencia de Datos (INSCID) y el laboratorio de Ingeniería Forestal y Ambiental para el procesamiento de muestras de suelo. De igual manera agradezco el respaldo y acompañamiento brindado por el grupo de investigación Contaminación de Sistemas Agroforestales por Prácticas Agrícolas (COSAPRA).

Mi reconocimiento especial a la Universidad Politécnica de Madrid que a través del Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEIGRAM) procesó las muestras de gases mediante la técnica de cromatografía.

A La Cooperativa Agraria Cafetalera La Prosperidad de Chirinos por la disposición para brindar un espacio entre sus parcelas para la ejecución de las actividades de la investigación.

A PROCIENCIA por el apoyo financiero brindado a través del proyecto “Determinación del efecto de fuentes nitrogenadas estabilizadas sobre la emisión de óxido nitroso (N_2O) procedente de suelos cafetaleros utilizando minería de datos e IoT en San Ignacio – Cajamarca” (código PE501078096-2022).

I. ÍNDICE

I. ÍNDICE.....	IV
II. RESUMEN	VII
III. INTRODUCCIÓN	1
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	3
4.1. Antecedentes de la investigación	3
4.2. Bases teóricas	4
V. MATERIALES Y MÉTODOS	18
5.1. Área de estudio.....	18
5.2. Tipo y diseño de estudio	19
5.3. Población, muestra y muestreo	24
5.4. Variables de estudio	24
5.5. Métodos.....	24
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
6.1. Resultados	28
6.2. Discusión	36
VII. CONCLUSIONES	44
VIII. RECOMENDACIONES	45
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
I. ANEXOS	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clasificación taxonómica del cultivo de café</i>	7
Tabla 2 <i>Dosificación de la fertilización</i>	21
Tabla 3 <i>Composición de nitrógeno de las fuentes nitrogenadas incorporadas</i> .	23
Tabla 4 <i>Operacionalización de variables</i>	24
Tabla 5 <i>Prueba global de efectos fijos del modelo mixto</i>	29
Tabla 6 <i>Factor de emisión (FE) por tratamiento y bloque</i>	30
Tabla 7 <i>Estadística descriptiva de las propiedades del suelo</i>	33
Tabla 8 <i>Estadísticas de ajuste del modelo</i>	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Plano de ubicación del área de estudio</i>	18
Figura 2 <i>Climograma de Chirinos</i>	19
Figura 3 <i>Diseño experimental de la investigación en la finca cafetalera</i>	20
Figura 4 <i>Emisiones de N₂O por tratamiento. a) Dispersión de datos por tratamiento b) Emisiones acumuladas durante el muestreo</i>	28
Figura 5 <i>Dinámica temporal del flujo de N₂O bajo cinco tratamientos</i>	30
Figura 6 <i>Comportamiento de las variables meteorológicas durante el transcurso de la investigación.</i>	32
Figura 7 <i>Variación temporal en las propiedades del suelo</i>	34
Figura 8 <i>Importancia de las variables evaluadas</i>	36

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 <i>Emisiones de N₂O por muestreo</i>	66
Anexo 2 <i>Estadística descriptiva de las emisiones de N₂O</i>	67
Anexo 3 <i>Supuestos estadísticos para la aplicación de ANOVA de medidas repetidas</i>	68
Anexo 4 <i>Características edáficas registradas</i>	68
Anexo 5 <i>Data meteorológica</i>	78
Anexo 6 <i>Panel fotográfico</i>	122

II. RESUMEN

Considerando los limitados estudios sobre emisiones de N_2O en zonas de cultivo del café, en Perú, se evaluó la influencia de las fuentes de nitrógeno y las condiciones edafoclimáticas sobre las emisiones en suelos cafetaleros de Chirinos, Cajamarca. Las emisiones de N_2O se determinaron mediante la metodología de cámara estática cerrada (CEC) y cromatografía de gases, expresando los valores en $\text{mg N}_2\text{O-N m}^{-2}$; se incluyó el cálculo de Factores de Emisión (FE). Se evaluaron 5 tratamientos con 4 repeticiones, instalando 20 CEC distribuidas en cuatro parcelas bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA). Se caracterizó las condiciones edafoclimáticas a partir de información meteorológica de la estación Chirinos y muestreos de suelo; además se estimaron las emisiones de N_2O mediante el algoritmo LASSO. Los tratamientos que presentaron menores emisiones fueron el control ($\bar{x} = 3.6$) y guano de la isla ($\bar{x} = 20.31$, $\text{FE} = 0.20\%$), siendo menores que los tratamientos urea ($\bar{x} = 88.62$, $\text{FE} = 0.81\%$), nitrógeno nítrico y amoniacal + DMPP (inhibidor de la nitrificación) ($\bar{x} = 143.39$, $\text{FE} = 1.74\%$), y urea + NBPT (inhibidor de la ureasa) ($\bar{x} = 120.39$, $\text{FE} = 0.91\%$) ($p < 0.05$). La temperatura ambiental media diaria varió entre 17.2 y 19.4 °C, la precipitación promedió fue 3.2 mm día⁻¹, la temperatura del suelo varió entre 17 y 21 °C, mientras que la humedad entre 20 y 45%. Las estimaciones de emisiones de N_2O por tratamiento arrojaron bajos valores de ajuste R^2 (0,11–0,49) y limitadas capacidades de predicción Q^2_{CV} (–0.042 - 0.358).

Palabras claves: Cámara estática cerrada, emisiones de N_2O , fuentes nitrogenadas, Café.

III. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un problema global con repercusiones generalizadas en los sistemas naturales y humanos (Pörtner et al., 2023), este fenómeno se manifiesta fundamentalmente en el aumento de la temperatura media mundial, modificación de los patrones de precipitación e incidencia de fenómenos climáticos extremos (Bárcena et al., 2020), estas circunstancias agravan la calidad de vida de las poblaciones (Pörtner et al., 2023), en especial de aquellas que se encuentran en condiciones de alta vulnerabilidad (Bárcena et al., 2020).

El desequilibrio global del clima se ha generado a partir del incremento de Gases de Efecto Invernadero (GEI) producidos por la actividad humana (Costantini et al., 2018), teniendo como consecuencia la alteración del proceso natural de efecto invernadero (IPCC, 2007). Entre los principales GEI se encuentran el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), los clorofluorocarbonos (CFC), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y el hexfluoruro de azufre (SF_6) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2017), los cuales son emitidos por diversas fuentes, actividades y sectores económicos (Calvo et al., 2019).

El sector agricultura es el aportante del 10.6 por ciento de emisiones totales (Trivelli & Berdegué, 2019), y el N_2O el principal GEI en el manejo de cultivos (IPCC, 2014). En Perú la agricultura representa el 12.62 por ciento de las emisiones del sector ASOUT (Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo), con un valor de emisión de 25910.29 Gg CO_2eq , siendo la segunda fuente de emisiones los gases de N_2O provenientes de suelos gestionados (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2020).

El café (*Coffea arabica* L.), uno de los cultivos importantes en el mundo, es cultivado en más de 56 países (Pincay & Unda, 2020), ocupa 10 millones de hectáreas en el planeta (Centro de Comercio Internacional [ITC], 2022). En Perú es el primer producto agrícola tradicional de exportación (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2019), convirtiendo al país en el octavo mayor exportador en 2021 (FAO, 2023). A nivel nacional se cuenta con 223738 caficultores que ocupan una superficie de siembra de 425416 ha, lo que representa el 6 por ciento del área agrícola nacional y el 25 por ciento de la región amazónica (INIA, 2019).

La producción cafetalera en el mundo es afectada por el cambio climático (Guerrero-Carrera et al., 2020), teniendo como consecuencia que en los Andes las condiciones aptas para el cultivo sean de mayor altitud (Ovalle-Rivera et al., 2015), esto trae consigo con la deforestación de bosques montanos (Bunn et al., 2015) que afecta la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos (Lizarazo Ariza, 2020), incrementando además emisiones de GEI por el cambio de uso de suelo, situación que ahonda el problema de cambio climático (Dumas et al., 2022). Teniendo en cuenta esta problemática, uno de los enfoques que se viene desarrollando consiste en el aumento de productividad a través del desarrollo de buenas prácticas agrícolas (Centro de Comercio Internacional, 2022).

La principal práctica para incrementar la productividad en el cultivo de café es la aplicación de fertilizantes nitrogenados, cuyas dosis generalmente varían entre 150 a 400 kg N ha⁻¹año⁻¹ (Salamanca-Jimenez et al., 2017). La urea es la fuente más utilizada por su alto contenido de nitrógeno (46 por ciento) y menor precio por unidad de producto (Cantarella et al., 2018). Estos fertilizantes nitrogenados contribuyen al aumento de la huella de carbono (C) de la industria cafetera principalmente por el incremento de las emisiones de N₂O (Noponen et al., 2012), gas que cuenta con un potencial de calentamiento global (PCG) de 273 veces mayor que el CO₂ (IPCC, 2023)

Para mitigar la emisión de GEI en la agricultura se recomienda el uso de fertilizantes nitrogenados estabilizados, los cuales tienen menores márgenes de emisión y generan mayor aprovechamiento de nutrientes para los cultivos (Guardia Vázquez, 2017), sin embargo, el flujo de emisiones no solo depende del fertilizante aplicado, sino también de las condiciones de clima y suelo, los cuales pueden afectar a los flujos de N₂O, CH₄ y CO₂ (García-Marco et al., 2014), es por ello que resulta fundamental entender las relaciones que existen entre los fertilizantes y su entorno.

Teniendo en cuenta la limitada data reciente sobre emisiones de N₂O en suelos cafetaleros y la relación de factores que afectan su emisión (Quiñones-Huatangari et al., 2022) (i) se plantearon los objetivos de determinar el flujo de emisiones de N₂O a partir de la aplicación de fertilizantes nitrogenados, (ii) caracterizar las condiciones edafoclimáticas del área de estudio y (iii) estimar las emisiones de N₂O a partir de condiciones edáficas.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Antecedentes de la investigación

En el cantón Terrazú, en la zona de Los Santos, Ruiz et al. (2021) cuantificaron las emisiones de N_2O procedentes de suelos cafetaleros fertilizados con abono químico (F1), mezcla física (F2) y compost (SA), para ello utilizaron cámaras dinámicas abiertas que incluyen un analizador de gas portátil (infrarrojo transformado de Fourier, FTIR). En todas las unidades experimentales se registraron emisiones de N_2O , sin embargo, F2 mostró mayores emisiones, siendo estas hasta un 90 por ciento mayor que F1, los mayores eventos de emisión de ocurrieron durante las dos primeras semanas de la aplicación del fertilizante y después de un evento de lluvia se estimó que esta plantación de café estaría emitiendo ente $487 - 990 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

En costa Rica, en las localidades de Naranjos y San Marcos de Tarrazú, Montenegro (2020) cuantificó y comparó las emisiones de N_2O en suelos cafetaleros producto de la fertilización con nitrato de amonio (NH_4NO_3), nitrato de calcio ($CaCO_3$), urea convencional ($CO(NH_2)_2$), y urea ($CO(NH_2)_2$) recubierta con polímeros (RP); para ello se utilizó una cámara estática, implementándose un diseño de bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas. Como resultado se obtuvo que en ambas locaciones los mayores eventos de emisión se dieron durante los primeros días después de la aplicación de los fertilizantes. En Naranjos la emisión fue mayor con NH_4NO_3 y menor con la urea convencional, en cambio en San Marcos de Tarrazú no hubo diferencias importantes. También se determinó que los factores de emisión estuvieron en el rango de 0.25 por ciento a 0.40 por ciento para una aplicación de $250 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

En costa Rica, en las localidades de Valle Occidental y Los Santos, Montenegro-Ballesteros (2019) cuantificó las emisiones de N_2O en suelos cafetaleros producto la aplicación de 0, 100, 225 y $350 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de nitrógeno ureico, para ello utilizó cámaras estáticas, como resultado se concluyó que la lluvia afecta la cantidad de emisiones de N_2O independientemente de las dosis aplicadas, los mayores eventos de emisión surgen durante los primeros días posterior a la fertilización y que a mayor cantidad de fertilizante aplicado mayores emisiones de N_2O . En relación con los factores de emisión, estos variaron desde 0.58 por ciento a 0.28 por ciento. Además, se determinó factores de

emisión de 0.91, 0.44 y 0.37 por ciento para las dosis de aplicación de nitrógeno ureico de 100, 225 y 350 kg ha⁻¹año⁻¹.

En Kenia, durante un año, lo que equivale a dos temporadas de cultivo, Ortiz-Gonzalo et al. (2018) midieron en Thara y Kashua el flujo de emisiones de N₂O procedentes de suelos cafetaleros fertilizados y no fertilizados, se utilizaron cámaras estáticas ventiladas y cromatografía de gases para ese fin, como resultado determinaron que los flujos acumulativos en parcelas de café fertilizado en Thara fueron de 1.53 kg N₂O -N ha⁻¹año⁻¹, mientras que las no fertilizadas fueron de 0.33 kg N₂O -N ha⁻¹año⁻¹; en Kashua las emisiones anuales en suelos fertilizados fueron de 2.24 kg N₂O -N ha⁻¹año⁻¹ y en los no fertilizados fueron de 1.02 kg N₂O -N ha⁻¹año⁻¹, encontrando diferencias entre las parcelas fertilizadas y no fertilizadas mediante la prueba de U de Mann-Whitney, además se determinó que los mayores flujos de N₂O ocurrieron durante las estaciones lluviosas.

En Tanzania, Gütlein et al. (2018) desde 2011 hasta 2015 establecieron cámaras estáticas para medir emisiones de N₂O en plantaciones cafetaleras, obteniendo como resultado que los suelos emiten de estos ecosistemas emiten 0.35 kg N₂O ha⁻¹año⁻¹ Según los mismos autores, las emisiones resultantes de son bajas probablemente por la aplicación de fertilizantes bajo el método de riego por goteo.

4.2. Bases teóricas

4.2.1. La agricultura y el cultivo del café en el contexto de cambio climático

La agricultura agrupa un conjunto de técnicas y conocimientos relacionados a la labranza de la tierra (Real Academia de la Lengua Española, s/f), que incluye el manejo de cultivos y crianza de animales (Calvo et al., 2019). En 2020 el área dedicada a la agricultura constituyó el 36.5 por ciento de la superficie cubierta por tierra, equivalente a 47388929 km² (Banco Mundial, 2020), se prevé que para 2031 la población en el planeta pase a 8600 millones de personas (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico & Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2022).

El café (*Coffea arabica* L.), uno de los cultivos importantes del mundo, es sembrado en más de 56 países (Pincay & Unda, 2020), ocupa 10 millones de hectáreas

en el planeta (ITC, 2022). En Perú el café es el primer producto agrícola tradicional de exportación (Instituto Nacional de Innovación Agraria, 2019) convirtiendo al país en el octavo mayor exportador en 2021 (FAO, 2023). A nivel nacional se cuenta con 223738 caficultores que ocupan una superficie de siembra de 425416 ha, lo que representa el 6 por ciento del área agrícola nacional y el 25 por ciento de la región amazónica (Instituto Nacional de Innovación Agraria, 2019).

El cambio climático es un fenómeno originado por el incremento de GEI (Costantini et al., 2018), se manifiesta fundamentalmente en el aumento de la temperatura media mundial, modificación de los patrones de precipitación, alza continua del nivel del mar, reducción de la criósfera y acentuación de los patrones de fenómenos climáticos extremos (Bárcena et al., 2020). En zonas altoandinas se acrecienta el retroceso de los glaciares (Ponce, 2020) disminuyendo la capacidad de abastecimiento de recurso hídricos, que en combinación con fenómenos climáticos anómalos afectan la producción agrícola, generando el cambio del sistema de vida de las poblaciones rurales (Lozano-Povis et al., 2021), afectando a la producción cafetalera (Guerrero-Carrera et al., 2020).

La agricultura es un eje económico central en América Latina y el Caribe, representa el 5.3 por ciento del PIB en Sudamérica, 4.2 por ciento en Centroamérica y 3.2 por ciento en el Caribe (Rodríguez et al., 2019), estas regiones son particularmente vulnerables a los efectos de cambio climático (Bárcena et al., 2020) debido a sus características geográficas, climáticas, socioeconómicas y demográficas; pese a que emisiones totales de estas regiones representan tan solo el 8.3 por ciento de las emisiones globales, son unas de las regiones más afectadas (CEPAL, 2015). Siendo el cambio climático uno de los principales desafíos a superar en los años venideros (Naciones Unidas, 2018).

En las zonas rurales de América Latina y el Caribe se estima 59 millones de pobres y 27 millones de pobres extremos (FAO, 2018), teniendo en cuenta que la ruralidad está íntimamente enlazada con la agricultura, el progreso de esta constituye una mejora en la calidad de vida de los involucrados (Rodríguez et al., 2019), ya que una mejora en la producción de los cultivos trae consigo los ingresos económicos a las familias (FAO, 2022). Es por ello que se considera a la agricultura como el medio para acortar la brecha de la pobreza y el rezago rural (Trivelli & Berdegué, 2019).

Así como la agricultura representa una oportunidad para mejorar la calidad de vida de las personas, también contribuye con el calentamiento global y cambio climático (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2018; Ramírez-Juárez, 2022), por lo que es necesario adoptar buenas prácticas que permitan aumentar la productividad y disminuir la cantidad de GEI proveniente de las diferentes fuentes de producción agraria.

4.2.2. Gases de Efecto Invernadero en la gestión de suelos agrícolas

Las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero consideradas en la agricultura a nivel mundial son: fermentación entérica, gestión de estiércol, cultivo de arroz, gestión de suelos agrícolas y quema de residuos agrícolas (Maqueda González et al., 2005). En este contexto, el IPCC establece factores de emisión de referencia para estimar las emisiones asociadas a distintas fuentes agropecuarias, los cuales constituyen una base metodológica para la elaboración de los Inventarios Nacionales de GEI. Para los suelos agrícolas, el IPCC considera un factor de emisión directo de N_2O equivalente al 1 % del nitrógeno aplicado (Calvo et al., 2019).

La gestión de suelos agrícolas se manifiesta principalmente en la aplicación fertilizantes (Maqueda González et al., 2005), los cuales sirven como fuentes nutrientes que potencian el crecimiento de las plantas, estos pueden ser naturales o sintéticos (Navarro García & Navarro García, 2014). Los de origen natural corresponden a adiciones de estiércol, fertilizantes orgánicos y residuos de cosecha (Aguilera et al., 2020).

El principal gas derivado de la gestión del estiércol y ganado es el CH_4 (Cano, 2019), no obstante, tras su aplicación al suelo, el N_2O es el principal gas emitido (IPCC, 2023). El CH_4 es el segundo GEI más importante, a pesar de tener contar con menores emisiones que CO_2 a nivel mundial, su potencial de calentamiento global es 27 veces mayor (IPCC, 2023). El CH_4 se genera producto de la fermentación microbiana en las heces, siendo las bacterias metanogénicas las que descomponen en un medio anaerobio el material orgánico (Ordoñez, 2017).

Por otra parte, los fertilizantes de origen sintético generan otros GEI, por ejemplo, la urea, que es popularmente utilizada por su alto contenido de N (46 por ciento) y bajo precio por unidad de producto (Cantarella et al., 2018); como resultado de su aplicación

se produce N₂O, que es el principal GEI derivado de su aplicación (IPCC, 2014), siendo a la vez el principal GEI resultante del manejo de suelos agrícolas.

El N₂O se produce por nitrificación y desnitrificación en procesos microbianos (Aguilera et al., 2020). La nitrificación corresponde a la oxidación aeróbica del amonio (NH₄⁺) a nitrito (NO₂⁻) y nitrato (NO₃⁻) obteniendo como coproducto N₂O (Webster & Hopkins, 1996), mientras que la desnitrificación corresponde la reducción anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de NO₂⁻ y NO₃⁻ a N₂O y nitrógeno gaseoso (N₂) (Poth & Focht, 1985), siendo el N₂O, un compuesto intermedio que se libera antes de la reducción completa a N₂.

4.2.3. Generalidades del café

El café pertenece al género *Coffea*, que posee aproximadamente 100 especies, sin embargo, las comercialmente cultivadas corresponden a: *Coffea arabica* L., *Coffea canephora* Pierre ex-Froehner y *Coffea liberica* Bull ex-Hiern (Alvarado Soto, 1994).

Tabla 1

Clasificación taxonómica del cultivo de café

Taxonomía	Nombre
Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Sub-división:	<i>Angiospermae</i>
Clase:	<i>Manoliata</i>
Sub-clase:	<i>Asteridae</i>
Orden:	<i>Rubiales</i>
Familia:	<i>Rubiaceae</i>
Género:	<i>Coffea</i>
Especies:	<i>arabica, canephora, liberica, etc</i>

Nota. Tomado de (Alvarado Soto, 1994).

4.2.4. Estructura de la planta de café

Sistema radical. De acuerdo con Alvarado Soto (1994) las clases de raíces que tiene el cafeto son: pivotante, axiales o de sostén, laterales y raicillas.

La pivotante o raíz central, tiene por longitud máxima de 50 a 60 cm en una planta en etapa adulta, las raíces axiales o de sostén tienen como origen la pivotante; de las laterales generalmente se desarrollan las raicillas que, en un alto porcentaje (80-90 por ciento), se encuentran en los primeros 30 cm del suelo con un radio de 2 a 2.5 m a partir de la base del tronco (Alvarado Soto, 1994). Las raicillas son fundamentales para la absorción de agua y nutrientes que necesita la planta para su desarrollo (Arcila P. et al., 2007).

Tallo. Es leñoso y recto, cuya longitud cambia de acuerdo las características climáticas y edáficas del sitio, variedades comerciales generalmente poseen entre 2.0 y 5.0 m de altura (Alvarado Soto, 1994).

Ramas o bandolas. También llamadas ramas laterales o primarias son opuestas y alternas, son además las que dan origen a las ramas secundarias, que a su vez, pueden originar ramificaciones terciarias o palmilla (Alvarado Soto, 1994). Las ramas laterales tienen un punto apical de crecimiento que va formando nuevas hojas y entrenudos, la cantidad de estos es variable de un año a otro siendo las axilas las que se originan las flores que posteriormente se convertirán en frutos (Alvarado Soto, 1994).

Hojas. La hoja mide entre de 12 y 24 cm de largo y entre 5 y 12 cm de ancho, variando su forma de elíptica a lanceolada en la parte inferior (Alvarado Soto, 1994). Las dimensiones de las hojas varían no solo dependiendo de la especie sino también de la exposición de luz solar a la que esté expuesta la planta (Alvarado Soto, 1994).

Flores. En las axilas de las hojas se presentan las yemas florales de 1 a 3 ejes, los que se dividen en 2-6-6 ramificaciones cortas de 2 a 4 mm coronando cada una en una flor la cual está formada por el cáliz, corola, estambres y pistilo (Alvarado Soto, 1994).

Fruto. El fruto posee una superficie lisa y brillante, de pulpa delgada; está formado por el epicarpio; el mesocarpio o pulpa y el endospermo o semilla, variando el color del fruto entre rojo y amarillo dependiendo de la variedad (Alvarado Soto, 1994).

Semilla. El endospermo representa la mayor parte de la semilla, su textura es similar al cuero, es de un color verdoso o amarillento, se encuentra protegido por una lámina delgada conocida como película plateada la cual a su vez está protegida por la cubierta llamada pergamino (Alvarado Soto, 1994). La fracción restante está ocupada por el embrión el cual se encuentra ubicado en la parte basal de la semilla (Alvarado Soto, 1994).

4.2.5. Sistema de cultivo del café

En el Perú se maneja en sistemas de monocultivo de plena exposición solar, así como en sistemas agroforestales bajo sombra, en ambos casos la densidad de plantación se define por el equilibrio entre la variedad, condiciones ambientales y topografía (Montañez Ártica et al., 2022). En selva alta se reporta densidades de hasta 5000 cafetos/ha para variedades de porte bajo, con distanciamiento de 2 m entre líneas y 1 entre cafetos; por otra parte, para variedades de porte alto se recomienda mayores distanciamientos de 2.5 x 1.5 m (2,667 cafetos/ha) o 3 x 1.0 m (3,333 cafetos/ha) (José et al., 2009). En sistemas agroforestales para regular las adecuadamente las condiciones de luz y la competencia dentro del cafetal se recomienda instalar árboles con distanciamiento desde 8 m x 8m (156 árboles/ha) hasta 12 m x 12 m (70 árboles/ha); cuando se desea incorporara musáceas se recomienda distanciamientos no menores a 6 m x 6 m (277 plantas/ha) (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021). Debido a que una proporción importante de cafetales se establece en laderas con pendientes, el manejo del terreno prioriza la conservación de suelos, recomendándose la plantación en curvas a nivel y el uso de coberturas para reducir escorrentía y erosión (Instituto Nacional de Innovación Agraria, 2016).

4.2.6. Requerimientos climáticos del cultivo de café

La producción de café se concentra principalmente en zonas tropicales (Jürgen & Janssens, 2010) regiones que experimentan cambios drásticos en sus climas (C. Mora et al., 2013). El café requiere condiciones climáticas (Aceves-Navarro et al., 2020) y edáficas bien definidas (Sadeghian K. & Duque O., 2003), las cuales al desarrollarse en condiciones cercanas a las ideales en cada una de las fases fenológicas del cultivo, tienden a incrementar la producción (Alvarado Soto, 1994).

Temperatura. Los rangos de temperatura media anual identificados como óptimos para *C. arabica* se encuentran entre 17 °C y 23 °C (N. Mora, 2008), valores inferiores a 15 °C y superiores a 25 °C se consideran no aptos (SENAMHI, 2020) Reconociéndose como ideal altitudes que varían de 1400 a 1800 m.s.n.m. (Alvarado Soto, 1994).

Precipitación. Es un factor climático importante que tiene un efecto significativo en la floración y, por lo tanto, en la producción (Alvarado Soto, 1994). Los óptimos de precipitación anual para *C. arabica* se encuentran entre 1600 y 1800 mientras que el mínimo absoluto se encuentra cerca de 1000 mm (N. Mora, 2008), cantidades sobre los de 3000 mm al año incrementa la incidencia de plagas y enfermedades (Jürgen & Janssens, 2010)

Humedad relativa. La humedad del aire no representa un factor determinante en el cultivo del café, sin embargo, se recomienda instalar cafetales de *C. arabica* donde el promedio de humedad relativa sea de entre 70 y 90 por ciento, ya que al sobrepasar este límite aumenta el ataque por enfermedades fungosas (Alvarado Soto, 1994).

4.2.7. Requerimientos edáficos del cultivo de café

pH. El desarrollo del cultivo de café se ve favorecido por estar instalados en suelos ligeramente ácidos, cuyo pH oscile entre 6 y 6.5, sin embargo, tolera niveles de pH inferiores, obteniéndose buenas cosechas en suelos cuya acidez alcanza 3.1 grados, siempre y cuando las propiedades físicas sean satisfactorias (Alvarado Soto, 1994).

Textura. El cultivo del café requiere suelos francos para una correcta aireación de las raíces siendo ideal un espacio de poro del 60 por ciento, del cual el 30 por ciento debe permanecer ocupado por el aire cuando se encuentra en estado húmedo (Alvarado Soto, 1994).

En el cultivo del café, deben evitarse los extremos de textura, ya que suelos muy arenosos, no asegurarían reservas adecuadas de agua y nutrimentos; por otro lado, suelos muy arcillosos no permitirían la aireación adecuada de las raíces (Alvarado Soto, 1994).

Relieve. Los suelos planos y ligeramente ondulados son los más adecuados para el cultivo del café, debido a su mayor profundidad, capacidad de retener agua y nutrimentos, además de ser los más aptos para la mecanización (Alvarado Soto, 1994).

Se recomienda no instalar cafetales en pendientes mayores de 45 por ciento para evitar la erosión del suelo, sin embargo, es posible sortear este inconveniente aplicando medidas de conservación de suelo, facilitando la producción en suelos con pendientes de hasta 60 y 70 por ciento (Alvarado Soto, 1994).

Profundidad. La profundidad efectiva del suelo para el caso del cultivo del café corresponde a suelos con profundidades no menores a un metro, sin embargo, de existir la posibilidad de aplicar riego en condiciones económicas ventajosas o si el cultivo se encuentra en locaciones con una distribución uniforme de lluvias, puede instalarse cafetales en suelos con profundidades menores a un metro (Alvarado Soto, 1994).

4.2.8. Requerimientos nutricionales del cultivo de café

La planta de café requiere al menos 16 elementos nutritivos esenciales para su correcto desarrollo, pudiéndose clasificar en elementos mayores, menores y secundarios, los cuales deben estar balanceados porque la ausencia o exceso en alguno de ellos provoca afectaciones en el desarrollo de la planta (Alvarado Soto, 1994). En promedio 25 quintales de café por ha extraen 140 kg N ha⁻¹, 50 kg P₂O₅ ha⁻¹, 180 kg K₂O ha⁻¹, 63 kg CaO ha⁻¹ y 31 kg MgO ha⁻¹ (MIDAGRI, 2019).

Elementos mayores. Está conformado por el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), estos elementos son absorbidos por las plantas en altas cantidades, es por ello que están presentes en gran cantidad de fórmulas fertilizantes que se encuentran en el mercado (Alvarado Soto, 1994). En café, el N se asocia principalmente con el crecimiento vegetativo y la formación de biomasa; el P con el desarrollo radicular y procesos energéticos; y el K con la regulación hídrica y el transporte de asimilados hacia el fruto, por lo que su adecuada provisión es determinante en etapas de floración, cuajado y llenado (Winston et al., 2005).

Elementos secundarios. Dentro de este grupo se encuentran calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), necesitando de estos elementos en cantidades intermedias (Alvarado Soto, 1994). En términos funcionales, el Ca contribuye a la estabilidad

estructural de tejidos y al buen desarrollo de raíces; el Mg es central para la fotosíntesis por su rol en la clorofila; y el S participa en la síntesis de proteínas, de modo que su deficiencia puede reducir el vigor y la eficiencia del uso de N (Winston et al., 2005).

Elementos menores. Este grupo lo conforman aquellos elementos que la planta necesita en pequeñas cantidades, sin embargo, su ausencia provoca trastornos nutricionales que interfieren con el correcto desarrollo de la planta, los elementos que conforman este grupo son boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), cloro (Cl) y molibdeno (Mo) (Alvarado Soto, 1994). Su disponibilidad suele estar muy condicionada por el pH, el contenido de materia orgánica, el régimen de humedad y los antagonismos iónicos, por lo que su manejo debe sustentarse en diagnóstico (Winston et al., 2005).

4.2.9. Fertilización del cultivo de café

La fertilización constituye una de las prácticas que favorece un óptimo desarrollo que maximiza el potencial productivo del café (Gonzalez et al., 2014), esta actividad puede realizarse siguiendo un plan acorde a los resultados de los análisis de suelos o sino a través de un plan de abonamiento general (Sadeghian K. & González O., 2012). En ambos casos, la obtención de buenos resultados depende de la oportunidad y la pertinencia con la que se lleve a cabo, situación que involucra la interacción del fertilizante y las condiciones del suelo y planta, así como la disponibilidad de agua y radiación solar (Gonzalez et al., 2014).

La fertilización de establecimiento suele incluir una fuente fosfatada al hoyo y materia orgánica. En guías técnicas se recomienda que, durante el primer año, el programa de fertilización supla por hectárea al menos 150 kg N ha⁻¹, 100 kg P₂O₅ ha⁻¹, 50 kg K₂O ha⁻¹ y 18 kg MgO ha⁻¹, fraccionando aplicaciones en función de la estacionalidad de lluvias (Instituto del Café de Costa Rica [ICAFFE], 2020). Para cafetales en producción se suele incorporar entre 260–300 kg N ha⁻¹, 20–60 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 180–300 kg K₂O ha⁻¹ según el nivel de fertilidad, siendo ajustado según análisis de suelo (Khalajabadi, 2014).

4.2.10. Principales fertilizantes nitrogenados

4.2.10.1. Fertilizantes nitrogenados convencionales. Corresponde a aquellos fertilizantes más utilizados en el mundo, entre algunos de ellos se encuentran nitrato

amonio (NA), sulfato de amonio (SA), nitrato de calcio, fosfato monoamónico (MAP), fosfato diamónico (DAP) y urea (Guelfi, 2017), siendo ésta la de mayor uso por su alto contenido de nitrógeno y menor precio por unidad de producto (Cantarella et al., 2018). Si bien es cierto que parte del nitrógeno de estos fertilizantes puede inmovilizarse temporalmente en el suelo, el excedente puede perderse por volatilización de amoníaco (NH_3) y lixiviación de nitratos (NO_3^-) (Chien et al., 2009), estos procesos dependen de la forma de N aplicada, así como las condiciones de suelo y manejo. En particular, la urea es más susceptible a la volatilización cuando se aplica superficialmente debido a su rápida hidrólisis y aumento local del pH (Rochette et al., 2009), por otra parte, la lixiviación ocurre cuando el N se encuentra en forma nítrica (aportada directamente por fertilizantes nítricos o generada por nitrificación a partir de urea o fuentes amoniacales) (Cameron et al., 2013).

4.2.10.2. Fertilizantes Estabilizados. Son aquellos en los que se agrega aditivos a la urea, subdividiéndose en dos tipos.

4.2.10.2.1. Fertilizantes nitrogenados estabilizados inhibidores de la nitrificación. Los inhibidores de la nitrificación son sustancias químicas que son añadidas a los fertilizantes nitrogenados durante su proceso de fabricación (Guelfi, 2017), estos aditivos actúan interfiriendo en la primera fase del proceso de nitrificación (Abalos et al., 2014), retardando la oxidación biológica del NH_4^+ a NO_3^- en el suelo al reducir la actividad de las bacterias Nitrosomonas que son las responsables de convertir el NH_4^+ en NO_2^- (Guelfi, 2017). Como resultado de su aplicación reducen las pérdidas de nitrógeno por lixiviación (Ball-Coelho y Roy, 1999); por lo que se recomienda su uso en ambientes favorables a esta (Guelfi, 2017), además alcanzan a reducir las emisiones de N_2O hasta en un 45.9% (M. Wang et al., 2025).

Si bien estos aditivos reducen la pérdida de nitratos por lixiviación, mantener el nitrógeno en forma amoniacal por periodos prolongados predispone la pérdida de nitrógeno por volatilización de amoníaco especialmente cuando el fertilizante se aplica superficialmente y coincide con altas temperaturas, suelos de pH neutro a alcalino y ausencia de lluvia o riego, bajo estas condiciones la volatilización en forma amoniacal puede superar a los de la urea convencional (Trenkel, 2010). no obstante, a escala global,

el incremento de la volatilización de amoníaco asociado al uso de inhibidores de la nitrificación no resulta estadísticamente significativo (M. Wang et al., 2025).

Los principales inhibidores de la nitrificación corresponden a 3,4-dimetilpirazolfosfato (DMPP) y derivados, Diciadimida (DCD), tiosulfato de amonio y nitrapirina (Guelfi, 2017).

4.2.10.2.2. Fertilizantes nitrogenados estabilizados inhibidores de la ureasa. La ureasa es una enzima producida por los microorganismos del suelo que cataliza la hidrólisis de la urea, rompiendo sus enlaces para formar CO_2 y NH_3 (Díaz et al., 2012), esto resulta agronómicamente contraproducente ya que el nitrógeno contenido en la urea tiende a perderse en grandes cantidades por la volatilización de NH_3 (Cantarella et al., 2018).

Los inhibidores de la urea retardan la hidrólisis de la urea, favoreciendo su incorporación y disminuyendo hasta en 46% las pérdidas de N provocadas por la volatilización de NH_3 (M. Wang et al., 2025), además disminuyen temporalmente la disponibilidad de NH_4^+ , por lo que pueden también reducir las pérdidas de N_2O en suelos con mucha nitrificación (Guardia et al., 2018); de igual manera, se ha determinado que, entre los fertilizantes de mayor eficiencia, aquellos que incorporan inhibidores de la ureasa son menos efectivos para reducir las emisiones N_2O en comparación con los inhibidores de la nitrificación, sin embargo son los que logran los mayores incrementos en el rendimiento, alcanzando aumentos de hasta 11% en el cultivo de maíz (M. Wang et al., 2025). Los principales inhibidores de la ureasa corresponden a [N-(n-butil) tiofosfórico triamida] (NBPT), hidroquinona, cobre, boro y catecol (Guelfi, 2017), la incorporación de estos compuestos químicos para estabilizar el nitrógeno de la urea resulta ser eficaz (Timilsena et al., 2014) y económico ya que la urea con un inhibidor de la ureasa presenta un costo aceptable de entre un 10% y un 30% más elevado que la urea convencional (Guelfi, 2017).

El inhibidor de la ureasa más comercialmente utilizado es el NBPT, este posee como principal beneficio el retraso del pico de volatilización de nitrógeno, lo que proporciona: (i) una mayor cantidad de días disponible para su incorporación por agua de lluvia o riego; (ii) una disminución en las pérdidas de nitrógeno debido a la volatilización, resultante de una hidrólisis excesiva de la urea en la superficie del suelo.; (iii) un aumento

de la absorción de nitrógeno, eficiencia de fertilización, así como de la calidad y productividad los cultivos (Watson et al., 2008).

4.2.10.3. Fertilizantes nitrogenados de liberación lenta. También conocidos como fertilizantes químicamente modificados sin recubrimiento, son el resultado de la condensación de la urea con aldehídos (Guelfi, 2017), estos aditivos tienen la característica de reducir la solubilidad de las fracciones de nitrógeno presentes en su composición (Neyman & Derr, 2002), teniendo como finalidad liberar el nitrógeno en sintonía con la curva de absorción de diversos cultivos y condiciones climáticas (Guelfi, 2017).

La disponibilidad del nitrógeno de los abonos de liberación lenta depende de la descomposición de las cadenas poliméricas en CO_2 y NH_3 por la actividad microbiológica, influyendo también las propiedades del suelo y factores ambientales como textura, pH, humedad y temperatura (Timilsena et al., 2014).

Entre los principales fertilizantes de liberación lenta se encuentran: urea formaldehído (UF), urea metilénica (UM), isobutileno diureia (IBDU) y crotoliden diurea (CDU) (Guelfi, 2017).

4.2.10.4. Fertilizantes de liberación controlada. Son aquellos abonos nitrogenados convencionales recubiertos con azufre elemental, resinas plásticas, termoplásticos, poliuretano, polietileno, entre otros compuestos, estos recubrimientos sirven de barrera física para controlar el paso de nitrógeno por difusión, este tipo de fertilizantes son de mayor eficacia en comparación con los convencionales, estabilizados y de liberación lenta, sin embargo, tiene la contrapartida de un costo más elevado (Guelfi, 2017).

4.2.10.5. Fertilizantes orgánicos. Incluyen materiales de origen vegetal y animal que aportan N junto con carbono orgánico, entre ellos estiércoles (bovino, porcino y aviar/gallinaza), compost, guano, biosólidos tratados, digestato de biodigestores, abonos verdes y tortas/harinas de origen vegetal (Geisseler et al., 2021). A diferencia de los fertilizantes minerales, una fracción importante del N se encuentra en forma orgánica y su disponibilidad para el cultivo depende de la mineralización microbiana (liberación gradual de NH_4^+ que luego puede nitrificarse a NO_3^- (Butterbach-Bahl et al., 2011),

proceso controlado por la relación C:N, la temperatura, la humedad y el grado de estabilización del material (Cameron et al., 2013). Los fertilizantes sintéticos y orgánicos pueden incrementar las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO y N₂O); en promedio, se ha reportado que estas emisiones aumentan alrededor de 20% con fuentes orgánicas, mientras que con fuentes sintéticas el incremento puede alcanzar aproximadamente 38% (Liu et al., 2017). Los fertilizantes orgánicos líquidos los que suelen generar picos de emisión más elevados, debido a que una fracción importante del nitrógeno se encuentra en formas inmediatamente disponibles (principalmente N amoniacal), lo que favorece su rápida transformación microbiana y la activación de procesos como la nitrificación y la desnitrificación; en cambio, en los fertilizantes orgánicos sólidos, el N está mayormente orgánicamente ligado y debe pasar primero por descomposición y mineralización para convertirse en N mineral (NH₄⁺ y posteriormente NO₃⁻), retrasando su incorporación a las rutas que conducen a la formación de N₂O (Cayuela et al., 2017).

4.2.11. Influencia de suelo en emisiones de N₂O

La producción de N₂O en los suelos depende de las condiciones ambientales, fuentes de carbono presentes, potencial redox, abundancia de NO₃⁻, NO₂⁻, presencia o ausencia oxígeno (O), así como por cantidades de azufre (S) y escala de pH del suelo (Stevens & Laughlin, 1998). Los suelos producen naturalmente emisiones de N₂O, sin embargo, en estos valores se ven incrementados con aplicación de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Feng et al., 2016), éstos al ser incorporados a los suelos, sirven como fuentes de energía para las bacterias que derivado de su desarrollo producen este gas (IPCC, 1998). En general se considera que la humedad del suelo es el principal impulsor de la variabilidad interanual y espacial de las emisiones de N₂O a escala global (Scheer et al., 2020).

Los principales fenómenos de producción de N₂O en el suelo son la nitrificación y la desnitrificación, pudiendo ocurrir ambas simultáneamente (Marín et al., 2012), sin embargo, la predominancia de una sobre otra depende de la cantidad de agua contenida en el suelo (Wolf & Russow, 2000).

La nitrificación prevalece en condiciones aerobias (Frimpong et al., 2012), oxidando el NH₄⁺ a NO₂⁻ y NO₃⁻ (Gallego Blanco, 2012), estos procesos son favorecidos por la disponibilidad de tres microorganismos importantes: las bacterias oxidantes del

amoníaco (AOA), las arqueas oxidantes del amoníaco (AOA) y las bacterias oxidantes del nitrito (NOB) (Rufino et al., 2014), estos microorganismos catalizan estas reacciones primero por medio de la enzima amonio monooxigenasa y posteriormente por la nitrito oxidoreductasa (Correa Galeote, 2016).

La desnitrificación predomina bajo condiciones anaeróbicas, siendo NO_2^- y NO_3^- reducidos a N_2O y N_2 gaseoso (Smith et al., 1998), esta es la única vía por la que el N de los ecosistemas terrestres y acuáticos se transforma de nuevo en gas inerte (N_2) (Galloway et al., 2004); las bacterias que intervienen en la desnitrificación son las diversas, siendo las enzimas nitrato-reductasa, nitrito-reductasa, óxido nítrico-reductasa y óxido nitroso-reductasa las encargadas de catalizar estas reacciones (Correa Galeote, 2016). La desnitrificación es predominantemente heterótrofa; por tanto, a diferencia de la nitrificación, se ve favorecida por la disponibilidad de carbono lábil, que actúa como fuente de energía (donador de electrones) y promueve micrositios con bajo O_2 , intensificando la reducción de NO_3^- y aumentando el potencial de emisión de N_2O (Cayuela et al., 2017).

El pH también resulta importante en las emisiones de N_2O , en suelos ácidos, la nitrificación tiende a disminuir por la menor disponibilidad de NH_3 ; por otra parte, bajo estas condiciones la desnitrificación puede aumentar la fracción emitida como N_2O (mayor relación $\text{N}_2\text{O}:\text{N}_2$) al dificultarse la reducción final de N_2O a N_2 , especialmente cuando existe un suministro adecuado de NO_3^- (Ussiri & Lal, 2013). En concordancia, a escala global se reportan mayores emisiones de N_2O en suelos ácidos que en suelos neutros o alcalinos (Y. Wang et al., 2018).

En conclusión, las tasas de nitrificación y desnitrificación dependen de la cantidad de nitrógeno ciclada, parámetros ambientales del clima (temperatura, presión atmosférica y precipitaciones), factores edáficos (textura, humedad y oxígeno del suelo, drenaje, carbono y pH) (García-Marco et al., 2014), así como por la abundancia de microorganismos (Rufino et al., 2014).

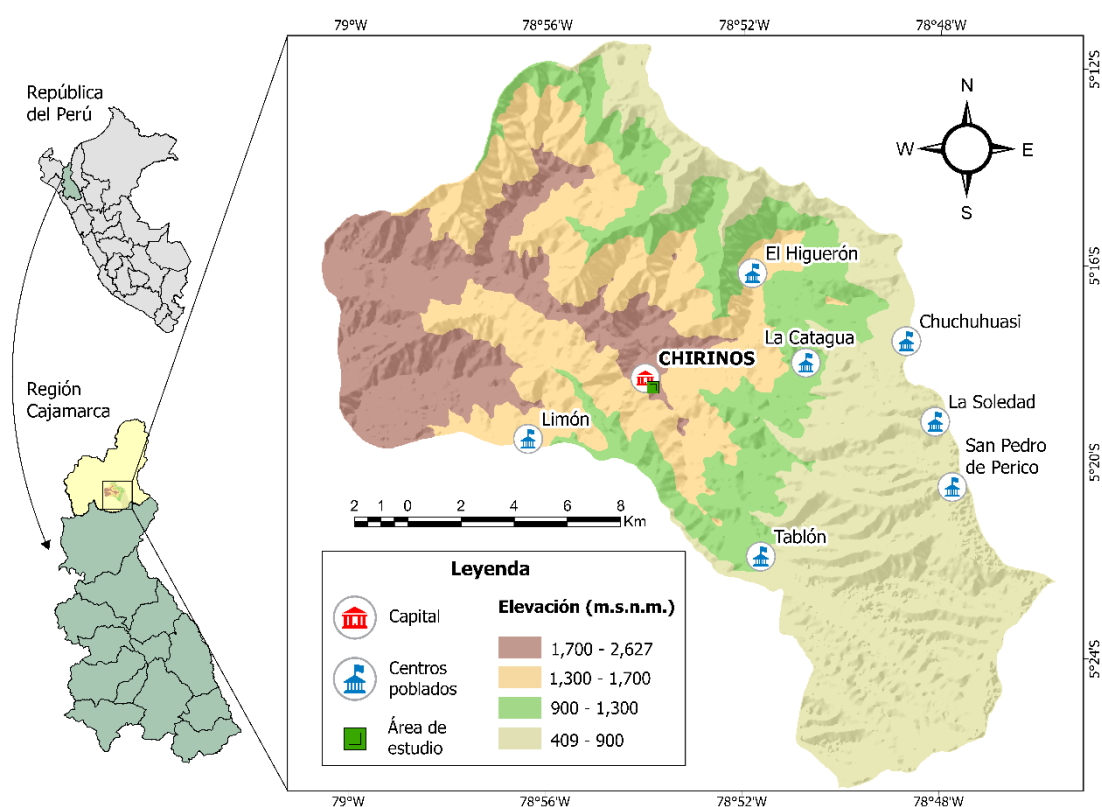
V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

La investigación se desarrolló en la parcela demostrativa de la Cooperativa Agraria Cafetalera La Prosperidad de Chirinos, ubicada en el distrito de Chirinos, provincia de San Ignacio, región Cajamarca (Figura 1). Las parcelas experimentales se ubicaron a 1850 m s.n.m., con una temperatura media anual de 18.5 °C y una precipitación media anual de 1784 mm/año (Figura 2), cuya clasificación climática corresponde a A (r) B' (muy lluvioso, templado, con abundante precipitación en todas las estaciones) (SENAMHI, 2024), y la clasificación del suelo corresponde a LPd-CMd-RGd (Leptosol dístico - Cambisol dístico - Regosol dístico) (INRENA, 1996).

Figura 1

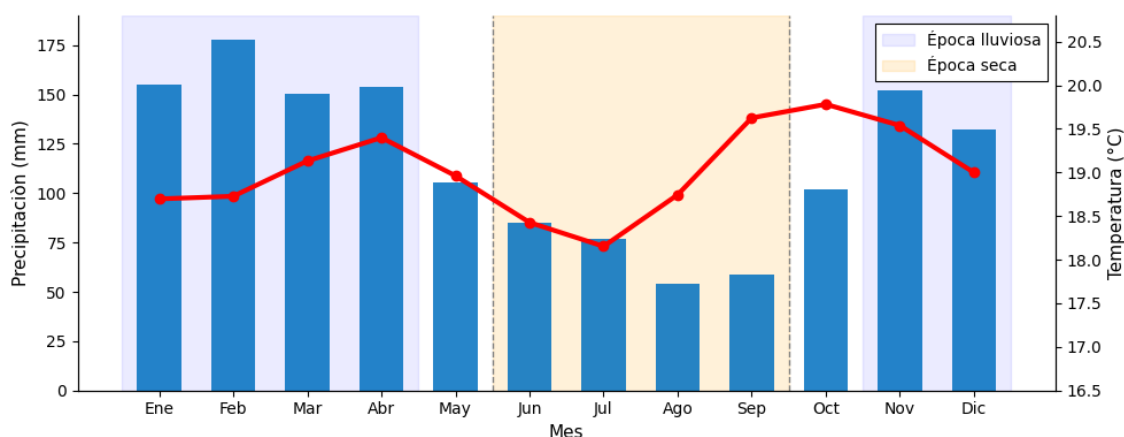
Plano de ubicación del área de estudio



Nota. El plano ha sido obtenido a partir del procesamiento de archivos del SIAR Región Cajamarca (<http://sigr.regioncajamarca.gob.pe/>) procesados con el software Qgis 3.16 Hannover.

Figura 2

Climograma de Chirinos



Nota. El climograma ha sido generado a partir de datos de la estación meteorológica de Chirinos del SENAMHI (<https://www.senamhi.gob.pe/servicios/?p=estaciones>).

5.2. Tipo y diseño de estudio

Tipo:

Es experimental, caracterizada por la manipulación de variables en condiciones de riguroso control, cuyo fin es detallar el modo y las causas por las cuales se produce un determinado fenómeno (Alan y Cortez, 2018).

Diseño experimental

La pendiente es un factor que influye en las emisiones de N_2O (Longoria-Ramírez et al., 2003), teniendo en cuenta que el área de estudio posee una pendiente variable, se trabajará con un Diseño de Bloque al Azar (DBA) para controlar este factor, estableciendo los bloques en dirección perpendicular a la heterogeneidad de la pendiente. Los tratamientos se distribuyeron en campo de acuerdo con la Figura 3; la dosis de fertilización considerada para 5000 plantas ha^{-1} se definió en la Tabla 2; el modelo del diseño es Lineal Aditivo, representando sus variables en la Ecuación 1. Las formas de nitrógeno aplicado en los fertilizantes se muestran en la Tabla 3.

Modelo Lineal Aditivo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Ecuación 1

Donde:

Y_{ij} = Observaciones

μ = Media Poblacional

τ_i = Efectos del tipo de fertilizante

β_j = Efectos del bloque

ε_{ij} = Error experimental

Figura 3

Diseño experimental de la investigación en la finca cafetalera

						Pendiente (%)
Bloque I	F _O	F _C	F _{NBPT}	F _U	F _{DMPP}	15-18
Bloque II	F _U	F _{DMPP}	F _O	F _{NBPT}	F _C	12-15
Bloque III	F _{DMPP}	F _U	F _C	F _O	F _{NBPT}	5-9
Bloque IV	F _C	F _{NBPT}	F _U	F _{DMPP}	F _O	9-12

Nota. Diseño experimental de la investigación. F_C (control), F_O (guano de isla), F_U (urea), F_{DMPP} (nitrógeno nítrico y amoniacal + DMPP) y F_{NBPT} (urea + NBPT).

Tabla 2*Dosificación de la fertilización*

Tratamiento	Dosis (kg N ha ⁻¹ año ⁻¹)	Producto	Cantidad (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Composición (%)						Dosis fraccionada aplicada (gr planta ⁻¹)	Dosis de mezcla (gr planta año ⁻¹)
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄		
F _C (control).	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
F _O (guano de isla)	250	Guano de islas	2080	12	9	2.5	9	0	0	138.67	416.00
F _U (urea).	250	Urea	543	46	0	0	0	0	0	36.20	108.60
		Sulfato de potasio y magnesio	100	0	0	22	0	18	22	6.67	20.00
		Sulfato de potasio	50	0	0	50	0	0	18	3.33	10.00
		Roca fosfórica	50	0	20	0	26	0	0	3.33	10.00
F _{DMPP} (nitrógeno nitrógeno y amoniaco + DMPP)	250	Nitrógeno nitrógeno y amoniaco + DMPP	2080	12	0	0	0	0	0	138.67	416.00
		Sulfato de potasio y magnesio	100	0	0	22	0	18	22	6.67	20.00

		Sulfato de potasio	50	0	0	50	0	0	18	3.33	10.00
		Roca fosfórica	50	0	20	0	26	0	0	3.33	10.00
F _{NBPT} (urea + NBPT)	250	Urea + NBPT	543	46	0	0	0	0	0	36.20	108.60
		Sulfato de potasio y magnesio	100	0	0	22	0	18	22	6.67	20.00
		Sulfato de potasio	50	0	0	50	0	0	18	3.33	10.00
		Roca fosfórica	50	0	20	0	26	0	0	3.33	10.00

Nota. F_C (control), F_O (guano de isla), F_U (urea), F_{DMPP} (nitrógeno nítrico y amoniacal + DMPP) y F_{NBPT} (urea + NBPT).

Tabla 3*Composición de nitrógeno de las fuentes nitrogenadas incorporadas*

Formas de nitrógeno	Fuentes nitrogenadas			
	Guano de islas	Urea	Nitrógeno nítrico y amoniacal + DMPP	Urea + NBPT
Nitrógeno total	10 - 14 %	40%	12%	46%
Nitrógeno nítrico (NO_3^-)	No declarado	No declarado	5%	No declarado
Nitrógeno amoniacal (NH_4^+)	No declarado	No declarado	7%	No declarado

5.3. Población, muestra y muestreo

Tratamiento

Los tratamientos estarán conformados por: F_C (control), F_O (guano de isla), F_U (urea), F_{DMPP} (nitrógeno nítrico y amoniacal + DMPP) y F_{NBPT} (urea + NBPT).

Unidad experimental

Área de cultivo de café de 5 m x 8 m (40 m²).

Replicas

4 repeticiones

5.4. Variables de estudio

Tabla 4

Operacionalización de variables

Variables	Dimensión	Indicadores
Independiente	Tratamientos	F _C (control). F _O (guano de isla) F _U (urea). F _{DMPP} (nitrógeno nítrico y amoniacal + DMPP) F _{NBPT} (urea + NBPT)
	Características edafoclimáticas	Temperatura del suelo Humedad del suelo Espacio poroso lleno de agua (WFPS) Temperatura ambiental Precipitación
Dependiente	GEI	Emisiones de N ₂ O

5.5. Métodos

Manejo agronómico

Se siguió el criterio de fertilización fraccionada, aplicando un tercio de 250 kg N Ha^{-1} año $^{-1}$ (83.3 kg N Ha^{-1}) para una densidad de plantación de 5000 plantas ha^{-1} . El fertilizante se aplicó dentro de la CEC ubicada a no más de 40 cm del tallo de la planta. Previo a la fertilización se realizó la limpieza del área y control de malezas con motoguadaña, manteniendo este manejo uniforme en todas las unidades experimentales. El control fitosanitario, cuando correspondió, se aplicó por igual en todo el ensayo para no introducir sesgos.

Determinación de flujo de emisiones de N_2O

El flujo de N_2O se midió en nueve ocasiones: 0 DAF (días después de la fertilización), 1 DAF, 4 DAF, 7 DAF, 14 DAF, 21 DAF, 25 DAF, 27 DAF y 29 DAF. Se utilizaron cinco cámaras estáticas cerradas (CEC) por bloque, para un total de 20 CEC, ubicadas a no más de 15 cm del tallo de los cafetos. En cada campaña de muestreo se tomaron tres submuestras de gas: la primera inmediatamente después del cierre de la cámara y las dos siguientes cada 20 minutos (Venterea et al., 2020). Las muestras se recogieron con jeringas de 100 mL equipadas con agujas hipodérmicas calibre 21; se retiraron 20 mL de muestra y se emplearon agujas hipodérmicas adicionales para purgar los viales y, tras el purgado, se inyectaron 40 mL de muestra en viales con tapón de neopreno (Pedersen et al., 2010). Las muestras fueron enviadas al laboratorio del Departamento de Química y Tecnología de los Alimentos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas de la Universidad Politécnica de Madrid, donde se analizaron mediante cromatografía de gases (Ekeberg et al., 2004) utilizando un cromatógrafo de gases Agilent 8890 GC, dotado con muestreador automático, detectores de Captura Electrónica (ECD) y de ionización en llama (FID) con metanizado. Mas detalles sobre el equipo y su calibración pueden encontrarse en Guardia et al. (2016).

Se realizó un análisis descriptivo de las emisiones de N_2O , incluyendo medidas de tendencia central y dispersión, como promedio, desviación estándar, además se calcularon los valores acumulados de emisión. Para evaluar la influencia de las fuentes de variación: tratamiento, tiempo, bloque e interacción tratamiento $\times$ tiempo, inicialmente se evaluó la aplicación de un ANOVA de medidas repetidas (RM-ANOVA) (Sthle & Wold, 1989), sin embargo, debido al incumplimiento de los supuestos de normalidad de

residuos, normalidad multivariante, homogeneidad de varianzas y esfericidad, se aplicó un modelo mixto de medidas repetidas. Para controlar la marcada asimetría y heterogeneidad observada en las emisiones de N₂O, y con el fin de mejorar el ajuste del modelo y el comportamiento de los residuos, las variables de respuesta fueron transformadas mediante log(x+1) antes del análisis (de Klein et al., 2020).

Para determinar el impacto de los tratamientos sobre los flujos de gases por fecha de muestreo, se realizó un ANOVA no paramétrico de dos vías mediante la prueba de Friedman (Friedman, 1937), porque los datos de flujo en cada momento de muestreo no siguieron una distribución normal. Se adoptó un nivel de significancia de $P < 0.05$ y se incluyeron en el modelo los efectos “Bloque” y “Fertilizante”. Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparaciones por pares de Dunn (Dunn, 1961).

Se determinaron los factores de emisión (FE, %) de N₂O–N asociados a la fertilización, en primer lugar, se calcularon las emisiones acumuladas de N₂O–N para cada tratamiento durante la ventana post-aplicación (10-May a 8-Jun), utilizando el método trapezoidal. El FE directo de cada tratamiento se determinó como la fracción del N aplicado que fue emitida como N₂O–N, descontando el flujo de fondo del control (Ecuación 2). Con el propósito de incorporar la variabilidad espacial del experimento, los factores de emisión de N₂O–N se calcularon de manera independiente para cada bloque, considerando la emisión acumulada de cada tratamiento y su respectivo control dentro del mismo bloque.

$$FE (\%) = \frac{E_{tratamiento} - E_{control}}{N_{aplicado}} \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde: $E_{tratamiento}$ y $E_{control}$ son las emisiones acumuladas (kg N₂O–N ha⁻¹) del tratamiento fertilizado y del control, respectivamente, y $N_{aplicado}$ es la dosis de N (kg N ha⁻¹) aplicada en el evento; este enfoque sigue el marco metodológico del IPCC para emisiones directas de N₂O desde suelos manejados (Calvo et al., 2019).

Caracterización de condiciones edafoclimáticas

Para evaluar el comportamiento meteorológico, se analizaron las tendencias de la precipitación, la temperatura máxima, mínima y media, así como la humedad relativa,

utilizando la prueba de Mann–Kendall (Mann, 1945). Para caracterizar las condiciones del suelo se realizó un análisis de fertilidad de suelo previo a la aplicación de tratamientos; durante las mediciones de N_2O , se recolectaron muestras de suelo empleando anillos de acero (10 cm de altura, 5 cm de diámetro). Se registraron los pesos frescos (W_f) y seco en horno (W_d) del suelo más el anillo, y el peso del anillo (W_r) se restó para obtener los pesos fresco y seco del suelo. El contenido de agua gravimétrico se calculó como $(W_f - W_d)/W_d$, y la densidad aparente como el peso seco del suelo dividido entre el volumen del cilindro. Suponiendo una densidad de partícula de $2,65 \text{ g cm}^{-3}$, la porosidad total se derivó como $1 - (\rho_b/\rho_p)$. El contenido de agua volumétrico se obtuvo multiplicando el contenido de agua gravimétrico por la densidad aparente, y WFPS se calculó como la razón entre el contenido de agua volumétrico y la porosidad total, expresado en porcentaje. Los datos resultantes se analizaron mediante ANOVA de medidas repetidas (RM-ANOVA) (Sthle & Wold, 1989), utilizando como efectos fijos a las variables edáficas y al tiempo.

Estimación de flujo de emisiones de N_2O

El flujo de N_2O se modeló por separado para cada tratamiento de fertilización mediante el algoritmo LASSO, utilizando como predictores la temperatura media del suelo (Tem), la humedad relativa (HR), la densidad aparente (DA), el contenido de agua del suelo (CVA) y el espacio poroso lleno de agua (WFPS). Para explorar la contribución relativa de las variables ambientales y edáficas a los flujos de N_2O , se ajustaron modelos para cada tratamiento de fertilización. La importancia de las variables se aproximó mediante el valor absoluto de los coeficientes de regresión y, por tanto, se interpretó dentro de cada modelo de tratamiento, en lugar de compararse entre variables con diferentes unidades. El ajuste de los modelos se evaluó utilizando el coeficiente de determinación (R^2) (Wright, 1921), el cuadrado medio del residuo (MSR) y la raíz del cuadrado medio del error (RMSE) (D. C. Montgomery, 2017); mientras que la capacidad predictiva mediante la raíz del cuadrado medio del error de la validación cruzada ($RMSE_{CV}$), raíz del cuadrado medio del error de la línea base ($RMSE_{LB}$) y el coeficiente de capacidad predictiva de validación cruzada (Q^2_{CV}). (Han et al., 2026).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

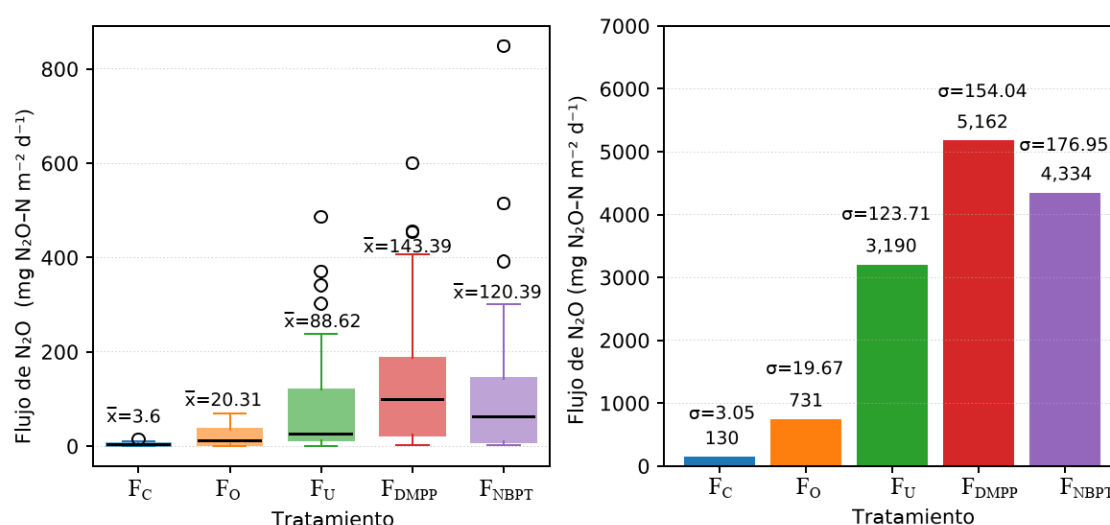
6.1. Resultados

6.1.1. Determinación de flujos de emisión de N_2O

Los mayores valores promedio y de desviación estándar los presentaron los flujos de F_{DMPP} ($\bar{x}=143.39$ mg N_2O-N m $^{-2}$ d $^{-1}$, $\sigma=154.04$), F_{NBPT} ($\bar{x}=120.39$ mg N_2O-N m $^{-2}$ d $^{-1}$, $\sigma=176.95$) y F_U ($\bar{x}=88.62$ mg N_2O-N m $^{-2}$ d $^{-1}$, $\sigma=123.71$) mientras que los menores promedios y dispersión fueron F_O (20.31 mg N_2O-N m $^{-2}$ d $^{-1}$, $\sigma=19.67$) y F_C (3.6 mg N_2O-N m $^{-2}$ d $^{-1}$, $\sigma=3.05$) (Figura 4a). En términos integrados, los flujos acumulados siguieron el orden F_{DMPP} (5162) > F_{NBPT} (4334) > F_U (3190) > F_O (731) > F_C (130) mg N_2O-N m $^{-2}$ (Figura 4b).

Figura 4

Emisiones de N_2O por tratamiento. a) Dispersión de datos por tratamiento b) Emisiones acumuladas durante el muestreo



Nota. F_C : control; F_O : guano de isla; F_U : urea; F_{DMPP} : nitrógeno nítrico y amoniacal + DMPP; F_{NBPT} : urea + NBPT.

Se trabajó con un modelo mixto de medidas repetidas utilizando transformación $\log(x+1)$, el cual indicó efectos significativos del tratamiento ($F = 95.97$; $p = 4.26 \times 10^{-38}$), tiempo ($F = 21.95$; $p = 5.66 \times 10^{-21}$), bloque ($F = 17.11$; $p = 1.92 \times 10^{-9}$) y de la

interacción tratamiento $\times$ tiempo ($F = 7.76$; $p = 7.21 \times 10^{-18}$) sobre las emisiones de N_2O (Tabla 5).

Tabla 5

Prueba global de efectos fijos del modelo mixto

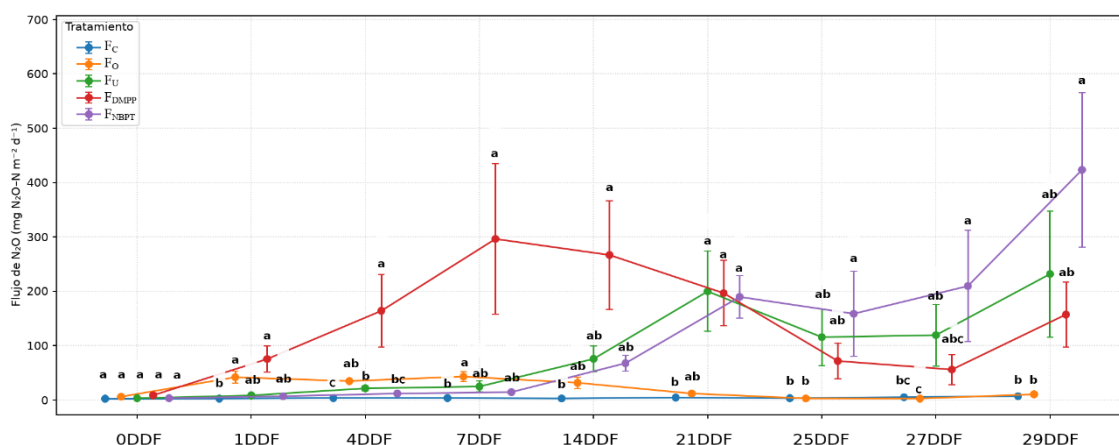
Fuente de variación	gl	F	p valor
Tratamiento	4	95.97	4.26×10^{-38}
Tiempo	8	21.95	5.66×10^{-21}
Bloque	3	17.11	1.92×10^{-9}
Tratamiento $\times$ Tiempo	32	7.76	7.21×10^{-18}
Residual	132	—	—

Nota. gl = grados de libertad; F = estadístico F del modelo; p valor = nivel de significancia estadística. Valores de $p < 0.05$ indican efectos estadísticamente significativos.

Las emisiones de N_2O difirieron significativamente entre tratamientos en la mayoría de las fechas de muestreo, sin observarse diferencias significativas el día de la fertilización ($0.51 - 21.32 \text{ mg } N_2O-N \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (Figura 5). El tratamiento F_{DMPP} mostró una clara dominancia desde 1 DAF ($\bar{x} = 75.11 \text{ mg } N_2O-N \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) hasta 14 DAF ($\bar{x} = 266.58 \text{ mg } N_2O-N \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Posteriormente, F_U ($\bar{x} = 199.63 \text{ mg } N_2O-N \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y F_{NBPT} ($\bar{x} = 189.48 \text{ mg } N_2O-N \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) alcanzaron niveles de emisión similares a F_{DMPP} ($\bar{x} = 196.40 \text{ mg } N_2O-N \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) a los 21 DAF. Después de esta fecha, F_{DMPP} descendió a grupos intermedios, mientras que F_{NBPT} presentó los valores más altos en las mediciones posteriores, con el mayor promedio registrado a los 29 DAF ($\bar{x} = 423.31 \text{ mg } N_2O-N \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). En todas las fechas de muestreo, F_C ($0.23-14.58 \text{ mg } N_2O-N \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y F_O ($0.94-69.06 \text{ mg } N_2O-N \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) mostraron consistentemente las menores emisiones en comparación con F_U ($0.51-486.23 \text{ mg } N_2O-N \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), F_{DMPP} ($1.46-600.06 \text{ mg } N_2O-N \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y F_{NBPT} ($1.51-848.84 \text{ mg } N_2O-N \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

Figura 5

Dinámica temporal del flujo de N₂O bajo cinco tratamientos



Nota. F_C: control; F_O: guano de isla; F_U: urea; F_{DMPP}: nitrógeno nítrico y amoniacal + DMPP; F_{NBPT}: urea + NBPT.

Los factores de emisión (FE) de N₂O–N presentaron diferencias entre tratamientos, con valores promedio que oscilaron entre 0.20 y 1.74%. Los mayores valores correspondieron a F_{DMPP} ($1.74 \pm 1.32\%$) seguido por F_{NBPT} ($0.91 \pm 0.54\%$) y F_U ($0.81 \pm 0.62\%$), el menor FE promedio fue registrado en F_O (T2), con $0.20 \pm 0.08\%$, siendo este último de menor dispersión de datos. A nivel de bloques, se observó que F_U y F_{DMPP} registraron sus valores más bajos en el bloque IV, con 0.16% y 0.20%, respectivamente, mientras que F_O mantuvo valores bajos y relativamente homogéneos en todos los bloques evaluados (Tabla 6).

Tabla 6

Factor de emisión (FE) por tratamiento y bloque

Tratamiento	BI (%)	B II (%)	B III (%)	B VI (%)	Promedio $\pm$ SD (%)
T2: F _O	0.09	0.26	0.25	0.18	0.20 ± 0.08
T3: F _U	0.42	1.44	1.23	0.16	0.81 ± 0.62
T4: F _{DMPP}	2.72	1.10	2.95	0.20	1.74 ± 1.32
T5: F _{NBPT}	0.74	1.70	0.48	0.72	0.91 ± 0.54

Nota. F_C: control; F_O: guano de isla; F_U: urea; F_{DMPP}: nitrógeno nítrico y amoniacal + DMPP; F_{NBPT}: urea + NBPT.

6.1.2. Caracterización de las condiciones edafoclimáticas

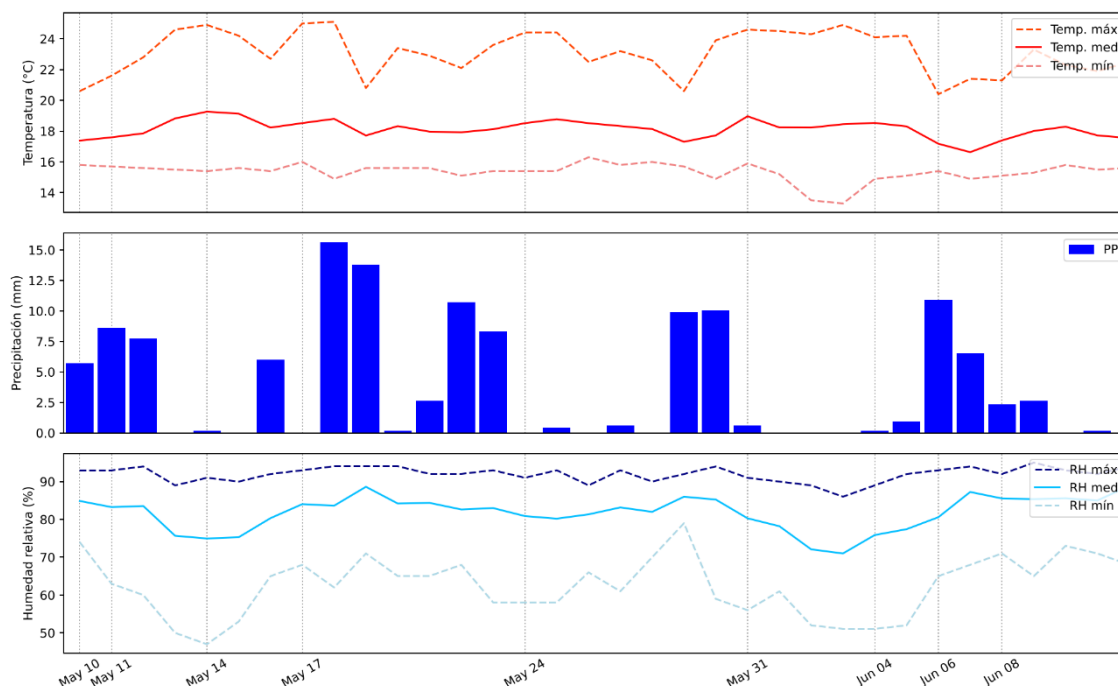
Condiciones meteorológicas

Las temperaturas máximas oscilaron entre 22 y 25 °C, con una ligera tendencia decreciente a inicios de junio (25–29 DAF); la temperatura media se mantuvo estable entre 18 y 20 °C, y la temperatura mínima varió de 13 a 16 °C (Figura 6). El análisis de tendencias evidenció una disminución estadísticamente significativa en la temperatura máxima ($\tau = -0.055$, $p = 0.019$), media ($\tau = -0.053$, $p = 0.023$) y mínima ($\tau = -0.063$, $p = 0.007$). El régimen de precipitaciones fue episódico, con varios eventos de 5–15 mm concentrados entre mediados y finales de mayo (7–14 DAF) y un par de pulsos a inicios de junio (10–11 DAF). Entre el 24 y el 30 de mayo se observó un periodo casi seco, con una disminución estadísticamente significativa de la precipitación ($\tau = -0.060$, $p = 0.031$). La humedad relativa (HR) máxima se mantuvo elevada (90–100%), la HR media osciló entre 75 y 85 % con un ligero descenso hacia inicios de junio, y la HR mínima mostró alta intermitencia, con picos bajos de 30–40 %. Sin embargo, las tendencias en la HR máxima ($\tau = +0.027$, $p = 0.265$), media ($\tau = +0.030$, $p = 0.210$) y mínima ($\tau = +0.026$, $p = 0.277$) no fueron estadísticamente significativas.

A lo largo de las nueve fechas de muestreo de N₂O (0–29 DAF), la temperatura media diaria del aire varió entre 17.2 y 19.4 °C (media general 18.2 °C), con mínimas diarias entre 16.8 y 18.5 °C y máximas entre 17.7 y 20.2 °C. La precipitación en los días de muestreo promedió 3.2 mm día⁻¹ (rango 0–10.9 mm, acumulado 28.5 mm). La humedad relativa se mantuvo alta durante todo el periodo, con valores medios entre 74.3 y 85.3 % (media general 81.1 %), mínimas diarias de 70.6 a 82.3 % y máximas de 78.8 a 87.8 %.

Figura 6

Comportamiento de las variables meteorológicas durante el transcurso de la investigación.



Características edáficas

Los suelos del área de estudio presentaron una textura predominantemente franco-arcillosa a arcillosa. El pH varió de ligeramente ácido a casi neutro (5.72–6.98), mientras que la conductividad eléctrica indicó condiciones mayormente no salinas, aunque con valores puntuales más elevados (0.46–6.59 dS/m). El nitrógeno se clasificó en un nivel medio (0.12–0.29%; promedio: 0.22%), mientras que el fósforo mostró una alta variabilidad, con valores desde bajos hasta muy altos (2.00–24.17 ppm; promedio: 7.30 ppm). El potasio presentó concentraciones altas a muy altas (348.32–709.52 ppm; promedio: 507.34 ppm). Por su parte, el carbono orgánico (1.35–3.35%; promedio: 2.60%) y la materia orgánica (2.32–5.77%; promedio: 4.48%) se ubicaron entre niveles bajos y medios, mientras que la capacidad de intercambio catiónico varió entre media y alta (18.40–28.00 meq/100 g; promedio: 24.00 meq/100 g) (Tabla 7).

Tabla 7*Estadística descriptiva de las propiedades del suelo*

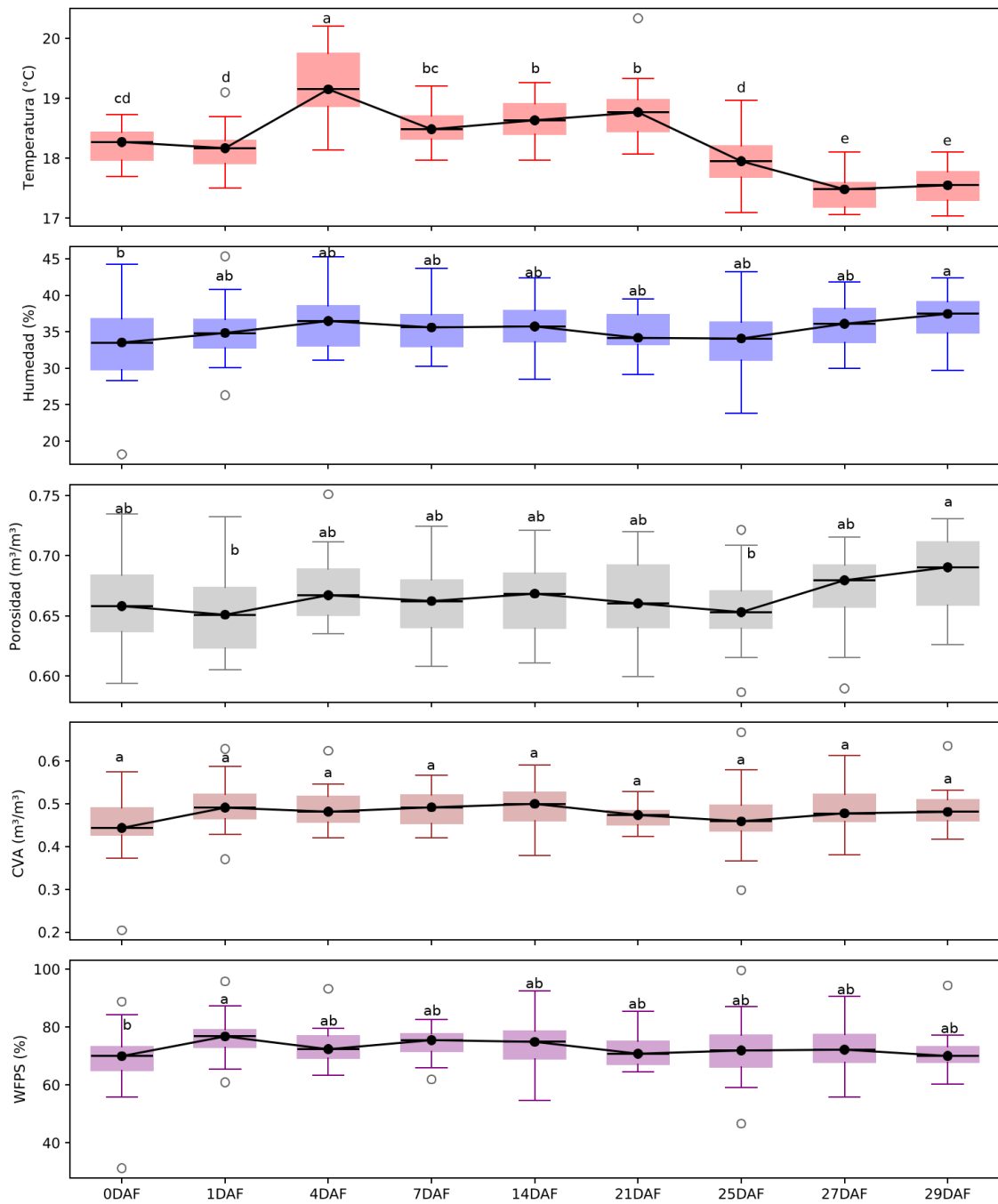
Propiedades del suelo	Unidad	Promedio	Mediana	Desviación estándar	Rango
Arena	%	36.77	36.1	11.55	25.10 – 55.10
Arcilla	%	38.67	38	9.42	25.00 – 53.00
Limo	%	24.57	23.9	4.32	19.90 – 31.90
pH	pH	6.67	6.88	0.48	5.72 – 6.98
Conductividad eléctrica	dS/m	2.1	0.76	2.5	0.46 – 6.59
Nitrógeno (N)	%	0.22	0.23	0.06	0.12 – 0.29
Fósforo (P)	ppm	7.3	4.75	8.41	2.00 – 24.17
Potasio (k)	ppm	507.34	475.91	131	348.32 – 709.52
Carbono (C)	%	2.6	2.71	0.67	1.35 – 3.35
Materia orgánica (MO)	%	4.48	4.68	1.16	2.32 – 5.77
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	meq/100 g	24	24	4.02	18.40 – 28.00

Las propiedades del suelo mostraron patrones predominantemente estables a lo largo del periodo de muestreo (Figura 7). La temperatura del suelo registró un máximo temprano a los 4 DAF (grupo a), seguido de un descenso sostenido hasta los 29 DAF (grupos b–e). La humedad gravimétrica del suelo presentó valores iniciales con variaciones posteriores moderadas (medianas entre 31–34 %) (grupo ab), incrementándose hacia los 29 DAF (grupo a).

La porosidad total se mantuvo estable ($0.64\text{--}0.68\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$) (grupos b y ab), con una ligera tendencia al alza hacia el final del periodo, alcanzando el grupo a los 29 DAF. El contenido de agua volumétrico mostró medianas cercanas a $0.45\text{--}0.50\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$, sin diferencias significativas entre fechas de muestreo. En cambio, el WFPS presentó sus valores más bajos el día de la fertilización (grupo b) alcanzó su máximo a 1 DAF; en los muestreos posteriores, los valores no mostraron cambios marcados, fluctuando entre 60 y 70 % (grupo ab).

Figura 7

Variación temporal en las propiedades del suelo



Nota. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre las fechas de muestreo ($p < 0,05$).

6.1.3. Estimación de las emisiones de N₂O

Los modelos LASSO mostraron un bajo ajuste, con valores de R^2 entre 0.11 y 0.49; MSR varió entre 10.15 y 35,123.80, mientras que RMSE entre 3.19 y 187.41. El tratamiento F_{DMPP} presentó una capacidad predictiva moderada ($RMSE_{CV} = 142.01$, $RMSE_{baseline} = 188.00$, $Q^2_{CV} = 0.358$) seguido por F_O ($RMSE_{CV} = 22.15$ y $RMSE_{LB} = 23.07$, $Q^2_{CV} = 0.042$), F_C ($RMSE_{CV} = 3.44$ y $RMSE_{LB} = 3.60$, $Q^2_{CV} = 0.040$) y F_{NBPT} ($RMSE_{CV} = 202.28$ y $RMSE_{LB} = 205.17$, $Q^2_{CV} = 0.012$). En contraste F_U ($RMSE_{CV} = 145.27$ y $RMSE_{LB} = 148.29$, $Q^2_{CV} = -0.042$) no mostró capacidad predictiva.

Las variables más importantes para la estimación de N₂O fueron la humedad del suelo para F_C , la temperatura para F_O , la densidad aparente para F_U y nuevamente la temperatura para F_{NBPT} . Para F_{DMPP} , los predictores más influyentes fueron, en orden de importancia, la humedad del suelo (HS), densidad aparente (DA) el espacio poroso lleno de agua (WFPS), el contenido volumétrico de agua (CVA) y la temperatura del suelo (Tem) (Figura 8).

Los modelos revelaron controles específicos por tratamiento sobre los flujos de N₂O. En F_C , HS explicó casi toda la señal; en F_O , Tem incrementó los flujos de N₂O; en F_U , una mayor DA redujo las emisiones de N₂O; en F_{DMPP} , el control fue multifactorial, con efectos positivos de Tem, HS y una DA marcadamente alto, contrarrestados por efectos negativos del contenido CVA y del WFPS; mientras que en F_{NBPT} , el WFPS actuó como un control negativo sobre los flujos de N₂O.

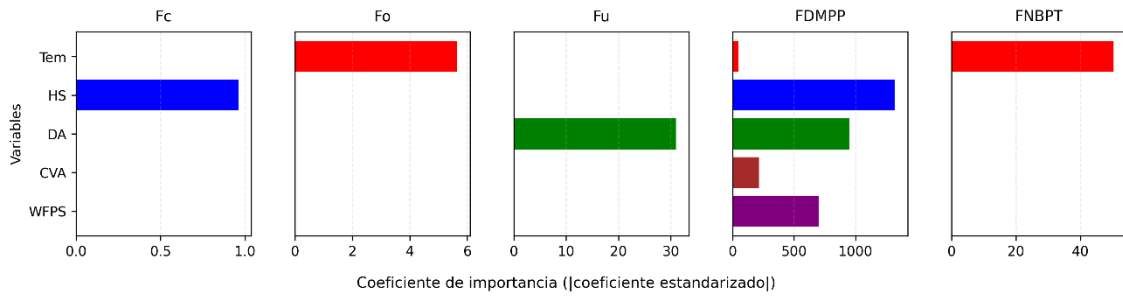
Tabla 8

Estadísticos de ajuste y evaluación predictiva de los modelos LASSO

Tratamiento	R^2	MSR	RMSE	$RMSE_{CV}$	$RMSE_{LB}$	Q^2_{CV}
F_C	0.177	10.15	3.186	3.441	3.604	0.040
F_O	0.151	434.697	20.849	22.147	23.069	0.042
F_U	0.113	17960.954	134.018	145.275	148.289	-0.042
F_{DMPP}	0.497	15780.142	125.619	142.006	187.999	0.358
F_{NBPT}	0.152	35123.8	187.413	202.285	205.168	0.012

Figura 8

Importancia de las variables evaluadas



Nota. Temp: Temperatura del suelo, SH: Humedad del suelo, DA: Densidad aparente, CVA: Capacidad volumétrica de agua, WFPS: Espacio poroso lleno de agua.

Modelos matemáticos

$$F_C = -7.458965 + 0.328696 \cdot HS \quad (2)$$

$$F_O = -138.997304 + 8.935107 \cdot Tem \quad (3)$$

$$F_U = 461.157145 - 395.965961 \cdot DA \quad (4)$$

$$F_{DMPP} = -17350.518028 + 66.735206 \cdot Tem + 379.819188 \cdot HS + 12449.074842 \cdot DA - 3957.813499 \cdot CVA - 85.868889 \cdot WFPS \quad (5)$$

$$F_{NBPT} = 1619.265526 - 81.318505 \cdot Tem \quad (6)$$

6.2. Discusión

Las emisiones provenientes de fertilizantes sintéticos: F_{DMPP} , F_{NBPT} y F_U ($\bar{x} = 88.62\text{--}143.39 \text{ mg N}_2\text{O--N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) fueron mayores en comparación con F_O ($\bar{x} = 20.31 \text{ mg N}_2\text{O--N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y F_C ($\bar{x} = 3.6 \text{ mg N}_2\text{O--N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (Figura 4), lo cual es un patrón común (Burneo-Valdivieso et al., 2023; Ortiz-Gonzalo et al., 2018; Ruiz et al., 2021), dado que la cantidad de nitrógeno disponible es el principal factor que controla las emisiones de N_2O (Feng et al., 2016). De igual manera, las emisiones de F_O ($0.95\text{--}69.06 \text{ mg N}_2\text{O--N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y sintéticos ($0.51\text{--}848.84 \text{ mg N}_2\text{O--N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) fueron comparables a las reportadas para otras regiones andinas, donde, independientemente de la cantidad de materia orgánica aplicada, los flujos de N_2O rara vez superan los $300 \text{ mg N}_2\text{O m}^{-2}$,

encontrándose las emisiones de fertilizantes sintéticos entre 300 y 1142 mg N₂O–N m⁻² d⁻¹ (Burneo-Valdivieso et al., 2023).

El modelo mixto detectó efectos significativos de los factores: tratamiento, tiempo, bloque e interacción tratamiento x tiempo; los factores tratamiento y tiempo previamente habían sido definidos como de los más importantes (Ray et al., 2026). Por otra parte, la significancia del bloque confirma la existencia de variabilidad espacial dentro del experimento, que respalda la necesidad de incorporar el bloqueo en estudios con cámaras estáticas (de Klein et al., 2020). Asimismo, la interacción tratamiento x tiempo significativa, denota que en el área de estudio existe una dinámica heterogénea de emisiones de N₂O, común dentro de los campos agrícolas (Zhang et al., 2024).

Las emisiones mostraron una dinámica temporal compleja a lo largo del periodo de medición (Figura 5), lo que probablemente se relaciona con características edáficas específicas del sitio que modulan la dinámica del N₂O (García-Marco et al., 2014), siendo además habitual la alta variabilidad de las emisiones en CEC registrándose coeficientes de variación entre 8 y 168 % (Chadwick et al., 2014; Matthias et al., 1978). El día de la aplicación de los tratamientos (0 DDF) mostró una homogeneidad de valores bajos de emisión; si bien se señala que los mayores suelen presentarse después de eventos de manejo o cambios ambientales, como fertilización, lluvia o incrementos en la humedad del suelo (Zhang et al., 2024), la producción de N₂O depende de procesos microbianos como nitrificación y desnitrificación, los cuales requieren la transformación del N aplicado y su interacción con condiciones edáficas favorables (Ray et al., 2026).

En este trabajo la diferenciación entre tratamientos se evidenció a partir de 1 DDF. El tratamiento F_{DMPP} mostró los valores más altos durante las dos primeras semanas de evaluación (Figura 5), coincidiendo con eventos de lluvia (Figura 6) y condiciones altas de WFPS (Figura 7). Estas elevadas emisiones de N₂O resulta contraintuitivo porque los fertilizantes con inhibidores de la nitrificación se sitúan entre los más efectivos en la reducción de emisiones de N₂O (M. Wang et al., 2025), llegando a reducir entre 40–60 % de las emisiones (Qiao et al., 2015). Sin embargo, una diferencia importante es que este tratamiento no se basó en urea, sino en una fuente con N en forma nítrica y amoniacal. En este caso, la fracción nítrica no es afectada directamente por el inhibidor de la nitrificación y puede quedar disponible como sustrato para la desnitrificación. Bajo

condiciones de elevada humedad del suelo, particularmente con valores de WFPS favorables para la formación de micrositios anaeróbicos, este proceso puede intensificarse y contribuir a mayores emisiones de N_2O (Scheer et al., 2020). A partir del día 20 se observa una reducción de las emisiones debido al efecto del inhibidor que reduce la nitrificación del N amoniacal del producto. Esta dinámica coincide con los patrones de respuesta descritos para otros fertilizantes sintéticos que en su composición poseen NO_3^- y NH_4^+ (Bentzon-Tarp et al., 2023; Capa et al., 2015; Montenegro, 2020; Montenegro-Ballesteros et al., 2019; Ruiz et al., 2021).

Los tratamientos F_U y F_{NBPT} mostraron un desplazamiento temporal de los picos de emisión hacia el final del periodo de evaluación (Figura 5). Estos picos ocurrieron después de la hidrólisis de la urea, que en el caso de F_{NBPT} tiene a extender aún más su periodo de latencia (Cantarella et al., 2018). Posterior a este proceso y con NH_4^+ disponible, condiciones de menor precipitación (Figura 6) permitieron iniciar el proceso de nitrificación que da origen a NO_2^- , NO_3^- y pulsos de N_2O (Figura 5). Con NO_2^- y NO_3^- disponibles en el suelo, los altos valores de WFPS (Figura 7) habrían promovido la desnitrificación en los días posteriores a la primera semana de mediciones. Esta interpretación es consistente con el hecho de que la desnitrificación predomina a valores de WFPS superiores al 60 %, convirtiéndose en la principal vía de producción de N_2O en los suelos (Y. Li et al., 2025). En consecuencia, los flujos presentaron un aumento inicial al comienzo del periodo de monitoreo y un segundo incremento hacia su final (Figura 5). En el caso de F_{NBPT} , este patrón coincide con el modo de acción de este inhibidor de la ureasa, que retrasa la hidrólisis de la urea y, por tanto, la disponibilidad de sustrato para los procesos de nitrificación y desnitrificación (Soares et al., 2012). No obstante, nuestros resultados sugieren que F_{NBPT} no necesariamente reduce las emisiones acumuladas de N_2O , sino que desplaza su ventana de ocurrencia, un aspecto crítico para el diseño de estrategias de monitoreo.

Los patrones de emisiones de N_2O en este trabajo fueron distintos a otros contextos edafoclimáticos. En Brasil la urea convencional es la principal fuente de emisiones de N_2O , seguida de la urea tratada con NBPT y el nitrato de amonio; lo que es resultado de suelos bien drenados que conducen a emisiones de N_2O significativamente menores vía desnitrificación (Sarkis et al., 2023). De manera similar, en parcelas de café con suelos bien drenados en Costa Rica, las emisiones de N_2O estuvieron en gran medida

impulsadas por la nitrificación (Montenegro, 2020). Por otra parte, en zonas semi-áridas del mediterráneo el efecto “rewetting” cumple un rol importante, ya que generan pulsos de N_2O , por cambios abruptos en la humedad, la disponibilidad de oxígeno y la actividad microbiana (Guardia et al., 2024; Jiao et al., 2024). En conjunto, estas evidencias sugieren que la magnitud y la vía dominante de emisión de N_2O dependen no solo de la fuente nitrogenada aplicada, sino también de factores edáficos y climáticos (García-Marco et al., 2014), siendo además los FE, indicadores estandarizados capaces de comparar la proporción del N aplicado que se pierde como N_2O entre tratamientos, tipo de manejo y contextos edafoclimáticos diversos (de Klein et al., 2020).

El FE de F_0 ($0.20 \pm 0.08\%$) fue inferior al promedio global reportado para enmiendas orgánicas (0.82%), combinación de fuentes orgánicas y sintéticas (1.50%) así como fuentes sintéticas (1.34%). Fue menor que los valores asociados a fuentes orgánicas de mayor riesgo, como purines (0.96%), aguas residuales (1.15%) y residuos de biogás (0.92). Asimismo, fue menor que los FE de riesgo medio como estiércoles sólidos (0.97), compost con fertilizantes sintéticos (0.54%) y residuos de cultivos con fertilizantes sintéticos (0.46%); incluso los valores resultantes de este trabajo son inferiores al compost (0.27%) y aplicación de peletes (0.25%), los valores se encuentran más emparentados con las emisiones de residuos de cosecha (0.19%), siendo solo menores los que estiércoles líquidos con residuos de cultivos (0.07%) (Charles et al., 2017). El bajo valor de FE observado en F_0 sugiere que, bajo las condiciones evaluadas, los bajos valores de emisión del guano de isla estarían relacionados con una menor disponibilidad efectiva de N para los procesos microbianos productores de N_2O , posicionando a esta fuente como una alternativa potencial para el manejo de la fertilización nitrogenada en café con menor impacto sobre las emisiones de gases de efecto invernadero.

Por otra parte, las emisiones de los fertilizantes sintéticos, F_{DMPP} ($1.74 \pm 1.32\%$), F_{NBPT} ($0.91 \pm 0.54\%$) y F_U ($0.81 \pm 0.62\%$) fueron superiores los tratamientos urea convencional, nitrato de amonio, nitrato de calcio y urea recubierta con polímeros en suelos cafetaleros de Costa Rica ($0.25 - 0.58$) (Montenegro, 2020; Montenegro-Ballester, 2019); siendo registrados valores menores en entornos mediterráneos en cultivos en secano (0.27%), maíz (0.27%), cultivos irrigados (0.63) (Cayuela et al., 2017); los resultados de este trabajo resultan más parecidos los resultados a los riego por aspersión (0.91%) (Cayuela et al., 2017); siendo las emisiones del tratamiento F_{DMPP}

mayores que los valores de referencia usados en inventarios (1% como valor por defecto) (Calvo et al., 2019). Las mayores emisiones en este último fertilizante se deben a que su composición se basa principalmente en nitrato nítrico y amónico, componentes que al igual que en suelos cafetaleros de costa Rica presentan mayores emisiones que la urea tradicional (Montenegro, 2020). Además de las características de las fuentes, los altos valores de emisión de N_2O están relacionadas con características edáficas (García-Marco et al., 2014), donde la coincidencia de entradas localizadas de N en una pequeña unidad de superficie y condiciones favorables a la humedad, de alta actividad microbiológica y de raíces tiende a generar puntos calientes de emisión (Mason et al., 2017).

En el área de estudio, las temperaturas mínimas (13 - 16 °C), máximas (22 - 25 °C), así como el régimen de precipitaciones episódico durante el mes (Figura 6) compaginan con las condiciones climáticas esperadas para la zona, caracterizada por un clima muy lluvioso, templado, con abundante precipitación en todas las estaciones (SENAMHI, 2024). Por otra parte, las tendencias estadísticamente significativas de disminución de la temperatura máxima, media y mínima coinciden con el periodo de transición de la temporada húmeda hacia la temporada seca, particularmente durante los meses de mayo y junio (SENAMHI, 2024).

Bajo este contexto climático, se ha identificado a Chirinos como el segundo distrito de mayor porcentaje de territorio idóneo para el desarrollo de la caficultura (40%) dentro de la provincia de San Ignacio, siendo la dimensión climática el componente de mayor importancia en la determinación de dicha idoneidad (Gómez-Fernández et al., 2025). Esta relevancia del clima resulta particularmente importante, porque condicionan los procesos edáficos que contribuyen a configurar condiciones agroecológicas favorables para desarrollo del cultivo (Dondeyne et al., 2023).

La textura predominantemente en el área de estudio fue de franco arcillosa a arcillosa, texturas que favorecen la retención de agua y nutrientes (Brady & Weil, 2017); este tipo de textura es compatible con el desarrollo del café (Gómez-Fernández et al., 2025), especialmente cuando los suelos son profundos, bien drenados y con buena capacidad de retención de humedad (Kharche et al., 2000); características que se han registrado en otros sistemas cafetaleros tropicales (Kharche et al., 2000; Montenegro, 2020; Núñez et al., 2011; Quispe et al., 2025). Por otra parte, el pH observado, de

ligeramente ácido a casi neutro (5.72–6.98), se ubicó dentro o cerca del rango considerado favorable para café (5.5 – 6.5) (Gómez-Fernández et al., 2025). Rangos más bajos de acidez del suelo en cafetales de la selva central peruana han sido identificadas como limitantes importantes para la productividad (Quispe et al., 2025). La conductividad eléctrica indicó condiciones mayormente no salinas; sin embargo, el rango observado (0.46–6.59 dS/m) evidencia valores puntuales asociados con ligera a moderada acumulación de sales; con respecto a la fertilidad, el P presentó alta variabilidad, al igual que el contenido de carbono orgánico y materia orgánica, lo que sugiere diferencias espaciales en la acumulación y transformación de residuos orgánicos dentro del sistema. En conjunto, estos resultados indican que el suelo presenta condiciones edáficas compatibles con la caficultura, pero con una fertilidad espacialmente heterogénea que debe tomarse en cuenta en la discusión de resultados.

Respecto a la dinámica de las condiciones de suelos durante el experimento, la temperatura del suelo presentó mayor variabilidad temporal que la humedad, la porosidad, la capacidad volumétrica y el WFPS, variables que mantuvieron promedios relativamente estables. Esta dinámica sugiere que los cambios térmicos pudieron contribuir a la variación temporal de los flujos de N_2O , debido a su influencia sobre la actividad microbiana y los procesos de transformación del nitrógeno (Butterbach-Bahl et al., 2013). Además, el WFPS (60 y 70%) presentó un rango favorable para la producción de N_2O mediante desnitrificación. Sin embargo, aunque estas relaciones se sustentan en bases teóricas sólidas, la heterogeneidad del terreno y la alta variabilidad de las emisiones observada en algunos tratamientos limitan una interpretación directa del comportamiento de los flujos. En este sentido, la aplicación de modelos matemáticos y estadísticos puede contribuir a representar mejor la variabilidad espacial y temporal, así como a mejorar la comprensión de la dinámica de las emisiones de N_2O en condiciones de campo.

Los modelos matemáticos desarrollados para cada tratamiento presentaron valores bajos de bondad de ajuste y limitada capacidad predictiva (Tabla 8), al igual que otros trabajos (Ghimire et al., 2025; L. Li et al., 2024; Pan et al., 2021), esta situación se explicaría porque las variable clave como es la humedad del suelo, WFPS han mostrado muy pocas oscilaciones; asimismo no se han tenido en cuenta variables clave como Carbono orgánico disuelto (DOC), contenido de nitrato y amonio en el topsoil, pudiéndose incluir en futuras investigaciones poblaciones microbianas nitrificantes y

desnitrificantes. En general los modelos empíricos suelen no predecir con precisión la magnitud exacta de los picos de emisión debido al carácter no lineal y estocástico de las interacciones microbio–ambiente (Ghimire et al., 2025). En este trabajo, los modelos LASSO permitió seleccionar las variables con mayor contribución mediante una estructura de regresó lineal penalizada, sin embargo, al mantener una relación lineal y aditiva entre predictores y la variable respuesta, no es posible capturar las relaciones complejas y no lineales, propias de las emisiones de N_2O (Dhaliwal et al., 2025; Seshan et al., 2025).

A pesar de estas limitaciones, los modelos siguen proporcionando indicios útiles sobre el comportamiento de las emisiones específico por tratamiento. La humedad del suelo emergió como un impulsor positivo para F_C y F_{DMPP} , en consonancia con emisiones de N_2O generadas bajo condiciones de saturación hídrica y propensas a la desnitrificación (Pilegaard, 2013). Además, la temperatura, la densidad aparente y el espacio poroso lleno de agua se identificaron como otros factores clave que influyen en las emisiones de N_2O , en concordancia con informes previos (García-Marco et al., 2014; Mazzetto et al., 2020; Mirzaei et al., 2022).

En general los resultados obtenidos indican que, bajo condiciones de elevada humedad del suelo, propicias para la desnitrificación, la aplicación de una fuente nítrica, aun cuando se combine con el inhibidor DMPP, no reduce las emisiones en comparación con la urea convencional y la urea + NBPT; en consecuencia, sería preferible priorizar fuentes ureicas o amoniacales frente a fertilizantes que aporten N nítrico. Adicionalmente, desde una perspectiva económica, la urea convencional se perfila como la alternativa más recomendable. De igual manera se recomienda que futuras investigaciones prueben tratamientos de urea con inhibidor de la nitrificación o con doble inhibidor de la nitrificación y ureasa, que reducen pérdidas tempranas por volatilización y limitan la formación de NO_3^- , principal sustrato de la desnitrificación (Abalos et al., 2020; Biewald et al., 2025).

El tratamiento con mejor respuesta ha sido F_0 , mostrando valores de emisión menores que el resto de los tratamientos, por lo cual su uso sería el recomendable, no obstante, los fertilizantes orgánicos tienen a reducir los rendimientos, principalmente por la liberación más lenta y, a veces, desincronizada de nutrientes respecto a la demanda del

cultivo (Chemura, 2014; Velmourougane, 2016). En términos económicos, esta brecha productiva puede amortiguarse mediante primas por atributos en mercados diferenciados como el orgánico, comercio justo, low-carbon y agricultura regenerativa (European Union [EU], 2018; FAIRTRADE INTERNATIONAL, 2023; Merbah & Benito-Hernández, 2024). De forma complementaria, una ruta sólida para mitigar la huella de carbono del café es la transición hacia sistemas agroforestales, los cuales incrementan el secuestro de carbono en biomasa y suelo, contribuyendo a compensar parcialmente las emisiones del sistema productivo (Gomes et al., 2025; Vallejos-Torres et al., 2024).

Si bien se lograron captar las principales tendencias en las emisiones de N_2O e identificar los factores edáficos más influyentes, la estrategia de muestreo intermitente pudo haber pasado por alto eventos importantes de flujo de corta duración en el ciclo diario (Reeves et al., 2016). De igual manera para futuras investigaciones se deberían incluirse cámaras adicionales en el centro de las calles, para una mejor caracterización espacial de las emisiones.

Del mismo modo, el número limitado de observaciones restringió el desarrollo de modelos predictivos más precisos. Por ello, se recomienda implementar sistemas de cámaras dinámicas cerradas (CDC), que permiten un seguimiento más continuo (Grace et al., 2020), así como explorar enfoques de aprendizaje automático (machine learning) para explotar plenamente los grandes conjuntos de datos generados por dichos sistemas (Ait Issad et al., 2019).

La evaluación de las emisiones de N_2O en suelos cafetaleros constituye un paso clave para comprender la huella de carbono de la producción de café en la región nororiental del Perú, ya que permite identificar patrones de emisión asociados al uso de fertilizantes nitrogenados bajo condiciones de campo. Los resultados de este estudio representan uno de los primeros esfuerzos por cuantificar las emisiones de N_2O en sistemas cafetaleros del Perú y proporcionan una referencia para futuras investigaciones. Se requiere trabajo adicional para evaluar el rendimiento del cultivo bajo estos regímenes de fertilización y determinar factores de emisión anuales, los cuales son esenciales para evaluar la eficiencia en el uso del nitrógeno y desarrollar prácticas óptimas de manejo de la fertilización, específicas para el sitio, que mejoren la sostenibilidad del cultivo de café.

VII. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones edafoclimáticas de Chirinos, durante la época de transición seca a húmeda, la fertilización orgánica basada en guano isla presentó menores emisiones que los tratamientos urea convencional, urea + NMBTP, y nitrógeno nítrico y amoniacal + DMPP; siendo este último el que presentó un factor de emisión superior a los establecidos para suelos agrícolas manejados. Estos resultados sugieren que el guano de isla podría representar una alternativa de manejo nitrogenado con menor impacto ambiental; sin embargo, su eficiencia agronómica debe evaluarse conjuntamente con la respuesta fisiológica, nutricional y productiva del cultivo.

Las características edafoclimáticas del área de estudio fueron compatibles con el desarrollo del cultivo de café, aunque se evidenció cierta heterogeneidad en las propiedades del suelo. El periodo de evaluación se caracterizó por una disminución progresiva de la temperatura, precipitaciones episódicas y una humedad relativa relativamente constante, coherentes con un periodo de transición de época húmeda a época seca. A nivel del suelo, la temperatura del suelo presentó las mayores variaciones, en comparación con la humedad, la porosidad, la capacidad volumétrica de agua y el espacio poroso lleno de agua que presentaron menor variabilidad temporal, con la característica principal de ser suelos saturados con agua.

El modelo LASSO correspondiente al tratamiento F_{DMPP} presentó un ajuste y capacidad predictiva moderados, mientras que los demás tratamientos presentaron bajos ajustes. Los modelos correspondientes a F_O , F_C y F_{NBPT} presentaron una capacidad predictiva reducida, mientras que el correspondiente a F_U no presentó capacidad predictiva. Entre los modelos con capacidad predictiva, la humedad del suelo, temperatura, capacidad volumétrica del agua y al espacio poroso lleno de agua fueron identificados como las variables más importantes; no obstante, debido al reducido ajuste y limitada capacidad predictiva, los modelos deben interpretarse con cautela.

VIII. RECOMENDACIONES

Ampliar el monitoreo de emisiones de N_2O en otras zonas cafetaleras, utilizando cámaras estáticas cerradas y, de ser posible, cámaras dinámicas cerradas. Asimismo, se sugiere evaluar los fertilizantes considerados en este estudio junto con otras fuentes nitrogenadas, como urea con inhibidor de la nitrificación o fertilizantes con doble inhibidor, además de extender el periodo de monitoreo para generar factores de emisión más representativos para el cultivo de café.

Fortalecer la caracterización edafoclimática de los suelos cafetaleros a nivel regional, incorporando variables ambientales, físicas, químicas y de manejo que permitan interpretar mejor la respuesta de las emisiones tras la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

Finalmente, se sugiere mejorar la resolución temporal y espacial de las evaluaciones, incluyendo microambientes como camellones, e incorporar variables como DOC, NH_4^+ , NO_3^- y poblaciones microbianas nitrificantes y desnitrificantes. La integración de estos datos con modelos estadísticos y algoritmos de machine learning mejorarían la estimación y comprensión de las emisiones de N_2O .

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abalos, D., Jeffery, S., Sanz-Cobena, A., Guardia, G., & Vallejo, A. (2014). Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 189, 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.036>
- Abalos, D., Sanz-Cobena, A., Misselbrook, T., & Vallejo, A. (2020). Inhibitor-coated enhanced-efficiency N fertilizers for mitigating NO_x and N₂O emissions in a high-temperature irrigated agroecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology*, 292–293(3), 108110. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.04.043>
- Aceves-Navarro, L. A., Rivera-Hernández, B., Santillán-Fernández, A., Arrieta-Rivera, A., Juárez-López, J. F., & Gutiérrez-Burón, R. (2020). Impacto del cambio climático en la adaptación del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en Tabasco, México. *Agro Productividad*, 13(4). <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1618>
- Aguilera, E., Piñero, P., Infante-Amate, J., Molina, M., Lassaletta, L., & Sanz-Cobena, A. (2020). *Emisiones de gases de efecto invernadero en el sistema agroalimentario y huella de carbono de la alimentación en España*. Real Academia de Ingeniería.
- Ait Issad, H., Aoudjit, R., & Rodrigues, J. J. P. C. (2019). A comprehensive review of Data Mining techniques in smart agriculture. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 12(4), 511–525. <https://doi.org/10.1016/J.EAEF.2019.11.003>
- Alvarado Soto, S. (1994). *Cultivo y beneficiado del café*. EUNED.
- Arcila P., J., Farfan V., F. F., Moreno B., A. M., Salazar G., L. F., & Hincapie G., E. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia*. Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/720>
- Banco Mundial. (2020). World Bank Open Data. En *World Bank Open Data*. <https://data.worldbank.org>
- Bárcena, A., Samaniego, J., José, W. P., & Alatorre, E. (2020). La emergencia del cambio climático y el Caribe. *La emergencia del cambio climático en América Latina y el*

Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?, 375.
www.cepal.org/apps

Bentzon-Tarp, A., Helgadóttir, D., Van den Meersche, K., Gay, F., Priemé, A., Rounsard, O., Mages, C., & Elberling, B. (2023). Spatial-temporal variations of nitrous oxide emissions in coffee agroforestry systems in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 343, 108257. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2022.108257>

Biewald, A., Dippon-Deißler, U., Klitzke, S., & Noll, L. (2025). *Urease- and nitrification inhibitors for climate and environmental protection: opportunity or risk?* | Umweltbundesamt. 1–59.
<https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/urease-nitrification-inhibitors-for-climate>

Brady, N., & Weil, R. (2017). Nature and Properties of Soils, The 15th Edition. *Pearson Education*, 375–376.
https://www.researchgate.net/publication/301200878_The_Nature_and_Properties_of_Soils_15th_edition

Bunn, C., Läderach, P., Ovalle Rivera, O., & Kirschke, D. (2015). A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, 129(1), 89–101. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>

Burneo-Valdivieso, J., Capa-Mora, D., & Ochoa-Cueva, P. (2023). Soil conditions and effect of fertilization on the emission of greenhouse gases in an andean coffee gradient. *Agrociencia*, 57(5), 920–952.
<https://doi.org/10.47163/AGROCIENCIA.V57I5.2359>

Butterbach-Bahl, K., Gundersen, P., Ambus, P., Augustin, J., Beier, C., Boeckx, P., Dannenmann, M., Gimeno, B. S., Ibrom, A., Kiese, R., Kitzler, B., Rees, R. M., Smith, K. A., Stevens, C., Vesala, T., & Zechmeister-Boltenstern, S. (2011). Nitrogen processes in terrestrial ecosystems. *The European Nitrogen Assessment*, 99–125. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511976988.009>

Calvo, E., Tanabe, K., Kranjc, K., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P., & Federici, S. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines*

for National Greenhouse Gas Inventories (Vol. 4). IPCC. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>

Cameron, K. C., Di, H. J., & Moir, J. L. (2013). Nitrogen losses from the soil/plant system: A review. *Annals of Applied Biology*, 162(2), 145–173. <https://doi.org/10.1111/AAB.12014>;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:17447348

Cano, J. E. S. (2019). *Desarrollo sostenible de zonas áridas y semiáridas frente al cambio climático*. Universidad Juárez del Estado de Durango.

Cantarella, H., Otto, R., Soares, J., & Silva, A. (2018). Agronomic Efficiency of NBPT as a Urease Inhibitor: A review. *Journal of Advanced Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2018.05.008>

Capa, D., Pérez-Esteban, J., & Masaguer, A. (2015). Unsustainability of recommended fertilization rates for coffee monoculture due to high N₂O emissions. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1551–1559. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0316-z>

Cayuela, M. L., Aguilera, E., Sanz-Cobena, A., Adams, D. C., Abalos, D., Barton, L., Ryals, R., Silver, W. L., Alfaro, M. A., Pappa, V. A., Smith, P., Garnier, J., Billen, G., Bouwman, L., Bondeau, A., & Lassaletta, L. (2017). Direct nitrous oxide emissions in Mediterranean climate cropping systems: Emission factors based on a meta-analysis of available measurement data. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 238, 25–35. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2016.10.006>

Centro de Comercio Internacional. (2022). *La Guía del Café, Cuarta edición*. ITC (4 ta). Centro de Comercio Internacional. <https://intracen.org/resources/publications/o-guia-do-cafe-quarta-edicao>

CEPAL. (2015). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: paradojas y desafíos del desarrollo sostenible* | CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/37310-la-economia-cambio-climatico-america-latina-caribe-paradojas-desafios-desarrollo>

- Chadwick, D. R., Cardenas, L., Misselbrook, T. H., Smith, K. A., Rees, R. M., Watson, C. J., McGeough, K. L., Williams, J. R., Cloy, J. M., Thorman, R. E., & Dhanoa, M. S. (2014). Optimizing chamber methods for measuring nitrous oxide emissions from plot-based agricultural experiments. *European Journal of Soil Science*, 65(2), 295–307. <https://doi.org/10.1111/EJSS.12117>;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Charles, A., Rochette, P., Whalen, J. K., Angers, D. A., Chantigny, M. H., & Bertrand, N. (2017). Global nitrous oxide emission factors from agricultural soils after addition of organic amendments: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 236, 88–98. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2016.11.021>
- Chemura, A. (2014). The growth response of coffee (*Coffea arabica* L) plants to organic manure, inorganic fertilizers and integrated soil fertility management under different irrigation water supply levels. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture 2014 3:2*, 3(2), 59-. <https://doi.org/10.1007/s40093-014-0059-x>
- Chien, S. H., Prochnow, L. I., & Cantarella, H. (2009). *Chapter 8 Recent Developments of Fertilizer Production and Use to Improve Nutrient Efficiency and Minimize Environmental Impacts*. 102, 267–322. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01008-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01008-6)
- Correa Galeote, D. (2016). *Biodiversidad y ecología funcional de bacterias desnitrificantes* [Universidad de Granada]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=56170>
- Costantini, A. O., Perez, M. G., Busto, M., González, F. A., Cosentino, V. R. N., Romaniuk, R. I., & Taboada, M. A. (2018). Emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera. *Ciencia e Investigación* 68 (5) : 47-54. (2018). <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/4389>
- D. C. Montgomery. (2017). Design and Analysis of Experiments, John Wiley & Sons. *Mycological Research*, 106(11), 1323–1330. https://www.researchgate.net/publication/362079778_Design_and_Analysis_of_Experiments_9th_Edition

- de Klein, C. A. M., Alfaro, M. A., Giltrap, D., Topp, C. F. E., Simon, P. L., Noble, A. D. L., & van der Weerden, T. J. (2020). Global Research Alliance N₂O chamber methodology guidelines: Statistical considerations, emission factor calculation, and data reporting. *Journal of Environmental Quality*, 49(5), 1156–1167. <https://doi.org/10.1002/JEQ2.20127>;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:15372537
- Dhaliwal, J. K., Panday, D., Robertson, G. P., & Saha, D. (2025). Machine learning reveals dynamic controls of soil nitrous oxide emissions from diverse long-term cropping systems. *Journal of Environmental Quality*, 54(1), 132–146. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20637>
- Díaz, M. del C. C., Reyes, G. E., Hernández, C. A. I., & Cantú, A. M. (2012). *Métodos ecotoxicológicos para la evaluación de suelos contaminados con hidrocarburos*. Instituto Nacional de Ecología.
- Dondeyne, S., Mantel, S., & Deckers, S. (2023). Factors of soil formation: Climate. *Encyclopedia of Soils in the Environment, Second Edition*, 14–24. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00080-X>
- Dumas, P., Wirsén, S., Searchinger, T., Vogt-Schilb, A., & Andrieu, N. (2022). Opciones de la agricultura y los cambios del uso del suelo para alcanzar cero emisiones netas en América Latina y el Caribe. *Banco Interamericano de Desarrollo*. <https://hal.science/hal-03793826>
- Dunn, O. J. (1961). Multiple Comparisons Among Means. *Journal of the American Statistical Association*, 56(293), 52. <https://doi.org/10.2307/2282330>
- Ekeberg, D., Ogner, G., Fongen, M., Joner, E. J., & Wickstrøm, T. (2004). Determination of CH₄, CO₂ and N₂O in air samples and soil atmosphere by gas chromatography mass spectrometry, GC-MS. *Journal of Environmental Monitoring*, 6(7), 621–623. <https://doi.org/10.1039/B401315H>
- European Union [EU]. (2018). *REGULATION (EU) 2018/848 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL*. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32018R0848>

- FAIRTRADE INTERNATIONAL. (2023). *2023 Annual Report*.
<https://www.fairtrade.net/en/get-involved/library/2023-annual-report.html>
- FAO. (2018). *Panorama de la Pobreza Rural en América Latina y el Caribe 2018*. FAO.
<https://doi.org/10.4060/cc2323en>
- FAO. (2022). Acción mundial sobre el desarrollo verde de productos agrícolas especiales: Un país, un producto prioritario. *Acción mundial sobre el desarrollo verde de productos agrícolas especiales: Un país, un producto prioritario*.
<https://doi.org/10.4060/CC0608ES>
- FAO. (2023). *FAOSTAT*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- Feng, J., Li, F., Deng, A., Feng, X., Fang, F., & Zhang, W. (2016). Integrated assessment of the impact of enhanced-efficiency nitrogen fertilizer on N₂O emission and crop yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 231, 218–228.
<https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2016.06.038>
- Friedman, M. (1937). The Use of Ranks to Avoid the Assumption of Normality Implicit in the Analysis of Variance. *Journal of the American Statistical Association*, 32(200), 675–701. <https://doi.org/10.1080/01621459.1937.10503522>
- Frimpong, K. A., Yawson, D. O., Agyarko, K., & Baggs, E. M. (2012). N₂O Emission and Mineral N Release in a Tropical Acrisol Incorporated with Mixed Cowpea and Maize Residues. *Agronomy*, 2(3), 167–186.
<https://doi.org/10.3390/agronomy2030167>
- Gallego Blanco, J. M. (2012). *Efecto de dos abonos verdes sobre la mineralización del Nitrógeno y la dinámica de bacterias oxidantes del amoníaco Y del nitrito en un ciclo de cultivo de maíz Zea mays L.* [Universidad Nacional de Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20087>
- Galloway, J. N., Dentener, F. J., Capone, D. G., Boyer, E. W., Howarth, R. W., Seitzinger, S. P., Asner, G. P., Cleveland, C. C., Green, P. A., Holland, E. A., Karl, D. M., Michaels, A. F., Porter, J. H., Townsend, A. R., & Vöosmarty, C. J. (2004). Nitrogen

- Cycles: Past, Present, and Future. *Biogeochemistry*, 70(2), 153–226.
<https://doi.org/10.1007/s10533-004-0370-0>
- García-Marco, S., Ravello, S. R., Chadwick, D., Vallejo, A., Gregory, A. S., & Cárdenas, L. M. (2014). Ranking factors affecting emissions of GHG from incubated agricultural soils. *European journal of soil science*, 65(4), 573–583.
<https://doi.org/10.1111/EJSS.12143>
- Geisseler, D., Smith, R., Cahn, M., & Muramoto, J. (2021). Nitrogen mineralization from organic fertilizers and composts: Literature survey and model fitting. *Journal of Environmental Quality*, 50(6), 1325–1338. <https://doi.org/10.1002/JEQ2.20295>
- Ghimire, U., Ashiq, W., Biswas, A., Yang, W., & Daggupati, P. (2025). Application of Machine Learning Algorithms in Nitrous Oxide (N₂O) Emission Estimation in Data-Sparse Agricultural Landscapes. *Atmosphere*, 16(6).
<https://doi.org/10.3390/atmos16060703>
- Gomes, V. M., Miranda Júnior, M. S., Silva, L. J., Teixeira, M. V., Teixeira, G., Schossler, K., Freitas, D. A. F. de, & Oliveira, D. M. da S. (2025). A Global Meta-Analysis of Soil Carbon Stock in Agroforestry Coffee Cultivation. *Agronomy* 2025, Vol. 15, 15(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy15020480>
- Gómez-Fernández, D., Atalaya-Marin, N., Arce-Inga, M., Tineo, D., Fernandez-Jibaja, J. A., Taboada-Mitma, V. H., Cabrera-Hoyos, H., Cruz-Luis, J., & Goñas, M. (2025). Territorial zoning as a strategy for sustainable natural resource management in Cajamarca, Northwestern Peru. *Ecological Informatics*, 103440.
<https://doi.org/10.1016/J.ECOINF.2025.103440>
- Gonzalez, O. H., Sadeghian, K. S., & Jaramillo, R. A. (2014). *Épocas recomendables para la fertilización de cafetales*. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/498>
- Grace, P. R., van der Weerden, T. J., Rowlings, D. W., Scheer, C., Brunk, C., Kiese, R., Butterbach-Bahl, K., Rees, R. M., Robertson, G. P., & Skiba, U. M. (2020). Global Research Alliance N₂O chamber methodology guidelines: Considerations for automated flux measurement. *Journal of Environmental Quality*, 49(5), 1126–1140.
<https://doi.org/10.1002/JEQ2.20124;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER>

- Guardia, G., Aguilera, E., Vallejo, A., Álvaro-Fuentes, J., Cantero-Martínez, C., Sanz-Cobena, A., Barton, L., Volpi, I., & Ibáñez, M. (2024). Contribution of the postharvest period to soil N₂O emissions from arable Mediterranean crops. *Journal of Cleaner Production*, 469, 143186. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2024.143186>
- Guardia, G., Sanz-Cobena, A., Sanchez-Martín, L., Fuertes-Mendizábal, T., González-Murua, C., Álvarez, J. M., Chadwick, D., & Vallejo, A. (2018). Urea-based fertilization strategies to reduce yield-scaled N oxides and enhance bread-making quality in a rainfed Mediterranean wheat crop. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 265, 421–431. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2018.06.033>
- Guardia Vázquez, G. (2017). *Strategies to mitigate greenhouse gas and nitric oxide emissions in rainfed and irrigated agro-ecosystems | Archivo Digital UPM* [Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/47329/>
- Guelfi, D. (2017). Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. *Informações Agronômicas*, 257(157), 1–14.
- Guerrero-Carrera, J., Jaramillo-Villanueva, J. L., Mora-Rivera, J., Bustamante-González, Á., Vargas-López, S., & Chulim-Estrella, N. (2020). Impacto del cambio climático sobre la producción de café. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(71), 1–18.
- Gütlein, A., Gerschlauser, F., Kikoti, I., & Kiese, R. (2018). Impacts of climate and land use on N₂O and CH₄ fluxes from tropical ecosystems in the Mt. Kilimanjaro region, Tanzania. *Global Change Biology*, 24(3), 1239–1255. <https://doi.org/10.1111/gcb.13944>
- Han, S.-H., Park, J., Lee, K.-B., Park, C.-H., & Lee, D.-Y. (2026). Variable-specific preprocessing enables cross-scale transferable Raman models from high-throughput bioreactor data. *Bioresources and Bioprocessing* 2026 13:1, 13(1), 122-. <https://doi.org/10.1186/S40643-026-01105-5>
- INRENA. (1996). *Mapa de suelos del Perú: 1:5,000,000*. Portal Regional de la BVS.

- Instituto del Café de Costa Rica [ICAFFE]. (2020). *Guía técnica para el cultivo del café* (Segunda).
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2016). *Manual Práctico Producción de Plantones de Calidad: Café (coffea arabica L.)*.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2019). *Sistematización de la experiencia de los subproyectos de café* (PNIA). <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1368>
- IPCC. (1998). *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre, en los inventarios nacionales de fases de efecto invernadero*.
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático*. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>
- IPCC. (2014). *Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>
- IPCC. (2023). The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks and Climate Sensitivity. *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*, 923–1054. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.009>
- Jiao, P., Yang, L., Li, Z., Zheng, P., & Nie, X. (2024). Soil type and wetting intensity control the enhancement extent of N₂O efflux in soil with drought and rewetting cycles. *International Soil and Water Conservation Research*, 12(1), 137–144. <https://doi.org/10.1016/J.ISWCR.2023.05.007>
- José, I., Sullca, A. B., & Lima -Perú, S. (2009). *Manejo integrado del cultivo de café*. Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/176>
- Jürgen, & Janssens, M. (2010). Growth and production of coffee. En *Encyclopedia of Life Support Systems Encyclopedia of Life Support Systems*. Plant Growth and Crop Production. <https://www.eolss.net/>

- Khalajabadi, S. S. (2014). Manejo integrado de nutrientes para una caficultura sostenible. *Suelos Ecuatoriales*, 44(2), 74–89. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7831475&info=resumen&idioma=SPA>
- Kharche, V., Sehgal, J., & Challa, O. (2000). *Characterisation of coffee growing soils in Karnataka*.
- Li, L., Lu, C., Winiwarter, W., Tian, H., Canadell, J. G., Ito, A., Jain, A. K., Kou-Giesbrecht, S., Pan, S., Pan, N., Shi, H., Sun, Q., Vuichard, N., Ye, S., Zaehle, S., & Zhu, Q. (2024). Enhanced nitrous oxide emission factors due to climate change increase the mitigation challenge in the agricultural sector. *Global Change Biology*, 30(8). <https://doi.org/10.1111/gcb.17472>
- Li, Y., Gao, X., Liu, J., Shen, J., Kuang, W., Chen, J., & Zeng, F. (2025). Effects of nitrification and urease inhibitors on nitrous oxide emissions and concentrations driven by soil moisture in sandy soils. *Journal of Environmental Management*, 373. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123066>
- Liu, S., Lin, F., Wu, S., Ji, C., Sun, Y., Jin, Y., Li, S., Li, Z., & Zou, J. (2017). A meta-analysis of fertilizer-induced soil NO and combined NO+N₂O emissions. *Global Change Biology*, 23(6), 2520–2532. <https://doi.org/10.1111/GCB.13485>
- Lizarazo Ariza, J. A. (2020). *Planteamiento de un modelo de análisis del riesgo de deforestación con metodología multicapa* [Pontificia Universidad Javeriana]. <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/53361>
- Longoria-Ramírez, R., Carbajal-Benítez, G., Mar-Morales, B. E., & Ruiz-Suárez, L. G. (2003). Nitrous oxide flux in maize and wheat cropped soils in the central region of Mexico during “El Niño” year 1998. *Atmósfera*, 16(4), 231–244. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362003000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Lozano-Povis, A., Alvarez-Montalván, C. E., & Moggiano, N. (2021). El cambio climático en los andes y su impacto en la agricultura: una revisión sistemática.

Scientia Agropecuaria, 12(1), 101–108.
<https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2021.012>

Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245.
<https://doi.org/10.2307/1907187>

Maqueda González, M. R., Carbonell Padrino, M. V., Martínez Ramírez, E., & Flórez García, M. (2005). Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (4), 14–18.
<https://www.redalyc.org/pdf/2311/231117588003.pdf>

Marín, J. C., Castro, E., Behling, E., Colina, G., Díaz, L., & Rincón, N. (2012). Nitrobacterias en reactores biológicos rotativos de contacto (RBC) de tres cámaras bajo diferentes cargas orgánicas/Nitrobacteria in three stages rotating biological contactor (RBC) reactors under different organic loads. *Revista Tecnocientífica URU*, (2), 71–82. <http://uruojs.insiemmp.com/ojs/index.php/tc/article/view/541>

Mason, C. W., Stoof, C. R., Richards, B. K., Das, S., Goodale, C. L., & Steenhuis, T. S. (2017). Hotspots of Nitrous Oxide Emission in Fertilized and Unfertilized Perennial Grasses. *Soil Science Society of America Journal*, 81(3), 450–458.
<https://doi.org/10.2136/sssaj2016.08.0249>

Matthias, A. D., Yarger, D. N., & Weinbeck, R. S. (1978). A numerical evaluation of chamber methods for determining gas fluxes. *Geophysical Research Letters*, 5(9), 765–768.
<https://doi.org/10.1029/GL005I009P00765;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:19448007;WGROU:STRING:PUBLICATION>

Mazzetto, A. M., Styles, D., Gibbons, J., Arndt, C., Misselbrook, T., & Chadwick, D. (2020). Region-specific emission factors for Brazil increase the estimate of nitrous oxide emissions from nitrogen fertiliser application by 21%. *Atmospheric Environment*, 230, 117506. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2020.117506>

Merbah, N., & Benito-Hernández, S. (2024). Consumer Willingness-to-Pay for Sustainable Coffee: Evidence from a Choice Experiment on Fairtrade and UTZ

- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2020). *Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del sector Agricultura del año 2016 Categorías: Ganado y Fuentes agregadas y emisiones no-CO2 en otras tierras*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. <https://infocarbono.minam.gob.pe/reportes-sectoriales/agricultura-2016/>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Diseño (y rediseño) y manejo de sistemas agroforestales de café [guía]*. <https://bvearmb.do/handle/123456789/3331>
- Mirzaei, M., Gorji Anari, M., Taghizadeh-Toosi, A., Zaman, M., Saronjic, N., Mohammed, S., Szabo, S., & Caballero-Calvo, A. (2022). Soil Nitrous Oxide Emissions Following Crop Residues Management in Corn-Wheat Rotation Under Conventional and No-Tillage Systems. *Air, Soil and Water Research*, 15. <https://doi.org/10.1177/11786221221128789>;WEBSITE:WEBSITE:SAGE;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:ASWA;ISSUE:ISSUE:DOI
- Montañez Ártica, A. G., Arias Ricaldi, J. N., Ayala Salcedo, W., Carrera Rojo, R. P., Dávila Pérez, J., Campos Tello, J. D., Huacce Prado, R., Hermoza Gamarra, Y., Ruiz Medina, F., Flores Gutiérrez, M. M., & Altamirano Pareja, M. (2022). Manual del cultivo de café en el VRAEM. *INIA-Instituto Nacional de Innovación Agraria*, 50. <https://hdl.handle.net/20.500.12955/1625>
- Montenegro, J. (2020). Efecto de diferentes fuentes de nitrógeno en la emisión de óxido nitroso en plantaciones de café en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(2), 111–130. <https://doi.org/10.15359/RCA.54-2.6>
- Montenegro-Ballester, J. (2019). Respuesta polinómica de la emisión de óxido nitroso en plantaciones de café en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(2), 1–24. <https://doi.org/10.15359/RCA.53-2.1>
- Mora, C., Frazier, A. G., Longman, R. J., Dacks, R. S., Walton, M. M., Tong, E. J., Sanchez, J. J., Kaiser, L. R., Stender, Y. O., Anderson, J. M., Ambrosino, C. M., Fernandez-Silva, I., Giuseffi, L. M., & Giambelluca, T. W. (2013). The projected

- timing of climate departure from recent variability. *Nature*, 502(7470), 183–187.
<https://doi.org/10.1038/nature12540>
- Mora, N. (2008). *Agrocadena del Café*. Ministerio de Agricultura y Ganadería Dirección Regional Huetar Norte. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/>
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*.
- Navarro García, G., & Navarro García, S. (2014). *Fertilizantes: química y acción*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Neyman, G. B., & Derr, E. A. (2002). *Homogeneous granules of slow-release fertilizer and method of making the same* (Número US6464746B2). <https://patents.google.com/patent/US6464746B2/en>
- Núñez, P., Pimentel, A., Almonte, I., Sotomayor-Ramírez, D., Martínez, N., Pérez, A., Céspedes, C., Rico, P., Mayagüez, R., en Ecología Medio Ambiente, M., Pedro Henríquez Ureña, U., Domingo, S., & Dominicana, R. (2011). SOIL FERTILITY EVALUATION OF COFFEE (*Coffea* spp.) PRODUCTION SYSTEMS AND MANAGEMENT RECOMMENDATIONS FOR THE BARAHONA PROVINCE, DOMINICAN REPUBLIC. *Journal of soil science and plant nutrition*, 11(1), 127–140. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162011000100010>
- Ordoñez, J. E. R. (2017). Estimación de emisiones de metano producidas por gestión de estiércol proveniente de sistemas de producción de bovinos de leche en Majes – Arequipa. *Veritas*, 16(1), 19–23. <https://doi.org/10.35286/veritas.v16i1.90>
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2018). *Reducción de los gases de efecto invernadero*. <https://www.iaea.org/es/temas/reduccion-de-los-gases-de-efecto-invernadero>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, & Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2022). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2022-2031*. OECD Publishing. <https://www.oecd.org/publications/ocde-fao-perspectivas-agricolas-22184376.htm>

- Ortiz-Gonzalo, D., de Neergaard, A., Vaast, P., Suárez-Villanueva, V., Oelofse, M., & Rosenstock, T. S. (2018). Multi-scale measurements show limited soil greenhouse gas emissions in Kenyan smallholder coffee-dairy systems. *Science of The Total Environment*, 626, 328–339. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.12.247>
- Ovalle-Rivera, O., Läderach, P., Bunn, C., Obersteiner, M., & Schroth, G. (2015). Projected Shifts in *Coffea arabica* Suitability among Major Global Producing Regions Due to Climate Change. *PLoS ONE*, 10(4), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124155>
- Pan, B., Lam, S. K., Wang, E., Mosier, A., & Chen, D. (2021). New approach for predicting nitrification and its fraction of N₂O emissions in global terrestrial ecosystems. *Environmental Research Letters*, 16(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe4f5>
- Pedersen, A. R., Petersen, S. O., & Schelde, K. (2010). A comprehensive approach to soil-atmosphere trace-gas flux estimation with static chambers. *European Journal of Soil Science*, 61(6), 888–902. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2389.2010.01291.X>
- Pilegaard, K. (2013). Processes regulating nitric oxide emissions from soils. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1621). <https://doi.org/10.1098/RSTB.2013.0126/22212>
- Pincay, C. V. C., & Unda, S. B. (2020). Aspectos sociales y económicos: caso productores de café en la provincia El Oro. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(1), 71–75. <http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/233>
- Ponce, C. (2020). Intra-seasonal climate variability and crop diversification strategies in the Peruvian Andes: A word of caution on the sustainability of adaptation to climate change. *World Development*, 127, 104740. <https://doi.org/10.1016/J.WORLDDEV.2019.104740>
- Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Tignor, M. M. B., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., & Rama, B. (2023). Summary for Policymakers. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report

- of the Intergovernmental Panel on Climate Change. En *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.001>
- Poth, M., & Focht, D. D. (1985). ^{15}N kinetic analysis of N_2O production by *Nitrosomonas europaea*: An examination of nitrifier denitrification. *Applied and Environmental Microbiology*, 49(5), 1134–1141. <https://doi.org/10.1128/AEM.49.5.1134-1141.1985>;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Qiao, C., Liu, L., Hu, S., Compton, J. E., Greaver, T. L., & Li, Q. (2015). How inhibiting nitrification affects nitrogen cycle and reduces environmental impacts of anthropogenic nitrogen input. *Global Change Biology*, 21(3), 1249–1257. <https://doi.org/10.1111/gcb.12802>
- Quiñones-Huatangari, L., Fernandez-Zarate, F. H., & Huaccha-Castillo, A. E. (2022). Nitrous Oxide Emissions Generated in Coffee Cultivation: A Systematic Review. *Nature Environment and Pollution Technology*, 21(4), 1697–1703. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2022.v21i04.023>
- Quispe, K., Hermoza, N., Mejia, S., Romero-Chavez, L. E., Ottos, E., Arce, A., & Solórzano Acosta, R. (2025). Spatial Analysis of Soil Acidity and Available Phosphorus in Coffee-Growing Areas of Pichanaqui: Implications for Liming and Site-Specific Fertilization. *Agriculture 2025, Vol. 15, Page 1632*, 15(15), 1632. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE15151632>
- Ramírez-Juárez, J. (2022). Seguridad alimentaria y la agricultura familiar en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(3), 553–565. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2854>
- Ray, A., Kasrija, L., Hayat, F., Thapa, R., Yang, X., Li, Q., Tian, H., & Hui, D. (2026). Effects of enhanced efficiency fertilizers on soil nitrous oxide emissions in corn agroecosystems: Integrating machine learning and meta-analysis. *Scientific Reports 2026 16:1*, 16(1), 17954-. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-48776-w>

- Real Academia de la Lengua Española. (s/f). Agricultura Diccionario de la lengua española. En «*Diccionario de la lengua española*» - Edición del Tricentenario. Recuperado <https://dle.rae.es/agricultura>
- Reeves, S., Wang, W., Salter, B., & Halpin, N. (2016). Quantifying nitrous oxide emissions from sugarcane cropping systems: Optimum sampling time and frequency. *Atmospheric Environment*, 136, 123–133. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2016.04.008>
- Riego, M. de A. y, & AgroRural. (2019). Cultivo de Café. *Ministerio de Agricultura y Riego*. <http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/20.500.13036/290>
- Rochette, P., Angers, D. A., Chantigny, M. H., MacDonald, J. D., Bissonnette, N., & Bertrand, N. (2009). Ammonia volatilization following surface application of urea to tilled and no-till soils: A laboratory comparison. *Soil and Tillage Research*, 103(2), 310–315. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2008.10.028>
- Rodríguez, A., Rodrigues, M., Sotomayor, O., & Wonder, P. (2019). *Innovación, agregación de valor y diferenciación: estrategias para el sector agroalimentario de América Latina y el Caribe en un mundo complejo: 2030 – Alimentación, agricultura y desarrollo rural en América Latina y el Caribe - Documento N° 13*. FAO. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca5127es>
- Rufino, M. C., Brandt, P., Herrero, M., & Butterbach-Bahl, K. (2014). Reducing uncertainty in nitrogen budgets for African livestock systems. *Environmental Research Letters*, 9(10), 105008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/105008>
- Ruiz, M. S. M., Reiser, M., & Kranert, M. (2021). Nitrous oxide emission fluxes in coffee plantations during fertilization: A case study in costa rica. *Atmosphere*, 12(12), Article 1656. <https://doi.org/10.3390/atmos12121656>
- Sadeghian K., S., & Duque O., H. (2003). Análisis de suelos: importancia e implicaciones económicas en el cultivo del café. *Cenicafé*, (308), 1–8. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4189>

- Sadeghian K., S., & González O., H. (2012). Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de producción. *Cenicafé*, (424), 1–8. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/1107>
- Salamanca-Jimenez, A., Doane, T. A., & Horwath, W. R. (2017). Nitrogen use efficiency of coffee at the vegetative stage as influenced by fertilizer application method. *Frontiers in Plant Science*, 8, 209306. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2017.00223/BIBTEX>
- Sarkis, L. F., Dutra, M. P., dos Santos, C. A., Rodrigues Alves, B. J., Urquiaga, S., & Guelfi, D. (2023). Nitrogen fertilizers technologies as a smart strategy to mitigate nitrous oxide emissions and preserve carbon and nitrogen soil stocks in a coffee crop system. *Atmospheric Environment: X*, 20, 100224. <https://doi.org/10.1016/J.AEAOA.2023.100224>
- Scheer, C., Fuchs, K., Pelster, D. E., & Butterbach-Bahl, K. (2020). Estimating global terrestrial denitrification from measured N₂O:(N₂O + N₂) product ratios. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 47, 72–80. <https://doi.org/10.1016/J.COSUST.2020.07.005>
- SENAMHI. (2020). *Caracterización y zonificación por aptitud agroclimática del cultivo de Café (Coffea arabica) en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca*. <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1918>
- SENAMHI. (2024). *Mapa Climático del Perú*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
- Seshan, S., Poinapen, J., Zandvoort, M. H., van Lier, J. B., & Kapelan, Z. (2025). Forecasting nitrous oxide emissions from a full-scale wastewater treatment plant using LSTM-based deep learning models. *Water Research*, 268. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122754>
- Smith, K., Bouwman, L., & Braatz, B. (1998). NO₂: Direct emissions from agricultural soils. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, 361–380. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/>

- Soares, J. R., Cantarella, H., & Menegale, M. L. de C. (2012). Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors. *Soil Biology and Biochemistry*, 52, 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.04.019>
- Stevens, R. J., & Laughlin, R. J. (1998). Measurement of nitrous oxide and di-nitrogen emissions from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52(2), 131–139. <https://doi.org/10.1023/A:1009715807023>
- Sthle, L., & Wold, S. (1989). Analysis of variance (ANOVA). *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 6(4), 259–272. [https://doi.org/10.1016/0169-7439\(89\)80095-4](https://doi.org/10.1016/0169-7439(89)80095-4)
- Timilsena, Y. P., Adhikari, R., Casey, P., Muster, T., Gill, H., & Adhikari, B. (2014). Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1131–1142. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6812>
- Trenkel, M. E. (2010). *Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture*.
- Trivelli, C., & Berdegué, J. A. (2019). *Transformación rural Pensando el futuro de América Latina y el Caribe*. FAO; <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca5508es>
- Ussiri, D., & Lal, R. (2013). Soil Emission of Nitrous Oxide and its Mitigation. *Soil Emission of Nitrous Oxide and its Mitigation*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5364-8>
- Vallejos-Torres, G., Gaona-Jimenez, N., Pichis-García, R., Ordoñez, L., García-Gonzales, P., Quinteros, A., Lozano, A., Saavedra-Ramírez, J., Tuesta-Hidalgo, J. C., Reategui, K., Macedo-Córdova, W., Baselly-Villanueva, J. R., & Marín, C. (2024). Carbon reserves in coffee agroforestry in the Peruvian Amazon. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1410418. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1410418>

- Velmourougane, K. (2016). Impact of Organic and Conventional Systems of Coffee Farming on Soil Properties and Culturable Microbial Diversity. *Scientifica*, 2016, 3604026. <https://doi.org/10.1155/2016/3604026>
- Venterea, R. T., Petersen, S. O., de Klein, C. A. M., Pedersen, A. R., Noble, A. D. L., Rees, R. M., Gamble, J. D., & Parkin, T. B. (2020). Global Research Alliance N2O chamber methodology guidelines: Flux calculations. *Journal of Environmental Quality*, 49(5), 1141–1155. <https://doi.org/10.1002/JEQ2.20118>;PAGEGROUP:STRING:PUBLICATION
- Wang, M., He, P., Fan, D., Jiang, R., Zou, G., Song, D., Zhang, L., Zhang, Y., & He, W. (2025). Trade-offs between agronomic and environmental benefits: A comparison of inhibitors with controlled release fertilizers in global maize systems. *Field Crops Research*, 323, 109768. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2025.109768>
- Wang, Y., Guo, J., Vogt, R. D., Mulder, J., Wang, J., & Zhang, X. (2018). Soil pH as the chief modifier for regional nitrous oxide emissions: New evidence and implications for global estimates and mitigation. *Global Change Biology*, 24(2), e617–e626. <https://doi.org/10.1111/GCB.13966>;JOURNAL:JOURNAL:13652486;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Watson, C. J., Akhonzada, N. A., Hamilton, J. T. G., & Matthews, D. I. (2008). Rate and mode of application of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide on ammonia volatilization from surface-applied urea. *Soil Use and Management*, 24(3), 246–253. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2008.00157.x>
- Webster, F. A., & Hopkins, D. W. (1996). Contributions from different microbial processes to N2O emission from soil under different moisture regimes. *Biology and Fertility of Soils*, 22(4), 331–335. <https://doi.org/10.1007/BF00334578>
- Winston, E., Op de Laak, J., Marsh, T., Lempke, H., & Chapman, K. (2005). *Arabica coffee manual for Lao-PDR. Chapter 4 - Plant nutrition & fertiliser management*. <http://www.fao.org/docrep/008/ae939e/ae939e00.htm#Contents>

- Wolf, I., & Russow, R. (2000). Different pathways of formation of N₂O, N₂ and NO in black earth soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(2), 229–239.
[https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00151-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00151-0)
- Wright, S. (1921). Correlation and Causation. *Journal of Agricultural Research*, 20, 557–585.
https://books.google.com.pe/books/about/Correlation_and_Causation.html?id=U2w3YgEACAAJ&redir_esc=y
- Zhang, Z., Eddy, W. C., Stuchiner, E. R., DeLucia, E. H., & Yang, W. H. (2024). A conceptual model explaining spatial variation in soil nitrous oxide emissions in agricultural fields. *Communications Earth & Environment* 2024 5:1, 5(1), 730-.
<https://doi.org/10.1038/s43247-024-01875-w>

I. ANEXOS

Anexo 1

Emisiones de N₂O por muestreo

Tratamiento	Bloque	Emisiones de N ₂ O por fecha de evaluación (mg N ₂ O–N m ⁻² d ⁻¹)								
		10 - May	11 - May	14 - May	17 - May	24 - May	31 - May	4 - Jun	6 - Jun	8 - Jun
T1	1	3.47422438	1.46595605	2.93944893	4.83259472	2.07420342	2.44536906	0.31334091	0.8486119	4.0711832
T2	1	6.82610035	16.2498354	31.023779	16.2685376	11.8816623	6.05850399	1.66997227	2.01122859	21.1950509
T3	1	1.3947356	2.94812958	11.9166955	7.6909057	51.0639205	127.612458	43.1718834	29.7692889	47.7937983
T4	1	7.48086663	56.860007	344.516957	455.579735	406.64413	313.38791	94.8524201	61.7375469	201.004071
T5	1	1.51696609	3.78908173	11.2950644	18.3144578	91.684301	169.576792	86.2728503	87.7318372	263.409201
T1	2	0.91926113	0.23488666	2.05490417	1.07472392	2.69727084	5.9630024	4.45323585	6.71437302	6.73374627
T2	2	3.36959217	35.0907298	30.3303376	53.022078	45.7782121	22.8940424	3.45440521	2.76016795	9.15923188
T3	2	5.18351993	17.243328	33.8926876	52.7353492	111.505898	341.366705	237.95092	238.732632	370.516154
T4	2	3.02270952	59.8394519	124.775109	113.037766	179.913981	181.606022	31.0729739	20.4034031	101.364086
T5	2	3.1624685	3.28738035	9.68040594	8.91363543	88.8489934	301.821386	391.581093	514.640683	848.8352
T1	3	1.85544296	6.38704572	6.35340211	4.47332142	4.38359005	7.28725573	6.45732785	10.0644309	14.5775657

T2	3	3.24418147	46.1810435	41.5504038	55.8131834	53.0106022	12.91691	4.12642652	3.26309786	7.66631946
T3	3	0.50912613	6.83589735	19.7188714	24.3334101	117.512347	302.173222	165.618064	193.582737	486.234353
T4	3	21.3242522	145.294573	162.717853	600.075079	453.947037	255.463646	151.70757	131.578039	301.158617
T5	3	2.890958	5.47347621	18.4479167	16.4149366	28.6846623	120.162939	62.300393	100.688432	280.784755
T1	4	1.82111714	1.28956791	2.19118829	2.88202757	0.99422811	1.09153036	0.58528952	2.00990592	1.61876272
T2	4	9.48236325	69.0646092	35.0712288	46.2561174	14.7806272	4.62518456	0.94550068	1.55705367	2.64678785
T3	4	4.61308132	5.43818042	18.8614945	13.1180808	21.4287219	27.3575802	14.7340343	14.0359491	21.7038008
T4	4	1.45514635	38.4603809	23.0590744	15.7565136	25.8109451	35.1445945	8.33193528	9.04149426	24.6429737
T5	4	4.51305369	14.086301	6.91277756	12.9629242	60.451587	166.354006	93.5527444	134.660656	300.207952

Anexo 2

Estadística descriptiva de las emisiones de N₂O

Tratamiento	Promedio (mg N ₂ O–N m ⁻² d ⁻¹)	Mediana (mg N ₂ O–N m ⁻² d ⁻¹)	Desviación estándar	Rango (mg N ₂ O–N m ⁻² d ⁻¹)	Sumatoria (mg N ₂ O–N m ⁻² 9d ⁻¹)
T1	3.6	2.57	3.05	0.23–14.58	129.63
T2	20.31	12.4	19.67	0.95–69.06	731.25
T3	88.62	25.85	123.71	0.51–486.23	3190.3
T4	143.39	98.11	154.04	1.46–600.08	5162.07
T5	120.39	61.38	176.95	1.52–848.84	4333.91

Anexo 3

Supuestos estadísticos para la aplicación de ANOVA de medidas repetidas

Prueba	p_valor	Valor estadístico	Cumple
Shapiro-Wilk residuos	1.3581E-10	0.884060793	No
Henze-Zirkler normalidad multivariante	6.52218E-81	1.551877898	No
Mauchly esfericidad	1.31498E-42	9.02594E-09	No
Greenhouse-Geisser epsilon		0.229985698	Aplicar Greenhouse-Geisser

Anexo 4

Características edáficas registradas

Muestreo	Bloques	Tratamientos	Tprom (°C)	HS (%)	DA	PoroT (L/L)	CVA(L/L)	WFPS (%)
M1	I	T1	17.9	29.75986976	0.878985433	0.668307384	0.372415198	55.72513596
M1	I	T2	18.5333333	28.29445623	0.964449424	0.636056821	0.380564327	59.83181292
M1	I	T3	17.9666667	18.21321458	0.916675155	0.654084847	0.204135683	31.20935822
M1	I	T4	18.4666667	29.59887403	1.019048589	0.615453363	0.42844046	69.61379797
M1	I	T5	18.3333333	35.71950863	0.89548742	0.662080219	0.497606193	75.1579913
M1	II	T1	17.8666667	29.80978452	1.018641133	0.61560712	0.432616889	70.27483523
M1	II	T2	18.0333333	38.28774308	0.779056738	0.706016325	0.483345217	68.46091234
M1	II	T3	17.7666667	32.12653001	0.937659163	0.646166354	0.443821942	68.68539951

Muestreo	Bloques	Tratamientos	Tprom (°C)	HS (%)	DA	Porot (L/L)	CVA(L/L)	WFPS (%)
M1	II	T4	18.1	34.91752655	0.880207803	0.667846112	0.472242029	70.71120435
M1	II	T5	17.7	36.1988811	0.824793725	0.688757085	0.467963736	67.94321927
M1	III	T1	18.4	36.41733994	0.745543445	0.718662851	0.427014363	59.41789843
M1	III	T2	17.97	44.19675309	0.703779159	0.734422959	0.557400428	75.89637837
M1	III	T3	18.4333333	30.04561792	1.03096669	0.610955966	0.4428033	72.47712194
M1	III	T4	18.5666667	37.94567635	0.937862891	0.646089475	0.573494958	88.76401486
M1	III	T5	18.31	40.39677521	0.768157278	0.710129329	0.520627483	73.31446001
M1	IV	T1	18.2	29.81269511	0.961902822	0.637017803	0.408576958	64.1390172
M1	IV	T2	18.3666667	28.37883612	1.076907406	0.593619847	0.426708771	71.8824973
M1	IV	T3	18.4333333	31.7844148	0.916675155	0.654084847	0.427116227	65.29981988
M1	IV	T4	18.2333333	35.57106787	0.883773047	0.666500737	0.487929103	73.20758634
M1	IV	T5	18.7333333	40.54520607	0.84200876	0.682260845	0.574208007	84.16253264
M2	I	T1	18.3	34.9209984	0.86849343	0.67226663	0.466028318	69.32194716
M2	I	T2	17.9333333	31.71730966	1.018641133	0.61560712	0.473158806	76.86051558
M2	I	T3	18.2333333	33.11498258	0.977691759	0.631059714	0.484058266	76.70562007
M2	I	T4	18.1333333	40.82605242	0.910665173	0.656352765	0.628297851	95.72563477
M2	I	T5	18.0666667	36.61341853	0.909442803	0.656814036	0.525313232	79.97898994
M2	II	T1	18	30.085079	0.996129164	0.624102202	0.428644189	68.68172985
M2	II	T2	18.1366667	35.95673522	0.916777019	0.654046408	0.514719364	78.69768235

Muestreo	Bloques	Tratamientos	Tprom (°C)	HS (%)	DA	Porot (L/L)	CVA(L/L)	WFPS (%)
M2	II	T3	17.8666667	34.7547519	0.933584598	0.647703925	0.497300601	76.77900066
M2	II	T4	17.7666667	35.72302048	0.856677193	0.676725588	0.476112865	70.35538098
M2	II	T5	17.5	30.75574732	1.046246307	0.605190073	0.464704085	76.78646854
M2	III	T1	18.7	38.37975442	0.838341652	0.68364466	0.522155445	76.37819404
M2	III	T2	17.7	39.75068173	0.787715188	0.702748986	0.519710706	73.95396031
M2	III	T3	18.3	34.38336746	0.848731792	0.679723852	0.444738719	65.42932356
M2	III	T4	19.1	33.48580011	0.992462056	0.625486017	0.499643476	79.88083862
M2	III	T5	17.6333333	45.3280943	0.708668636	0.732577873	0.587552205	80.20337862
M2	IV	T1	18.4666667	33.62331141	0.955994703	0.639247282	0.484261994	75.75503381
M2	IV	T2	18.2333333	26.2853424	1.038402771	0.608149898	0.370276052	60.8856555
M2	IV	T3	18.2	30.85229991	1.030559234	0.611109723	0.459814607	75.24256119
M2	IV	T4	18.3	34.90162532	1.007741673	0.619720124	0.540287257	87.18246129
M2	IV	T5	18.6	37.10318895	0.886014057	0.665655073	0.522664765	78.51885858
M3	I	T1	18.1333333	36.66025504	0.905673831	0.65823629	0.524192727	79.63595061
M3	I	T2	18.4666667	33.57832843	0.966588571	0.635249596	0.488642151	76.92128488
M3	I	T3	18.9	32.89181642	0.954772334	0.639708553	0.467963736	73.15264646
M3	I	T4	18.6666667	38.82020202	0.771213202	0.70897615	0.4893552	69.02280139
M3	I	T5	18.7666667	41.57105031	0.876642559	0.669191487	0.623713966	93.20410936
M3	II	T1	19.2666667	36.77104042	0.777528777	0.706592914	0.452174799	63.99367862

Muestreo	Bloques	Tratamientos	Tprom (°C)	HS (%)	DA	Porot (L/L)	CVA(L/L)	WFPS (%)
M3	II	T2	19.2	45.25016903	0.659875726	0.750990292	0.545380462	72.62150632
M3	II	T3	18.8666667	33.43625937	0.922277682	0.651970686	0.463277987	71.05810077
M3	II	T4	19.1	33.09150133	0.920647856	0.652585715	0.455332586	69.77360613
M3	II	T5	18.8666667	36.27366945	0.833044718	0.685643503	0.474177447	69.1580166
M3	III	T1	19.2	39.67574871	0.818681878	0.691063442	0.538453703	77.91668173
M3	III	T2	18.9333333	37.03135277	0.8776612	0.668807094	0.516145462	77.17404111
M3	III	T3	19.8	32.34608735	0.916777019	0.654046408	0.438321279	67.01684685
M3	III	T4	19.8666667	32.41309532	0.952633187	0.640515778	0.456860548	71.32697795
M3	III	T5	18.8666667	40.11804115	0.764795762	0.711397825	0.51237649	72.0239044
M3	IV	T1	19.3666667	38.21088694	0.826729143	0.688026738	0.511255985	74.30757498
M3	IV	T2	19.7333333	38.46950858	0.846898238	0.680415759	0.529489661	77.81854749
M3	IV	T3	20.2	31.05784642	0.963940104	0.636249017	0.434246715	68.25106256
M3	IV	T4	20.1	33.56714151	0.935825609	0.646858261	0.472853214	73.09997296
M3	IV	T5	20.0666667	32.18265409	0.886523378	0.665462876	0.420698788	63.21897176
M4	I	T1	18.2333333	35.75560376	0.905062646	0.658466926	0.50371804	76.49860917
M4	I	T2	18.4333333	32.88020391	0.965671794	0.635595549	0.473056942	74.42735281
M4	I	T3	18.9333333	38.63084396	0.82367322	0.689179917	0.518488337	75.23265315
M4	I	T4	18.5666667	38.65358894	0.840990119	0.682645238	0.529897117	77.62408462
M4	I	T5	18.3666667	32.38081137	0.930426811	0.648895543	0.445553631	68.66338291

Muestreo	Bloques	Tratamientos	Tprom (°C)	HS (%)	DA	Porot (L/L)	CVA(L/L)	WFPS (%)
M4	II	T1	18.2666667	35.78891581	0.863909545	0.673996398	0.481511663	71.44128139
M4	II	T2	18.5	35.42238166	0.935214424	0.647088897	0.512987674	79.27622883
M4	II	T3	17.9666667	33.37094499	0.962412142	0.636825607	0.482020984	75.69120634
M4	II	T4	18.0333333	31.86421338	0.973209738	0.632751042	0.455128858	71.92858293
M4	II	T5	18.4	37.69773487	0.854538046	0.677532813	0.517062239	76.31545355
M4	III	T1	18.6333333	37.21266445	0.884791688	0.666116344	0.524396455	78.72445402
M4	III	T2	19.2	38.87854643	0.836100642	0.684490324	0.531832535	77.6975973
M4	III	T3	18.4666667	36.83928298	0.839869614	0.68306807	0.489864521	71.71533001
M4	III	T4	18.7666667	34.18749118	0.949679128	0.641630518	0.493327901	76.88660171
M4	III	T5	18.5333333	43.72052814	0.729448915	0.724736258	0.566670062	78.18983189
M4	IV	T1	18.2	33.41052957	0.878679841	0.668422701	0.440867882	65.9564496
M4	IV	T2	18.8	30.23605884	1.038606499	0.608073019	0.450137517	74.02688531
M4	IV	T3	18.3333333	30.27496996	1.004787613	0.620834863	0.436283997	70.27375929
M4	IV	T4	18.7333333	36.94818328	0.920953448	0.652470397	0.539676072	82.71272914
M4	IV	T5	18.7	33.01025312	0.851889579	0.678532234	0.419782011	61.86618551
M5	I	T1	18.0333333	36.17582104	0.912600591	0.655622419	0.517265967	78.896931
M5	I	T2	18.6	36.3662334	0.907609249	0.657505944	0.518692065	78.88781383
M5	I	T3	18.8	34.33109346	0.876031374	0.669422123	0.457981053	68.4143887
M5	I	T4	18.7333333	41.97254781	0.766527452	0.710744358	0.554446369	78.00925363

Muestreo	Bloques	Tratamientos	Tprom (°C)	HS (%)	DA	Porot (L/L)	CVA(L/L)	WFPS (%)
M5	I	T5	18.4333333	36.4315844	0.875012733	0.669806516	0.50147703	74.86893868
M5	II	T1	18.4	34.74260513	0.87419782	0.67011403	0.465417134	69.45342324
M5	II	T2	18.4	37.86005127	0.839462157	0.683221827	0.511459713	74.85997845
M5	II	T3	17.9666667	37.4439786	0.881532036	0.667346401	0.527656107	79.06779832
M5	II	T4	18.5	35.25526863	0.888764388	0.664617212	0.483956402	72.817314
M5	II	T5	18.3	31.5262658	0.95467047	0.639746993	0.439543649	68.7058562
M5	III	T1	19.2666667	32.98650169	0.970968728	0.633596707	0.477946419	75.43385478
M5	III	T2	18.2333333	42.27545857	0.743709891	0.719354758	0.544667414	75.71610635
M5	III	T3	19.2666667	35.27439975	0.845777733	0.680838592	0.460935113	67.70108485
M5	III	T4	19.1333333	42.37872634	0.765916268	0.710974993	0.563308546	79.23043028
M5	III	T5	18.4	41.57402932	0.738820414	0.721199844	0.525720689	72.89528596
M5	IV	T1	18.9	33.85990439	0.972394825	0.633058556	0.497809922	78.6356833
M5	IV	T2	18.6666667	28.47448042	1.030661098	0.611071284	0.410308648	67.1457912
M5	IV	T3	19.1333333	29.90912963	1.00570439	0.620488909	0.429153509	69.16376792
M5	IV	T4	18.9333333	38.15668203	0.95691148	0.638901328	0.590404401	92.40932432
M5	IV	T5	18.8333333	31.70252732	0.814811042	0.692524135	0.378221453	54.61491281
M6	I	T1	18.2	35.79023103	0.818172558	0.691255639	0.456045635	65.97351395
M6	I	T2	19.1666667	34.05687141	1.018131812	0.615799316	0.525822553	85.38862238
M6	I	T3	18.9666667	39.44656806	0.742283793	0.719892908	0.483548946	67.16956651

Muestreo	Bloques	Tratamientos	Tprom (°C)	HS (%)	DA	Porot (L/L)	CVA(L/L)	WFPS (%)
M6	I	T4	19.2333333	39.16591115	0.82020984	0.690486853	0.528063563	76.47699027
M6	I	T5	18.2	33.31909744	0.954263013	0.63990075	0.476825914	74.51560487
M6	II	T1	18.1666667	34.25816024	0.902719772	0.65935103	0.470408475	71.34416328
M6	II	T2	18.3666667	33.52769679	0.952225731	0.640669536	0.480289294	74.96677576
M6	II	T3	18.8333333	33.0531372	0.90862789	0.657121551	0.448609555	68.26888485
M6	II	T4	18.5333333	29.15986949	1.061627789	0.59938574	0.436997046	72.90748122
M6	II	T5	18.7333333	35.88416114	0.807374962	0.695330203	0.451869206	64.98627623
M6	III	T1	18.7333333	37.97758131	0.800346338	0.697982514	0.490068249	70.21210978
M6	III	T2	18.4666667	37.07966785	0.779566059	0.705824129	0.459407151	65.08804845
M6	III	T3	18.9333333	38.66433673	0.822348986	0.689679628	0.518386472	75.16337319
M6	III	T4	20.3333333	33.13003539	0.90465519	0.658620683	0.448202098	68.05162819
M6	III	T5	18.0666667	38.08642472	0.783742488	0.704248118	0.482122848	68.45923132
M6	IV	T1	18.5	33.41752775	0.886115921	0.665616633	0.444738719	66.81604638
M6	IV	T2	18.8666667	34.7401155	0.897830294	0.661196115	0.477946419	72.28512213
M6	IV	T3	19.3333333	30.91616072	1.031577875	0.61072533	0.461648161	75.59014479
M6	IV	T4	19.0333333	31.77099237	0.910461444	0.656429644	0.423958439	64.58551096
M6	IV	T5	18.8	33.25412357	0.972802282	0.632904799	0.484669451	76.57857097
M7	I	T1	17.1	33.0261482	0.910563309	0.656391204	0.449017011	68.4069208
M7	I	T2	17.8333333	33.94875395	0.958439442	0.638324739	0.492614852	77.17307849

Muestreo	Bloques	Tratamientos	Tprom (°C)	HS (%)	DA	Porot (L/L)	CVA(L/L)	WFPS (%)
M7	I	T3	17.5666667	42.08659672	0.79841092	0.69871286	0.580217989	83.0409775
M7	I	T4	18	32.03956807	0.916777019	0.654046408	0.432209433	66.08238001
M7	I	T5	18.03333333	26.74289108	1.005093206	0.620719545	0.366914536	59.11116203
M7	II	T1	17.63333333	36.13421072	0.899663848	0.660504208	0.509014974	77.06460727
M7	II	T2	17.7	34.58146595	0.921870225	0.652124443	0.487317918	74.72774911
M7	II	T3	17.43333333	23.80061799	0.954568605	0.639785432	0.29815626	46.60253965
M7	II	T4	17.8	31.36077123	0.942854232	0.64420595	0.430783335	66.87043717
M7	II	T5	18.2	28.56573705	1.095854131	0.586470139	0.438219415	74.72152218
M7	III	T1	18.9666667	43.26395771	0.874707141	0.669921834	0.667006214	99.56478206
M7	III	T2	17.6	41.99127573	0.772129979	0.708630197	0.55892839	78.87448095
M7	III	T3	18.5666667	32.89464169	0.945298971	0.643283407	0.463379851	72.03354636
M7	III	T4	18.23333333	35.18532219	0.892431496	0.663233398	0.484465723	73.04603847
M7	III	T5	18.13333333	38.78844204	0.738005501	0.721507358	0.467658144	64.81682254
M7	IV	T1	18.3666667	34.44230027	0.865131914	0.673535127	0.454517673	67.48240075
M7	IV	T2	18.1	30.23856027	1.018742997	0.61556868	0.441580931	71.73544481
M7	IV	T3	17.7666667	34.1773138	0.860649893	0.675226455	0.446877865	66.18192479
M7	IV	T4	17.9	36.89569146	0.953346236	0.640246703	0.557400428	87.06025738
M7	IV	T5	18.2666667	30.2805403	0.95691148	0.638901328	0.415605582	65.05004196
M8	I	T1	17.6	37.39225959	0.754711215	0.715203315	0.450748701	63.02385514

Muestreo	Bloques	Tratamientos	Tprom (°C)	HS (%)	DA	Porot (L/L)	CVA(L/L)	WFPS (%)
M8	I	T2	17.0666667	38.21439605	0.814912906	0.692485696	0.504023632	72.78469946
M8	I	T3	17.5666667	31.08467809	0.843944178	0.681530499	0.380666191	55.85460842
M8	I	T4	17.6	41.7794434	0.854538046	0.677532813	0.613221962	90.50808321
M8	I	T5	17.2666667	31.13531691	0.959559947	0.637901907	0.433839258	68.01034043
M8	II	T1	17.2	33.54371201	0.868799022	0.672151312	0.438525008	65.2420072
M8	II	T2	17.6333333	34.32891129	0.902617908	0.659389469	0.471834573	71.55627971
M8	II	T3	17.1333333	34.81864497	0.873179179	0.670498423	0.466435775	69.56552896
M8	II	T4	17.1	36.6846569	0.836508098	0.684336567	0.484669451	70.82325781
M8	II	T5	17.5	41.34381139	0.760313741	0.713089154	0.5359071	75.15288892
M8	III	T1	17.4666667	37.47614504	0.800957523	0.697751878	0.480085566	68.80462537
M8	III	T2	17.1	39.29861529	0.821635938	0.689948703	0.5319344	77.09767369
M8	III	T3	18.1	38.19272591	0.839564022	0.683183388	0.518793929	75.93772594
M8	III	T4	17.8	33.29696875	0.87195681	0.670959694	0.435265356	64.87205708
M8	III	T5	17.1666667	41.7671917	0.772028114	0.708668636	0.55373332	78.13712807
M8	IV	T1	17.3	36.17869964	0.814912906	0.692485696	0.461953754	66.70950122
M8	IV	T2	17.6	29.98885173	1.087501273	0.589622161	0.46582459	79.00391484
M8	IV	T3	17.2666667	35.81366799	0.95864317	0.63824786	0.534888459	83.80575823
M8	IV	T4	17.7	31.80826401	1.018742997	0.61556868	0.475196088	77.19627452
M8	IV	T5	17.5	35.98784624	0.922787002	0.65177849	0.518793929	79.59666314

Muestreo	Bloques	Tratamientos	Tprom (°C)	HS (%)	DA	Porot (L/L)	CVA(L/L)	WFPS (%)
M9	I	T1	17.1	38.87763055	0.798818376	0.698559103	0.508098197	72.73517654
M9	I	T2	17.3	34.94071718	0.916675155	0.654084847	0.492309259	75.26688039
M9	I	T3	17.7666667	41.46341463	0.726087399	0.726004755	0.514311908	70.84139662
M9	I	T4	17.6333333	37.34573119	0.755016808	0.715087997	0.450035652	62.93430378
M9	I	T5	17.2333333	42.35182293	0.864928186	0.673612005	0.635428339	94.33150442
M9	II	T1	17.3	34.55898607	0.90465519	0.658620683	0.477742691	72.53684914
M9	II	T2	17.1333333	36.27818051	0.814811042	0.692524135	0.463889172	66.98527147
M9	II	T3	17.5333333	36.01459622	0.821635938	0.689948703	0.462463074	67.02861711
M9	II	T4	17.0333333	31.02651159	0.972598554	0.632981678	0.437506367	69.11833024
M9	II	T5	17.3	38.72413231	0.766119996	0.710898115	0.48416013	68.10541769
M9	III	T1	17.7333333	39.11372741	0.758582052	0.713742622	0.487317918	68.27642106
M9	III	T2	18.0333333	38.19530284	0.713048793	0.730924984	0.440664154	60.2885609
M9	III	T3	17.8	36.4892609	0.819293063	0.690832806	0.470714067	68.1371908
M9	III	T4	18.1	39.56549318	0.776408271	0.707015747	0.508301925	71.89400344
M9	III	T5	17.3	39.18431726	0.824793725	0.688757085	0.531425079	77.15711252
M9	IV	T1	18.0333333	37.54228563	0.865131914	0.673535127	0.520016298	77.20700489
M9	IV	T2	17.4666667	34.19712071	0.907914842	0.657390626	0.471834573	71.77385167
M9	IV	T3	17.8	29.66524474	0.990934094	0.626062606	0.417948457	66.75825272
M9	IV	T4	17.7666667	33.50333758	0.903127228	0.659197272	0.455026994	69.02743884

Muestreo	Bloques	Tratamientos	Tprom (°C)	HS (%)	DA	Porot (L/L)	CVA(L/L)	WFPS (%)
M9	IV	T5	17.5666667	41.17553991	0.757461546	0.714165454	0.53020271	74.24087884

Nota. Tprom: Temperatura del suelo, HS: Humedad del suelo, DA: Densidad aparente, Porot (Pososidad total), CVA: Capacidad volumétrica de agua, WFPS: Espacio poroso lleno de agua.

Anexo 5

Data meteorológica

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-10 00:00:00	17.4	16.5	17.7	0.0	82	82	88
2025-05-10 01:00:00	17.4	16.9	17.7	0.0	80	80	83
2025-05-10 02:00:00	16.8	16.5	17.4	0.0	82	80	84
2025-05-10 03:00:00	16.6	16.3	17.5	0.0	83	81	84
2025-05-10 04:00:00	16.1	15.8	16.6	0.0	87	84	87
2025-05-10 05:00:00	16.8	15.9	17.1	0.0	85	84	88
2025-05-10 06:00:00	16.5	16.1	17.0	0.0	86	84	88
2025-05-10 07:00:00	16.4	16.1	16.9	0.0	89	84	89
2025-05-10 08:00:00	16.3	16.2	16.9	0.4	91	87	91
2025-05-10 09:00:00	17.3	16.3	17.4	0.0	92	91	93

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-10 10:00:00	17.5	17.1	18.0	1.1	87	86	92
2025-05-10 11:00:00	17.9	17.2	18.2	0.2	88	86	90
2025-05-10 12:00:00	18.4	17.5	18.7	0.2	85	82	90
2025-05-10 13:00:00	18.3	17.6	19.3	0.4	85	80	88
2025-05-10 14:00:00	19.6	18.0	20.6	0.0	79	75	87
2025-05-10 15:00:00	19.5	18.5	20.3	0.0	77	74	83
2025-05-10 16:00:00	19.2	18.1	19.8	0.0	77	75	80
2025-05-10 17:00:00	18.4	18.3	19.6	0.0	77	74	78
2025-05-10 18:00:00	17.9	17.6	18.6	0.0	80	76	81
2025-05-10 19:00:00	17.5	17.2	17.8	0.2	82	81	83
2025-05-10 20:00:00	16.4	16.2	17.9	2.1	89	80	89
2025-05-10 21:00:00	16.5	16.2	16.9	0.0	90	88	90
2025-05-10 22:00:00	16.1	16.0	16.6	0.9	92	90	92
2025-05-10 23:00:00	16.4	16.0	16.6	0.2	92	91	93
2025-05-11 00:00:00	16.0	16.0	16.4	1.8	93	91	93
2025-05-11 01:00:00	16.0	15.9	16.2	1.9	93	93	93
2025-05-11 02:00:00	15.9	15.8	16.2	0.0	92	92	93
2025-05-11 03:00:00	16.0	15.7	16.2	0.2	92	91	92
2025-05-11 04:00:00	16.0	15.8	16.4	0.0	91	90	92

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	HRmin (%)	HRmax (%)
2025-05-11 05:00:00	16.0	15.8	16.3	0.6	92	91	92
2025-05-11 06:00:00	16.0	15.7	16.3	0.0	91	91	92
2025-05-11 07:00:00	15.9	15.7	16.3	1.1	92	90	92
2025-05-11 08:00:00	16.4	15.9	16.6	1.0	90	90	93
2025-05-11 09:00:00	16.8	16.1	17.0	1.6	89	88	93
2025-05-11 10:00:00	17.8	17.0	18.3	0.0	83	82	91
2025-05-11 11:00:00	18.2	17.5	19.7	0.0	82	79	85
2025-05-11 12:00:00	18.9	18.6	20.9	0.0	74	69	88
2025-05-11 13:00:00	19.6	18.6	20.8	0.0	73	71	78
2025-05-11 14:00:00	19.8	19.3	21.3	0.0	72	68	74
2025-05-11 15:00:00	21.2	19.5	21.6	0.0	68	65	76
2025-05-11 16:00:00	20.5	20.2	21.4	0.0	66	63	69
2025-05-11 17:00:00	19.5	19.3	20.9	0.0	74	65	75
2025-05-11 18:00:00	19.0	18.5	19.4	0.0	76	73	80
2025-05-11 19:00:00	17.5	17.3	18.8	0.2	83	77	84
2025-05-11 20:00:00	16.9	16.7	17.9	0.2	87	82	88
2025-05-11 21:00:00	17.2	16.8	17.7	0.0	83	82	87
2025-05-11 22:00:00	18.0	16.4	18.2	0.0	79	78	85
2025-05-11 23:00:00	17.2	17.0	18.0	0.0	83	79	84

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-12 00:00:00	16.4	16.3	17.6	0.2	89	81	90
2025-05-12 01:00:00	16.0	15.8	16.3	1.4	92	89	92
2025-05-12 02:00:00	15.9	15.7	16.1	3.2	93	92	93
2025-05-12 03:00:00	15.9	15.7	16.0	0.4	93	93	94
2025-05-12 04:00:00	16.0	15.8	16.2	0.0	93	93	94
2025-05-12 05:00:00	15.8	15.7	16.2	0.6	93	92	93
2025-05-12 06:00:00	15.6	15.6	16.1	0.0	93	92	93
2025-05-12 07:00:00	16.0	15.6	16.1	0.0	92	92	93
2025-05-12 08:00:00	17.3	16.0	17.7	0.0	91	90	92
2025-05-12 09:00:00	19.4	17.7	19.8	0.0	80	74	90
2025-05-12 10:00:00	20.8	19.4	21.5	0.0	68	65	80
2025-05-12 11:00:00	21.2	20.2	21.9	0.0	68	63	74
2025-05-12 12:00:00	22.1	20.7	22.8	0.0	64	60	72
2025-05-12 13:00:00	21.2	20.3	22.4	0.0	69	62	73
2025-05-12 14:00:00	19.6	19.1	21.6	0.2	74	66	77
2025-05-12 15:00:00	19.3	18.0	19.4	0.9	79	76	86
2025-05-12 16:00:00	19.5	19.4	20.2	0.0	77	74	82
2025-05-12 17:00:00	18.4	18.3	19.5	0.0	81	75	83
2025-05-12 18:00:00	17.7	17.4	18.4	0.0	85	81	86

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-12 19:00:00	16.9	16.7	17.7	0.2	87	84	88
2025-05-12 20:00:00	17.1	16.6	17.3	0.0	85	85	88
2025-05-12 21:00:00	16.8	16.6	17.3	0.4	86	84	88
2025-05-12 22:00:00	17.0	16.5	17.1	0.2	86	85	88
2025-05-12 23:00:00	16.6	16.5	17.3	0.0	87	84	87
2025-05-13 00:00:00	16.8	16.4	17.0	0.0	86	86	88
2025-05-13 01:00:00	16.1	16.0	17.1	0.0	89	85	89
2025-05-13 02:00:00	16.7	15.9	16.8	0.0	85	84	89
2025-05-13 03:00:00	16.8	16.6	17.0	0.0	84	83	85
2025-05-13 04:00:00	16.3	16.2	16.8	0.0	85	84	86
2025-05-13 05:00:00	16.3	16.0	16.8	0.0	84	83	86
2025-05-13 06:00:00	16.2	15.5	16.3	0.0	86	85	87
2025-05-13 07:00:00	16.7	16.2	16.8	0.0	84	84	86
2025-05-13 08:00:00	19.0	16.7	19.6	0.0	76	74	84
2025-05-13 09:00:00	20.2	18.6	20.7	0.0	72	69	78
2025-05-13 10:00:00	21.3	19.3	21.8	0.0	66	63	74
2025-05-13 11:00:00	20.6	20.2	23.1	0.0	65	59	74
2025-05-13 12:00:00	22.4	19.9	23.8	0.0	69	58	77
2025-05-13 13:00:00	21.7	20.4	22.6	0.0	64	55	71

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-13 14:00:00	22.3	21.7	24.6	0.0	59	52	70
2025-05-13 15:00:00	23.3	21.3	24.0	0.0	56	52	66
2025-05-13 16:00:00	22.2	21.8	24.2	0.0	60	50	64
2025-05-13 17:00:00	20.4	20.0	21.8	0.0	70	60	73
2025-05-13 18:00:00	18.3	18.1	20.5	0.0	79	67	80
2025-05-13 19:00:00	18.1	17.5	18.5	0.0	76	75	81
2025-05-13 20:00:00	18.1	17.7	18.4	0.0	77	75	78
2025-05-13 21:00:00	17.1	16.9	18.1	0.0	81	78	82
2025-05-13 22:00:00	16.8	16.4	17.1	0.0	84	81	85
2025-05-13 23:00:00	18.1	16.8	18.2	0.0	79	78	85
2025-05-14 00:00:00	16.7	16.6	18.2	0.2	85	78	86
2025-05-14 01:00:00	16.7	16.6	16.9	0.0	89	86	90
2025-05-14 02:00:00	17.0	16.8	17.5	0.0	84	79	87
2025-05-14 03:00:00	16.5	16.4	17.3	0.0	85	81	86
2025-05-14 04:00:00	15.9	15.8	16.9	0.0	87	83	87
2025-05-14 05:00:00	16.5	15.7	16.5	0.0	86	85	88
2025-05-14 06:00:00	16.0	15.6	16.4	0.0	89	86	89
2025-05-14 07:00:00	15.7	15.4	16.1	0.0	91	89	91
2025-05-14 08:00:00	17.4	16.0	18.1	0.0	86	83	91

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-14 09:00:00	20.2	17.7	21.1	0.0	73	70	86
2025-05-14 10:00:00	20.5	18.9	22.4	0.0	76	72	83
2025-05-14 11:00:00	22.1	19.8	23.4	0.0	69	66	77
2025-05-14 12:00:00	22.5	21.5	24.4	0.0	63	58	76
2025-05-14 13:00:00	24.2	22.2	24.8	0.0	58	54	67
2025-05-14 14:00:00	23.0	21.7	24.9	0.0	59	47	71
2025-05-14 15:00:00	23.6	22.3	24.4	0.0	56	50	63
2025-05-14 16:00:00	22.8	22.3	24.4	0.0	56	51	58
2025-05-14 17:00:00	21.3	21.1	23.5	0.0	64	54	66
2025-05-14 18:00:00	20.0	19.9	21.1	0.0	71	64	71
2025-05-14 19:00:00	19.4	19.3	19.9	0.0	73	71	74
2025-05-14 20:00:00	18.9	18.8	19.5	0.0	73	71	73
2025-05-14 21:00:00	18.5	18.0	19.2	0.0	73	69	75
2025-05-14 22:00:00	18.6	18.2	18.9	0.0	75	73	77
2025-05-14 23:00:00	18.4	18.2	19.0	0.0	78	74	80
2025-05-15 00:00:00	18.2	18.1	18.8	0.0	78	75	79
2025-05-15 01:00:00	17.3	17.1	18.3	0.0	83	77	84
2025-05-15 02:00:00	17.2	16.8	17.3	0.0	85	84	87
2025-05-15 03:00:00	17.1	16.9	17.6	0.0	82	82	85

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-15 04:00:00	16.3	16.1	17.0	0.0	86	82	86
2025-05-15 05:00:00	16.2	16.1	16.7	0.0	87	85	88
2025-05-15 06:00:00	15.7	15.6	16.6	0.0	89	84	89
2025-05-15 07:00:00	16.1	15.6	16.3	0.0	88	87	89
2025-05-15 08:00:00	17.9	15.8	18.3	0.0	83	82	90
2025-05-15 09:00:00	19.5	17.4	20.3	0.0	77	75	86
2025-05-15 10:00:00	19.6	19.0	22.0	0.0	78	71	81
2025-05-15 11:00:00	21.6	19.4	22.8	0.0	72	69	82
2025-05-15 12:00:00	21.6	20.5	23.0	0.0	70	63	76
2025-05-15 13:00:00	21.6	20.8	24.0	0.0	62	56	72
2025-05-15 14:00:00	22.9	20.8	23.7	0.0	58	55	67
2025-05-15 15:00:00	23.0	22.3	24.2	0.0	60	53	64
2025-05-15 16:00:00	22.6	21.6	23.8	0.0	62	57	65
2025-05-15 17:00:00	20.7	20.6	23.0	0.0	69	57	70
2025-05-15 18:00:00	19.6	19.5	20.6	0.0	73	70	73
2025-05-15 19:00:00	19.2	19.2	19.7	0.0	72	71	74
2025-05-15 20:00:00	18.9	18.8	19.3	0.0	73	69	74
2025-05-15 21:00:00	18.9	18.6	19.0	0.0	71	71	74
2025-05-15 22:00:00	19.0	18.9	19.1	0.0	73	71	74

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-15 23:00:00	18.5	18.3	18.9	0.0	76	73	77
2025-05-16 00:00:00	17.4	16.9	18.4	0.0	84	76	85
2025-05-16 01:00:00	16.5	16.3	17.2	0.8	85	83	86
2025-05-16 02:00:00	16.2	16.0	16.4	2.5	87	86	88
2025-05-16 03:00:00	16.1	15.8	16.3	1.7	87	87	89
2025-05-16 04:00:00	15.5	15.5	16.1	1.0	90	87	90
2025-05-16 05:00:00	15.8	15.4	16.0	0.0	91	90	92
2025-05-16 06:00:00	16.4	15.7	16.5	0.0	84	84	90
2025-05-16 07:00:00	16.4	16.0	16.7	0.0	84	82	87
2025-05-16 08:00:00	17.7	16.4	18.8	0.0	81	79	85
2025-05-16 09:00:00	20.1	17.4	20.4	0.0	78	71	84
2025-05-16 10:00:00	18.6	18.0	21.9	0.0	84	69	85
2025-05-16 11:00:00	19.2	18.3	21.9	0.0	82	72	84
2025-05-16 12:00:00	20.1	18.7	20.8	0.0	81	77	86
2025-05-16 13:00:00	19.7	19.3	21.9	0.0	82	73	84
2025-05-16 14:00:00	20.8	19.3	21.2	0.0	81	75	83
2025-05-16 15:00:00	20.1	19.9	21.3	0.0	80	75	84
2025-05-16 16:00:00	21.6	19.7	22.7	0.0	69	65	82
2025-05-16 17:00:00	20.1	19.8	22.4	0.0	71	66	74

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-16 18:00:00	18.9	18.8	19.9	0.0	74	70	77
2025-05-16 19:00:00	18.8	18.6	19.0	0.0	71	70	73
2025-05-16 20:00:00	18.8	18.4	19.1	0.0	69	68	73
2025-05-16 21:00:00	17.6	17.3	18.8	0.0	78	69	80
2025-05-16 22:00:00	18.3	17.1	18.4	0.0	73	72	80
2025-05-16 23:00:00	16.8	16.7	18.6	0.0	82	71	82
2025-05-17 00:00:00	17.0	16.6	17.7	0.0	80	76	83
2025-05-17 01:00:00	16.6	16.4	17.0	0.0	84	81	85
2025-05-17 02:00:00	16.5	16.4	16.6	0.0	88	84	89
2025-05-17 03:00:00	16.3	16.2	16.6	0.0	89	85	89
2025-05-17 04:00:00	16.2	16.1	16.4	0.0	91	89	91
2025-05-17 05:00:00	16.2	16.0	16.3	0.0	91	90	92
2025-05-17 06:00:00	16.0	16.0	16.3	0.0	92	91	92
2025-05-17 07:00:00	16.7	16.0	16.8	0.0	93	92	93
2025-05-17 08:00:00	17.5	16.7	17.6	0.0	90	89	93
2025-05-17 09:00:00	18.0	17.2	18.2	0.0	89	88	90
2025-05-17 10:00:00	19.5	18.1	20.0	0.0	82	81	89
2025-05-17 11:00:00	20.3	19.3	22.2	0.0	81	77	84
2025-05-17 12:00:00	20.6	18.6	22.0	0.0	81	79	86

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-17 13:00:00	22.0	19.5	23.2	0.0	77	75	84
2025-05-17 14:00:00	24.0	20.8	25.0	0.0	72	69	82
2025-05-17 15:00:00	21.2	20.7	24.3	0.0	79	68	82
2025-05-17 16:00:00	21.5	20.4	22.9	0.0	76	74	81
2025-05-17 17:00:00	20.7	20.5	22.7	0.0	77	74	78
2025-05-17 18:00:00	19.3	19.1	20.6	0.0	81	78	82
2025-05-17 19:00:00	17.6	17.5	19.2	0.0	83	81	84
2025-05-17 20:00:00	17.5	17.4	18.1	0.0	85	83	87
2025-05-17 21:00:00	17.5	17.3	17.9	0.0	86	84	87
2025-05-17 22:00:00	17.7	17.4	18.1	0.0	85	83	86
2025-05-17 23:00:00	18.1	17.1	18.4	0.0	85	84	87
2025-05-18 00:00:00	17.6	17.4	18.3	0.0	87	84	88
2025-05-18 01:00:00	17.7	17.2	17.8	0.0	87	87	88
2025-05-18 02:00:00	17.4	17.3	17.7	0.0	89	87	89
2025-05-18 03:00:00	16.8	16.7	17.3	11.9	93	89	93
2025-05-18 04:00:00	16.0	15.7	16.7	2.5	93	92	94
2025-05-18 05:00:00	15.7	15.6	16.2	0.4	93	93	94
2025-05-18 06:00:00	15.3	15.1	15.8	0.8	92	92	93
2025-05-18 07:00:00	15.7	14.9	16.2	0.0	89	87	93

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-18 08:00:00	16.4	15.5	16.5	0.0	90	88	92
2025-05-18 09:00:00	16.7	16.4	17.0	0.0	91	88	91
2025-05-18 10:00:00	18.8	17.0	19.1	0.0	85	80	91
2025-05-18 11:00:00	21.2	18.3	21.8	0.0	81	77	86
2025-05-18 12:00:00	21.7	20.1	23.9	0.0	75	72	83
2025-05-18 13:00:00	22.1	20.8	23.5	0.0	75	69	78
2025-05-18 14:00:00	22.2	21.4	24.9	0.0	77	70	80
2025-05-18 15:00:00	23.6	21.7	24.1	0.0	64	62	78
2025-05-18 16:00:00	23.7	22.5	25.1	0.0	66	62	71
2025-05-18 17:00:00	21.2	20.9	23.6	0.0	77	67	80
2025-05-18 18:00:00	19.1	19.0	21.3	0.0	85	77	86
2025-05-18 19:00:00	18.3	18.2	19.2	0.0	83	81	87
2025-05-18 20:00:00	18.2	18.0	18.9	0.0	85	78	86
2025-05-18 21:00:00	18.8	17.9	19.3	0.0	82	79	87
2025-05-18 22:00:00	18.3	18.0	19.2	0.0	83	80	85
2025-05-18 23:00:00	18.7	17.8	18.8	0.0	85	84	86
2025-05-19 00:00:00	18.3	18.2	19.0	0.0	84	83	86
2025-05-19 01:00:00	18.0	17.9	18.3	0.0	87	85	87
2025-05-19 02:00:00	17.7	17.6	18.0	0.0	88	87	88

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-19 03:00:00	17.7	17.5	18.0	0.0	90	88	90
2025-05-19 04:00:00	17.2	17.1	17.6	0.2	92	90	92
2025-05-19 05:00:00	17.1	17.0	17.4	0.2	93	92	93
2025-05-19 06:00:00	17.0	17.0	17.4	0.0	94	93	94
2025-05-19 07:00:00	16.9	16.8	17.1	5.3	94	94	94
2025-05-19 08:00:00	17.0	16.7	17.1	3.7	93	93	94
2025-05-19 09:00:00	17.4	16.9	17.7	0.0	91	88	93
2025-05-19 10:00:00	18.4	17.3	18.8	0.0	90	88	92
2025-05-19 11:00:00	18.4	18.0	19.0	0.0	87	83	90
2025-05-19 12:00:00	19.7	18.4	19.9	0.0	81	77	88
2025-05-19 13:00:00	17.3	17.0	19.7	4.4	91	82	92
2025-05-19 14:00:00	18.4	17.2	18.8	0.0	87	83	90
2025-05-19 15:00:00	19.8	18.3	20.8	0.0	82	77	87
2025-05-19 16:00:00	19.5	19.3	20.4	0.0	80	71	83
2025-05-19 17:00:00	19.5	19.1	19.8	0.0	81	74	85
2025-05-19 18:00:00	17.9	17.6	19.6	0.0	88	79	88
2025-05-19 19:00:00	17.4	16.9	17.7	0.0	86	84	91
2025-05-19 20:00:00	16.6	16.5	17.6	0.0	89	84	92
2025-05-19 21:00:00	16.2	16.0	16.6	0.0	93	90	93

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-19 22:00:00	15.7	15.7	16.7	0.0	92	89	92
2025-05-19 23:00:00	16.0	15.6	16.1	0.0	94	92	94
2025-05-20 00:00:00	15.6	15.6	16.2	0.0	93	92	94
2025-05-20 01:00:00	16.1	15.7	16.3	0.0	94	93	94
2025-05-20 02:00:00	16.4	16.2	16.5	0.0	94	94	94
2025-05-20 03:00:00	16.4	16.2	16.4	0.0	94	94	94
2025-05-20 04:00:00	16.1	16.0	16.4	0.0	93	93	94
2025-05-20 05:00:00	16.1	15.6	16.1	0.0	94	93	94
2025-05-20 06:00:00	16.1	16.0	16.3	0.0	92	92	94
2025-05-20 07:00:00	16.3	16.0	16.5	0.0	92	91	92
2025-05-20 08:00:00	17.0	16.3	17.0	0.2	93	92	93
2025-05-20 09:00:00	19.4	16.7	19.8	0.0	80	77	93
2025-05-20 10:00:00	19.4	18.5	20.2	0.0	76	75	80
2025-05-20 11:00:00	21.4	18.8	21.8	0.0	73	69	81
2025-05-20 12:00:00	20.6	19.4	21.8	0.0	77	69	80
2025-05-20 13:00:00	21.3	19.9	22.9	0.0	78	66	82
2025-05-20 14:00:00	21.5	19.8	22.5	0.0	74	71	80
2025-05-20 15:00:00	20.9	20.1	23.4	0.0	79	65	83
2025-05-20 16:00:00	20.3	20.1	21.3	0.0	78	75	84

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-20 17:00:00	19.8	19.6	20.3	0.0	76	71	79
2025-05-20 18:00:00	18.8	18.7	19.7	0.0	82	76	83
2025-05-20 19:00:00	17.9	17.7	18.8	0.0	84	79	85
2025-05-20 20:00:00	18.5	17.5	18.8	0.0	78	76	85
2025-05-20 21:00:00	18.4	17.8	18.7	0.0	79	77	83
2025-05-20 22:00:00	18.2	17.5	18.4	0.0	81	80	86
2025-05-20 23:00:00	17.3	17.2	18.2	0.0	87	81	88
2025-05-21 00:00:00	17.7	17.3	17.9	0.0	84	83	88
2025-05-21 01:00:00	17.1	17.0	17.8	0.0	90	84	91
2025-05-21 02:00:00	17.0	16.9	17.4	0.0	86	82	91
2025-05-21 03:00:00	17.1	16.9	17.5	0.0	82	80	87
2025-05-21 04:00:00	17.1	16.5	17.3	0.0	83	80	86
2025-05-21 05:00:00	16.8	16.7	17.4	0.0	84	80	86
2025-05-21 06:00:00	16.1	15.9	16.7	0.5	89	85	90
2025-05-21 07:00:00	16.2	15.6	16.3	0.5	91	90	92
2025-05-21 08:00:00	17.7	16.1	17.8	0.0	86	85	92
2025-05-21 09:00:00	17.7	16.9	17.9	0.0	90	86	91
2025-05-21 10:00:00	18.7	17.4	19.3	0.0	81	78	90
2025-05-21 11:00:00	21.0	18.4	22.0	0.0	70	67	87

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-21 12:00:00	21.4	20.4	22.9	0.0	71	65	80
2025-05-21 13:00:00	20.1	19.4	21.3	0.0	80	69	83
2025-05-21 14:00:00	20.3	19.4	20.9	0.0	86	74	87
2025-05-21 15:00:00	20.2	20.0	21.4	0.0	74	68	86
2025-05-21 16:00:00	18.8	18.6	20.5	0.0	87	73	88
2025-05-21 17:00:00	18.0	17.7	18.8	1.6	90	87	91
2025-05-21 18:00:00	17.2	16.9	18.1	0.0	87	86	91
2025-05-21 19:00:00	16.9	16.6	17.5	0.0	87	85	88
2025-05-21 20:00:00	17.2	16.6	17.4	0.0	87	86	88
2025-05-21 21:00:00	17.1	16.5	17.5	0.0	87	85	88
2025-05-21 22:00:00	17.0	16.6	17.2	0.0	87	85	89
2025-05-21 23:00:00	16.8	16.4	17.0	0.0	86	85	88
2025-05-22 00:00:00	16.9	16.6	17.2	0.0	87	84	88
2025-05-22 01:00:00	17.1	16.7	17.2	0.0	84	84	86
2025-05-22 02:00:00	17.1	16.8	17.2	0.0	81	81	85
2025-05-22 03:00:00	17.6	17.2	17.8	0.0	79	78	81
2025-05-22 04:00:00	15.9	15.8	17.5	0.0	89	79	90
2025-05-22 05:00:00	16.0	15.9	16.4	1.1	88	87	90
2025-05-22 06:00:00	15.4	15.2	16.2	4.9	91	87	91

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-22 07:00:00	15.5	15.1	15.7	4.3	92	91	92
2025-05-22 08:00:00	17.5	15.6	17.7	0.0	85	83	92
2025-05-22 09:00:00	18.8	17.5	19.8	0.0	81	78	86
2025-05-22 10:00:00	19.3	18.7	19.8	0.0	78	74	84
2025-05-22 11:00:00	18.8	17.8	19.4	0.2	84	77	87
2025-05-22 12:00:00	19.4	18.5	20.0	0.2	82	78	88
2025-05-22 13:00:00	20.5	18.8	21.4	0.0	79	76	88
2025-05-22 14:00:00	20.8	19.9	22.1	0.0	72	68	80
2025-05-22 15:00:00	20.4	20.1	21.2	0.0	75	70	80
2025-05-22 16:00:00	19.9	19.6	20.3	0.0	83	71	84
2025-05-22 17:00:00	19.1	19.0	20.3	0.0	80	77	85
2025-05-22 18:00:00	17.7	17.6	19.2	0.0	83	80	84
2025-05-22 19:00:00	17.5	17.3	17.6	0.0	83	82	85
2025-05-22 20:00:00	17.4	17.2	17.6	0.0	82	82	83
2025-05-22 21:00:00	17.6	17.1	17.7	0.0	80	79	82
2025-05-22 22:00:00	16.8	16.6	17.6	0.0	82	79	83
2025-05-22 23:00:00	17.2	16.6	17.4	0.0	83	81	84
2025-05-23 00:00:00	18.0	17.2	18.3	0.0	79	76	84
2025-05-23 01:00:00	16.2	16.1	17.9	3.5	90	78	91

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-23 02:00:00	16.2	15.7	16.3	2.1	91	90	92
2025-05-23 03:00:00	16.0	15.8	16.5	0.0	91	89	92
2025-05-23 04:00:00	15.7	15.6	16.1	0.0	92	90	92
2025-05-23 05:00:00	15.6	15.4	15.9	1.5	92	92	93
2025-05-23 06:00:00	15.9	15.6	16.2	0.6	89	89	92
2025-05-23 07:00:00	15.7	15.5	16.1	0.2	92	89	92
2025-05-23 08:00:00	16.9	15.7	17.2	0.0	91	90	93
2025-05-23 09:00:00	18.4	16.7	18.8	0.0	86	84	91
2025-05-23 10:00:00	19.9	18.1	20.3	0.0	79	72	88
2025-05-23 11:00:00	20.0	18.3	22.0	0.0	82	73	86
2025-05-23 12:00:00	21.3	18.7	22.1	0.0	81	73	85
2025-05-23 13:00:00	22.5	20.5	23.0	0.0	64	61	81
2025-05-23 14:00:00	22.0	21.5	22.9	0.0	61	58	71
2025-05-23 15:00:00	22.1	21.0	23.6	0.0	66	59	73
2025-05-23 16:00:00	19.8	19.5	23.0	0.0	75	67	78
2025-05-23 17:00:00	18.3	18.2	19.6	0.2	84	76	85
2025-05-23 18:00:00	17.9	17.7	18.3	0.0	85	83	86
2025-05-23 19:00:00	17.4	17.2	17.7	0.0	86	85	88
2025-05-23 20:00:00	17.1	16.9	17.6	0.2	85	84	87

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-23 21:00:00	17.5	16.9	17.6	0.0	83	82	86
2025-05-23 22:00:00	17.4	17.2	17.6	0.0	83	82	84
2025-05-23 23:00:00	17.1	16.9	17.5	0.0	85	82	85
2025-05-24 00:00:00	17.4	17.0	17.6	0.0	82	82	85
2025-05-24 01:00:00	17.4	16.9	17.6	0.0	83	81	84
2025-05-24 02:00:00	17.0	17.0	17.4	0.0	84	82	84
2025-05-24 03:00:00	16.6	16.4	17.1	0.0	86	84	87
2025-05-24 04:00:00	16.3	16.1	17.0	0.0	87	85	87
2025-05-24 05:00:00	15.5	15.4	16.2	0.0	90	87	91
2025-05-24 06:00:00	16.5	15.5	16.6	0.0	87	87	91
2025-05-24 07:00:00	16.4	16.3	16.5	0.0	89	87	90
2025-05-24 08:00:00	17.1	16.4	17.4	0.0	86	85	90
2025-05-24 09:00:00	18.6	17.4	19.0	0.0	82	79	88
2025-05-24 10:00:00	18.6	17.8	19.5	0.0	87	80	88
2025-05-24 11:00:00	21.4	18.3	22.0	0.0	78	73	90
2025-05-24 12:00:00	20.2	19.2	22.7	0.0	75	70	83
2025-05-24 13:00:00	22.7	20.4	23.4	0.0	65	58	79
2025-05-24 14:00:00	23.3	21.8	24.4	0.0	61	59	77
2025-05-24 15:00:00	21.1	20.6	23.3	0.0	66	59	76

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-24 16:00:00	22.6	21.5	23.3	0.0	63	58	70
2025-05-24 17:00:00	20.8	20.5	22.8	0.0	76	62	80
2025-05-24 18:00:00	19.0	18.9	21.0	0.0	86	71	86
2025-05-24 19:00:00	18.3	17.9	18.9	0.0	81	79	86
2025-05-24 20:00:00	17.3	17.1	18.2	0.0	86	82	87
2025-05-24 21:00:00	17.2	17.0	17.6	0.0	84	83	87
2025-05-24 22:00:00	16.4	16.3	17.7	0.0	88	83	90
2025-05-24 23:00:00	16.7	16.3	17.0	0.0	89	89	90
2025-05-25 00:00:00	17.1	16.7	17.7	0.0	87	84	89
2025-05-25 01:00:00	17.7	17.0	18.1	0.0	83	80	87
2025-05-25 02:00:00	17.5	17.4	18.2	0.0	83	79	84
2025-05-25 03:00:00	17.4	17.3	18.1	0.0	84	80	85
2025-05-25 04:00:00	17.2	16.9	17.4	0.0	85	84	88
2025-05-25 05:00:00	16.4	16.3	17.2	0.4	91	85	91
2025-05-25 06:00:00	15.9	15.8	16.4	0.0	89	89	92
2025-05-25 07:00:00	16.4	15.4	16.6	0.0	93	89	93
2025-05-25 08:00:00	17.6	16.5	18.2	0.0	91	89	93
2025-05-25 09:00:00	18.7	17.3	19.0	0.0	89	87	91
2025-05-25 10:00:00	18.6	18.4	20.1	0.0	83	81	89

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-25 11:00:00	20.7	18.7	21.2	0.0	74	71	87
2025-05-25 12:00:00	20.9	20.1	24.0	0.0	75	67	82
2025-05-25 13:00:00	22.8	20.5	24.0	0.0	65	59	78
2025-05-25 14:00:00	22.4	21.8	24.4	0.0	67	58	78
2025-05-25 15:00:00	22.3	20.7	23.6	0.0	69	64	79
2025-05-25 16:00:00	21.1	20.9	23.7	0.0	67	62	69
2025-05-25 17:00:00	19.4	19.2	22.6	0.0	80	66	80
2025-05-25 18:00:00	19.1	19.0	19.4	0.0	78	78	80
2025-05-25 19:00:00	18.4	18.4	19.1	0.0	80	77	81
2025-05-25 20:00:00	18.4	18.4	18.6	0.0	77	77	80
2025-05-25 21:00:00	18.0	17.9	18.6	0.0	80	76	81
2025-05-25 22:00:00	18.4	18.1	18.6	0.0	77	76	79
2025-05-25 23:00:00	18.2	18.2	18.4	0.0	78	77	79
2025-05-26 00:00:00	18.2	18.0	18.3	0.0	77	76	80
2025-05-26 01:00:00	17.9	17.8	18.3	0.0	79	76	80
2025-05-26 02:00:00	17.7	17.5	18.1	0.0	81	76	81
2025-05-26 03:00:00	17.8	17.6	18.0	0.0	76	76	81
2025-05-26 04:00:00	17.4	17.1	17.9	0.0	80	75	82
2025-05-26 05:00:00	17.0	16.8	17.5	0.0	80	78	83

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-26 06:00:00	16.3	16.3	17.1	0.0	88	81	88
2025-05-26 07:00:00	17.2	16.3	17.4	0.0	85	84	88
2025-05-26 08:00:00	18.5	17.3	18.9	0.0	85	82	86
2025-05-26 09:00:00	18.7	17.7	18.9	0.0	87	84	88
2025-05-26 10:00:00	19.1	18.5	19.4	0.0	84	79	88
2025-05-26 11:00:00	20.5	18.9	21.7	0.0	80	78	84
2025-05-26 12:00:00	21.5	20.1	22.5	0.0	78	75	86
2025-05-26 13:00:00	21.5	19.3	22.2	0.0	82	74	85
2025-05-26 14:00:00	21.7	20.3	22.4	0.0	72	66	84
2025-05-26 15:00:00	19.8	19.4	22.3	0.0	85	68	86
2025-05-26 16:00:00	20.0	19.1	20.2	0.0	76	73	87
2025-05-26 17:00:00	19.6	19.5	20.4	0.0	75	69	84
2025-05-26 18:00:00	18.4	18.3	19.8	0.0	80	77	84
2025-05-26 19:00:00	17.6	17.4	18.7	0.0	80	76	81
2025-05-26 20:00:00	17.3	16.8	17.5	0.0	83	80	84
2025-05-26 21:00:00	16.9	16.5	17.4	0.0	84	83	87
2025-05-26 22:00:00	17.2	16.4	17.4	0.0	86	83	89
2025-05-26 23:00:00	16.6	16.4	17.3	0.0	89	86	89
2025-05-27 00:00:00	17.0	16.7	17.0	0.0	89	89	91

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-27 01:00:00	17.2	16.9	17.3	0.0	88	87	89
2025-05-27 02:00:00	17.2	17.2	17.4	0.0	89	86	89
2025-05-27 03:00:00	16.4	16.3	17.2	0.0	90	89	91
2025-05-27 04:00:00	16.0	15.9	16.6	0.0	91	91	92
2025-05-27 05:00:00	16.3	15.8	16.4	0.0	92	91	93
2025-05-27 06:00:00	16.2	16.2	16.3	0.0	93	92	93
2025-05-27 07:00:00	16.3	16.2	16.4	0.0	93	92	93
2025-05-27 08:00:00	16.7	16.3	16.9	0.0	91	91	93
2025-05-27 09:00:00	17.0	16.1	17.2	0.2	92	91	93
2025-05-27 10:00:00	17.6	16.8	18.0	0.4	91	88	92
2025-05-27 11:00:00	19.4	16.9	19.7	0.0	79	77	92
2025-05-27 12:00:00	20.8	19.0	21.4	0.0	76	70	84
2025-05-27 13:00:00	21.4	20.3	22.7	0.0	73	67	81
2025-05-27 14:00:00	21.2	20.2	22.1	0.0	76	73	81
2025-05-27 15:00:00	21.6	20.8	23.2	0.0	65	61	82
2025-05-27 16:00:00	20.7	20.2	21.9	0.0	74	66	77
2025-05-27 17:00:00	20.2	19.8	22.1	0.0	75	67	78
2025-05-27 18:00:00	18.8	18.6	20.6	0.0	80	76	82
2025-05-27 19:00:00	18.3	18.0	18.9	0.0	82	78	83

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-27 20:00:00	18.3	18.0	18.5	0.0	83	81	84
2025-05-27 21:00:00	18.2	17.8	18.7	0.0	80	79	83
2025-05-27 22:00:00	18.5	18.1	18.7	0.0	78	77	80
2025-05-27 23:00:00	18.6	18.3	18.8	0.0	76	75	79
2025-05-28 00:00:00	16.9	16.8	18.7	0.0	83	75	84
2025-05-28 01:00:00	16.3	16.2	17.7	0.0	87	81	87
2025-05-28 02:00:00	16.5	16.0	16.8	0.0	86	85	88
2025-05-28 03:00:00	16.5	16.4	17.1	0.0	85	85	86
2025-05-28 04:00:00	16.9	16.4	17.1	0.0	84	84	86
2025-05-28 05:00:00	16.7	16.7	17.3	0.0	86	83	87
2025-05-28 06:00:00	16.8	16.7	16.9	0.0	88	86	89
2025-05-28 07:00:00	16.7	16.6	16.9	0.0	89	86	90
2025-05-28 08:00:00	17.8	16.8	18.0	0.0	85	84	89
2025-05-28 09:00:00	18.3	17.4	18.5	0.0	86	83	89
2025-05-28 10:00:00	18.9	18.2	19.5	0.0	85	83	88
2025-05-28 11:00:00	19.7	18.2	20.2	0.0	84	81	89
2025-05-28 12:00:00		19.9	22.0	0.0		71	82
2025-05-28 13:00:00	20.4	19.7	21.2	0.0	80	73	81
2025-05-28 14:00:00	20.7	20.2	22.6	0.0	78	74	82

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-28 15:00:00	20.5	20.2	21.5	0.0	74	72	80
2025-05-28 16:00:00	19.7	19.6	20.4	0.0	73	70	77
2025-05-28 17:00:00	19.3	19.1	20.0	0.0	77	73	78
2025-05-28 18:00:00	18.4	18.3	19.2	0.0	81	78	82
2025-05-28 19:00:00	18.3	18.0	18.5	0.0	80	79	82
2025-05-28 20:00:00	18.1	17.9	18.5	0.0	80	79	81
2025-05-28 21:00:00	17.9	17.6	18.2	0.0	80	79	83
2025-05-28 22:00:00	18.0	17.7	18.3	0.0	77	76	81
2025-05-28 23:00:00	17.8	17.4	18.2	0.0	78	77	80
2025-05-29 00:00:00	17.5	16.9	17.8	0.0	81	79	83
2025-05-29 01:00:00	16.9	16.8	17.4	0.0	85	81	86
2025-05-29 02:00:00	16.8	16.7	17.4	0.0	84	83	85
2025-05-29 03:00:00	16.5	16.2	17.0	0.0	85	83	86
2025-05-29 04:00:00	16.0	15.8	16.6	0.0	87	85	88
2025-05-29 05:00:00	16.0	15.7	16.2	0.0	91	87	91
2025-05-29 06:00:00	16.4	16.0	16.4	0.0	91	90	91
2025-05-29 07:00:00	16.5	16.2	16.6	0.0	90	89	91
2025-05-29 08:00:00	17.8	16.6	18.0	0.0	87	85	91
2025-05-29 09:00:00	18.5	17.6	19.0	0.0	85	80	89

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-29 10:00:00	19.2	18.3	20.6	0.0	83	80	86
2025-05-29 11:00:00	18.6	18.1	19.2	0.0	83	81	86
2025-05-29 12:00:00	17.7	17.3	18.6	1.0	84	82	86
2025-05-29 13:00:00	18.6	17.4	18.8	1.3	86	83	90
2025-05-29 14:00:00	18.1	17.8	18.9	1.3	86	83	89
2025-05-29 15:00:00	17.9	17.2	18.1	1.6	86	84	90
2025-05-29 16:00:00	17.9	17.5	18.1	0.2	84	82	87
2025-05-29 17:00:00	18.0	17.9	18.4	0.0	81	80	85
2025-05-29 18:00:00	17.6	17.4	18.1	0.0	82	80	84
2025-05-29 19:00:00	17.0	16.7	17.6	0.0	84	82	85
2025-05-29 20:00:00	17.0	16.3	17.0	0.0	87	84	90
2025-05-29 21:00:00	16.6	16.5	17.1	0.0	90	86	91
2025-05-29 22:00:00	16.3	16.2	16.8	0.6	91	90	92
2025-05-29 23:00:00	15.9	15.8	16.3	3.9	91	91	92
2025-05-30 00:00:00	15.8	15.8	16.2	2.8	91	90	92
2025-05-30 01:00:00	15.6	15.5	15.8	2.8	92	91	93
2025-05-30 02:00:00	15.6	15.4	15.9	1.2	90	90	93
2025-05-30 03:00:00	15.1	15.0	15.6	0.0	92	90	93
2025-05-30 04:00:00	15.2	15.0	15.2	0.0	93	93	93

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	HRmin (%)	HRmax (%)
2025-05-30 05:00:00	15.0	15.0	15.2	0.4	93	93	94
2025-05-30 06:00:00	15.0	14.9	15.1	0.2	94	93	94
2025-05-30 07:00:00	15.1	14.9	15.2	0.0	94	94	94
2025-05-30 08:00:00	16.2	15.1	16.4	0.0	93	92	94
2025-05-30 09:00:00	17.5	16.3	18.0	0.0	87	84	93
2025-05-30 10:00:00	18.0	17.3	18.6	0.0	85	82	87
2025-05-30 11:00:00	20.0	18.2	20.7	0.0	83	76	88
2025-05-30 12:00:00	20.7	19.4	22.2	0.0	71	66	86
2025-05-30 13:00:00	21.8	20.8	23.9	0.0	66	59	75
2025-05-30 14:00:00	22.3	19.8	22.8	0.0	69	63	81
2025-05-30 15:00:00	22.6	20.3	23.1	0.0	68	61	78
2025-05-30 16:00:00	20.8	20.0	22.9	0.0	72	63	76
2025-05-30 17:00:00	19.9	19.8	21.4	0.0	78	69	82
2025-05-30 18:00:00	17.7	17.6	19.9	1.3	85	74	88
2025-05-30 19:00:00	17.3	16.9	17.7	1.1	91	86	92
2025-05-30 20:00:00	17.3	16.8	17.7	0.0	89	88	91
2025-05-30 21:00:00	16.9	16.7	17.5	0.0	91	88	91
2025-05-30 22:00:00	17.0	16.7	17.3	0.0	89	87	90
2025-05-30 23:00:00	16.9	16.7	17.3	0.2	90	87	90

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-31 00:00:00	16.8	16.7	17.2	0.0	90	88	90
2025-05-31 01:00:00	16.9	16.8	17.2	0.0	87	87	90
2025-05-31 02:00:00	16.5	16.2	17.0	0.6	90	87	90
2025-05-31 03:00:00	16.3	16.1	16.7	0.0	88	88	89
2025-05-31 04:00:00	16.6	16.3	16.7	0.0	86	86	88
2025-05-31 05:00:00	16.9	16.3	17.0	0.0	84	83	87
2025-05-31 06:00:00	16.5	16.3	17.1	0.0	86	82	87
2025-05-31 07:00:00	16.1	15.9	16.6	0.0	90	85	90
2025-05-31 08:00:00	17.4	16.1	17.6	0.0	86	85	91
2025-05-31 09:00:00	19.7	17.5	20.2	0.0	83	79	87
2025-05-31 10:00:00	22.0	19.5	22.7	0.0	77	73	84
2025-05-31 11:00:00	21.4	19.3	22.9	0.0	76	71	82
2025-05-31 12:00:00	21.2	19.3	21.8	0.0	82	73	85
2025-05-31 13:00:00	23.3	20.5	24.3	0.0	71	60	83
2025-05-31 14:00:00	22.7	21.7	24.6	0.0	72	56	76
2025-05-31 15:00:00	21.6	20.2	23.2	0.0	76	66	84
2025-05-31 16:00:00	22.8	21.3	23.7	0.0	67	57	73
2025-05-31 17:00:00	20.9	20.6	23.3	0.0	71	57	75
2025-05-31 18:00:00	19.4	19.2	21.0	0.0	77	69	80

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-05-31 19:00:00	18.8	18.6	19.3	0.0	78	77	79
2025-05-31 20:00:00	18.3	18.0	18.8	0.0	77	75	80
2025-05-31 21:00:00	18.1	17.9	18.4	0.0	80	77	81
2025-05-31 22:00:00	17.5	17.1	18.2	0.0	75	73	80
2025-05-31 23:00:00	17.5	16.9	17.7	0.0	78	75	80
2025-06-01 00:00:00	17.4	17.2	17.8	0.0	81	78	84
2025-06-01 01:00:00	16.7	16.3	17.6	0.0	86	80	87
2025-06-01 02:00:00	15.5	15.4	17.0	0.0	89	85	89
2025-06-01 03:00:00	15.8	15.2	16.1	0.0	90	89	90
2025-06-01 04:00:00	15.9	15.7	16.5	0.0	86	85	90
2025-06-01 05:00:00	15.9	15.6	16.1	0.0	89	86	90
2025-06-01 06:00:00	16.0	15.2	16.6	0.0	85	82	89
2025-06-01 07:00:00	16.0	15.6	16.2	0.0	87	83	89
2025-06-01 08:00:00	16.8	16.0	16.9	0.0	85	83	89
2025-06-01 09:00:00	18.0	16.6	18.2	0.0	84	80	88
2025-06-01 10:00:00	19.0	17.7	19.3	0.0	81	79	86
2025-06-01 11:00:00	22.1	18.8	23.1	0.0	70	64	84
2025-06-01 12:00:00	23.5	20.7	24.5	0.0	72	63	76
2025-06-01 13:00:00	21.5	20.3	24.0	0.0	72	65	77

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-06-01 14:00:00	22.3	20.4	23.1	0.0	65	62	77
2025-06-01 15:00:00	22.5	20.7	23.4	0.0	64	62	70
2025-06-01 16:00:00	21.0	20.2	22.7	0.0	63	61	67
2025-06-01 17:00:00	19.2	18.7	21.0	0.0	69	64	73
2025-06-01 18:00:00	18.0	17.5	19.2	0.0	74	69	77
2025-06-01 19:00:00	17.6	17.3	18.1	0.0	76	74	77
2025-06-01 20:00:00	17.0	16.6	18.1	0.0	77	73	78
2025-06-01 21:00:00	17.2	16.9	17.4	0.0	75	75	77
2025-06-01 22:00:00	16.1	15.5	17.3	0.0	80	75	81
2025-06-01 23:00:00	16.7	15.8	16.9	0.0	77	77	80
2025-06-02 00:00:00	16.0	15.9	16.7	0.0	81	77	82
2025-06-02 01:00:00	15.6	15.2	16.1	0.0	84	82	84
2025-06-02 02:00:00	15.6	15.2	15.9	0.0	84	83	85
2025-06-02 03:00:00	15.0	14.2	15.5	0.0	84	82	86
2025-06-02 04:00:00	15.8	14.9	15.9	0.0	79	78	83
2025-06-02 05:00:00	15.1	15.1	16.0	0.0	83	77	84
2025-06-02 06:00:00	14.8	14.0	15.2	0.0	83	81	86
2025-06-02 07:00:00	13.8	13.5	14.2	0.0	89	84	89
2025-06-02 08:00:00	17.7	13.8	18.6	0.0	79	77	89

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-06-02 09:00:00	18.7	17.8	19.7	0.0	74	72	79
2025-06-02 10:00:00	19.9	17.8	21.0	0.0	72	70	81
2025-06-02 11:00:00	21.0	19.3	22.3	0.0	67	61	77
2025-06-02 12:00:00	22.3	20.1	23.1	0.0	69	63	75
2025-06-02 13:00:00	21.5	20.7	23.4	0.0	64	52	71
2025-06-02 14:00:00	23.1	20.5	24.3	0.0	64	52	73
2025-06-02 15:00:00	21.7	21.1	24.3	0.0	59	55	69
2025-06-02 16:00:00	22.3	20.7	23.0	0.0	54	52	64
2025-06-02 17:00:00	20.1	19.6	22.7	0.0	63	55	67
2025-06-02 18:00:00	18.7	18.3	20.1	0.0	67	64	70
2025-06-02 19:00:00	18.6	18.1	18.8	0.0	69	68	70
2025-06-02 20:00:00	18.1	17.7	18.7	0.0	65	63	69
2025-06-02 21:00:00	17.3	16.9	18.4	0.0	63	57	67
2025-06-02 22:00:00	17.6	17.0	18.1	0.0	63	60	67
2025-06-02 23:00:00	17.2	16.7	17.7	0.0	71	64	72
2025-06-03 00:00:00	17.2	17.0	17.5	0.0	69	63	71
2025-06-03 01:00:00	16.8	16.6	17.3	0.0	70	68	73
2025-06-03 02:00:00	15.8	15.3	17.0	0.0	76	69	77
2025-06-03 03:00:00	14.9	14.4	16.7	0.0	76	73	78

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-06-03 04:00:00	14.0	13.8	14.9	0.0	79	72	80
2025-06-03 05:00:00	14.2	13.6	14.5	0.0	81	77	84
2025-06-03 06:00:00	14.2	13.3	14.7	0.0	82	76	83
2025-06-03 07:00:00	14.1	13.4	14.7	0.0	84	82	85
2025-06-03 08:00:00	17.4	14.1	18.1	0.0	75	74	86
2025-06-03 09:00:00	18.7	17.2	18.9	0.0	72	69	77
2025-06-03 10:00:00	19.8	18.7	21.0	0.0	66	64	75
2025-06-03 11:00:00	21.2	19.3	22.0	0.0	67	62	74
2025-06-03 12:00:00	21.9	20.9	23.0	0.0	62	57	71
2025-06-03 13:00:00	23.9	21.7	24.9	0.0	60	57	67
2025-06-03 14:00:00	23.6	22.0	24.2	0.0	62	51	70
2025-06-03 15:00:00	23.1	22.0	24.5	0.0	59	56	66
2025-06-03 16:00:00	22.6	21.8	23.6	0.0	59	54	65
2025-06-03 17:00:00	20.5	20.2	23.2	0.0	65	58	68
2025-06-03 18:00:00	19.6	19.2	20.4	0.0	70	66	71
2025-06-03 19:00:00	18.5	18.4	19.6	0.0	72	69	72
2025-06-03 20:00:00	18.4	17.5	18.6	0.0	73	72	74
2025-06-03 21:00:00	18.2	17.9	18.7	0.0	73	72	74
2025-06-03 22:00:00	16.9	16.6	18.3	0.0	76	73	77

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-06-03 23:00:00	17.3	16.1	17.8	0.0	76	74	80
2025-06-04 00:00:00	17.7	17.2	18.0	0.0	74	72	76
2025-06-04 01:00:00	17.4	16.8	17.7	0.0	75	75	80
2025-06-04 02:00:00	15.9	15.8	17.4	0.0	86	75	87
2025-06-04 03:00:00	15.8	15.5	16.4	0.2	87	83	89
2025-06-04 04:00:00	15.9	15.6	16.5	0.0	85	83	88
2025-06-04 05:00:00	16.2	15.8	16.5	0.0	83	82	86
2025-06-04 06:00:00	15.0	14.9	16.3	0.0	87	82	88
2025-06-04 07:00:00	15.8	14.9	16.0	0.0	85	84	88
2025-06-04 08:00:00	16.6	15.7	16.7	0.0	84	82	88
2025-06-04 09:00:00	18.0	16.5	18.1	0.0	82	80	85
2025-06-04 10:00:00	17.4	17.1	18.4	0.0	83	77	85
2025-06-04 11:00:00	20.7	17.1	21.7	0.0	78	75	86
2025-06-04 12:00:00	20.5	18.9	21.8	0.0	79	71	81
2025-06-04 13:00:00	22.4	19.5	23.1	0.0	63	59	81
2025-06-04 14:00:00	22.7	21.9	24.1	0.0	56	51	66
2025-06-04 15:00:00	23.2	22.1	24.0	0.0	56	51	62
2025-06-04 16:00:00	21.0	20.7	23.8	0.0	63	54	66
2025-06-04 17:00:00	20.6	20.2	22.7	0.0	70	63	72

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-06-04 18:00:00	20.2	20.0	21.1	0.0	70	67	71
2025-06-04 19:00:00	19.0	18.8	20.0	0.0	75	71	75
2025-06-04 20:00:00	18.4	18.3	19.0	0.0	75	74	75
2025-06-04 21:00:00	18.3	18.2	18.5	0.0	74	74	76
2025-06-04 22:00:00	18.2	17.5	18.5	0.0	75	73	76
2025-06-04 23:00:00	17.9	17.8	18.3	0.0	76	74	77
2025-06-05 00:00:00	17.8	17.7	18.0	0.0	77	76	78
2025-06-05 01:00:00	17.7	17.6	17.8	0.0	78	77	78
2025-06-05 02:00:00	16.0	15.9	17.7	0.2	87	78	88
2025-06-05 03:00:00	16.2	16.0	17.0	0.0	85	84	88
2025-06-05 04:00:00	16.5	16.2	16.8	0.0	80	79	85
2025-06-05 05:00:00	16.2	16.0	16.7	0.0	82	80	84
2025-06-05 06:00:00	15.6	15.5	16.9	0.2	87	78	88
2025-06-05 07:00:00	15.2	15.1	15.5	0.5	92	88	92
2025-06-05 08:00:00	16.1	15.2	16.3	0.0	89	87	92
2025-06-05 09:00:00	17.6	16.3	18.0	0.0	82	81	90
2025-06-05 10:00:00	19.4	17.3	20.1	0.0	78	76	85
2025-06-05 11:00:00	20.1	18.4	20.8	0.0	78	74	82
2025-06-05 12:00:00	22.4	19.3	23.5	0.0	73	63	80

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-06-05 13:00:00	21.5	20.3	22.9	0.0	66	61	76
2025-06-05 14:00:00	22.9	20.8	24.2	0.0	59	52	76
2025-06-05 15:00:00	20.0	19.9	22.6	0.0	68	54	70
2025-06-05 16:00:00	19.9	19.5	20.0	0.0	68	67	72
2025-06-05 17:00:00	19.7	19.6	20.0	0.0	70	66	71
2025-06-05 18:00:00	18.9	18.8	19.6	0.0	74	68	76
2025-06-05 19:00:00	18.2	18.2	18.9	0.0	78	73	79
2025-06-05 20:00:00	17.9	17.6	18.5	0.0	76	76	79
2025-06-05 21:00:00	18.0	17.5	18.0	0.0	77	76	78
2025-06-05 22:00:00	17.8	17.7	18.0	0.0	77	76	78
2025-06-05 23:00:00	17.8	17.7	17.8	0.0	77	76	78
2025-06-06 00:00:00	16.6	16.4	17.8	0.4	82	76	83
2025-06-06 01:00:00	16.7	16.2	16.9	0.2	82	81	85
2025-06-06 02:00:00	16.8	16.5	17.0	0.0	81	80	82
2025-06-06 03:00:00	17.0	16.7	17.2	0.0	79	78	81
2025-06-06 04:00:00	16.7	16.7	17.2	0.0	79	77	80
2025-06-06 05:00:00	16.8	16.5	16.9	0.0	79	78	80
2025-06-06 06:00:00	16.6	16.4	16.8	0.0	79	78	81
2025-06-06 07:00:00	16.5	16.3	16.8	0.0	81	79	82

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-06-06 08:00:00	17.0	16.4	17.1	0.0	79	78	83
2025-06-06 09:00:00	17.5	16.9	17.7	0.0	77	75	83
2025-06-06 10:00:00	18.5	17.4	19.0	0.0	77	73	82
2025-06-06 11:00:00	18.4	18.1	19.3	0.0	77	70	80
2025-06-06 12:00:00	18.0	17.7	18.5	0.0	75	73	80
2025-06-06 13:00:00	19.2	17.4	19.5	0.2	72	70	83
2025-06-06 14:00:00	19.2	19.0	20.4	0.0	71	65	81
2025-06-06 15:00:00	18.2	17.8	19.4	0.0	78	69	80
2025-06-06 16:00:00	17.8	17.6	18.1	0.0	80	76	83
2025-06-06 17:00:00	17.4	17.2	18.0	0.0	83	77	84
2025-06-06 18:00:00	16.5	16.2	17.4	0.0	84	81	86
2025-06-06 19:00:00	16.7	16.0	17.0	0.0	84	83	87
2025-06-06 20:00:00	17.0	16.3	17.3	0.0	83	81	86
2025-06-06 21:00:00	15.8	15.6	16.9	1.1	89	83	90
2025-06-06 22:00:00	15.5	15.4	15.7	4.3	93	90	93
2025-06-06 23:00:00	15.9	15.4	16.2	4.7	90	90	93
2025-06-07 00:00:00	15.9	15.6	16.1	0.5	90	89	90
2025-06-07 01:00:00	15.7	15.4	16.1	0.4	91	89	91
2025-06-07 02:00:00	15.5	15.4	16.0	0.8	92	90	92

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	HRmin (%)	HRmax (%)
2025-06-07 03:00:00	15.5	15.3	15.9	0.4	92	92	92
2025-06-07 04:00:00	15.3	15.2	16.0	0.2	92	91	93
2025-06-07 05:00:00	15.0	14.9	15.3	1.0	94	93	94
2025-06-07 06:00:00	15.2	14.9	15.2	0.2	94	94	94
2025-06-07 07:00:00	15.1	14.9	15.2	0.4	94	93	94
2025-06-07 08:00:00	15.4	15.1	15.6	0.2	93	92	94
2025-06-07 09:00:00	16.0	15.2	16.1	1.4	90	89	94
2025-06-07 10:00:00	16.8	15.9	17.0	0.8	91	88	93
2025-06-07 11:00:00	17.6	16.3	17.8	0.2	91	89	92
2025-06-07 12:00:00	18.0	16.9	18.3	0.0	86	84	91
2025-06-07 13:00:00	18.8	18.1	19.2	0.0	81	78	87
2025-06-07 14:00:00	19.3	18.3	21.4	0.0	77	70	85
2025-06-07 15:00:00	18.9	18.2	19.8	0.0	76	75	85
2025-06-07 16:00:00	19.8	18.6	20.8	0.0	70	69	81
2025-06-07 17:00:00	18.3	17.9	20.2	0.0	76	68	79
2025-06-07 18:00:00	16.8	16.5	18.0	0.0	85	77	86
2025-06-07 19:00:00	16.4	16.2	16.6	0.0	89	85	89
2025-06-07 20:00:00	16.5	16.2	16.8	0.0	87	86	89
2025-06-07 21:00:00	16.3	16.0	16.7	0.0	87	85	89

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-06-07 22:00:00	16.0	15.4	16.2	0.0	87	85	91
2025-06-07 23:00:00	15.1	15.0	16.3	0.0	89	83	89
2025-06-08 00:00:00	15.8	15.1	15.9	0.0	89	86	90
2025-06-08 01:00:00	15.9	15.5	16.3	0.0	88	85	89
2025-06-08 02:00:00	15.9	15.4	16.1	0.0	84	83	89
2025-06-08 03:00:00	15.8	15.6	16.5	0.0	85	82	87
2025-06-08 04:00:00	15.5	15.4	16.3	0.0	88	84	88
2025-06-08 05:00:00	15.7	15.3	16.1	0.0	86	84	89
2025-06-08 06:00:00	15.6	15.4	15.8	0.0	90	85	90
2025-06-08 07:00:00	15.5	15.3	15.6	0.0	91	90	92
2025-06-08 08:00:00	16.1	15.4	16.2	0.2	91	90	92
2025-06-08 09:00:00	16.8	16.0	16.9	0.2	89	87	91
2025-06-08 10:00:00	18.4	16.6	18.6	0.0	85	84	90
2025-06-08 11:00:00	18.5	17.8	20.1	0.0	82	77	85
2025-06-08 12:00:00	19.1	17.6	19.8	0.0	84	79	87
2025-06-08 13:00:00	20.2	18.4	20.8	0.0	83	76	87
2025-06-08 14:00:00	20.8	19.3	21.2	0.0	75	73	84
2025-06-08 15:00:00	20.3	20.1	21.3	0.0	78	71	79
2025-06-08 16:00:00	20.0	19.7	20.8	0.0	82	73	84

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-06-08 17:00:00	18.7	18.6	20.4	0.0	86	80	87
2025-06-08 18:00:00	17.7	17.4	18.8	0.2	84	81	88
2025-06-08 19:00:00	17.7	17.0	17.9	0.0	84	82	86
2025-06-08 20:00:00	17.5	17.0	17.8	0.0	84	83	87
2025-06-08 21:00:00	17.3	17.2	17.6	0.0	85	85	86
2025-06-08 22:00:00	16.6	16.4	17.4	0.2	88	83	89
2025-06-08 23:00:00	16.1	16.0	16.4	1.5	92	89	92
2025-06-09 00:00:00	16.3	16.0	16.6	0.8	87	87	92
2025-06-09 01:00:00	15.7	15.6	16.1	1.0	91	88	92
2025-06-09 02:00:00	16.1	15.7	16.3	0.0	88	88	92
2025-06-09 03:00:00	15.9	15.8	16.2	0.2	91	89	91
2025-06-09 04:00:00	15.5	15.5	16.0	0.2	92	90	93
2025-06-09 05:00:00	15.7	15.4	15.8	0.0	93	93	94
2025-06-09 06:00:00	15.4	15.4	15.6	0.2	94	93	94
2025-06-09 07:00:00	15.6	15.3	15.7	0.0	94	94	94
2025-06-09 08:00:00	16.4	15.5	16.6	0.2	95	94	95
2025-06-09 09:00:00	17.4	16.2	17.6	0.0	93	93	95
2025-06-09 10:00:00	19.8	17.0	20.2	0.0	86	84	93
2025-06-09 11:00:00	22.0	18.9	23.2	0.0	80	71	87

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	HRmin (%)	HRmax (%)
2025-06-09 12:00:00	21.3	18.3	23.3	0.0	77	72	84
2025-06-09 13:00:00	20.0	19.4	22.8	0.0	84	73	86
2025-06-09 14:00:00	21.3	19.8	22.8	0.0	76	71	85
2025-06-09 15:00:00	21.2	20.5	23.1	0.0	71	65	76
2025-06-09 16:00:00	21.2	20.4	22.2	0.0	72	69	81
2025-06-09 17:00:00	19.9	19.6	22.3	0.0	75	67	77
2025-06-09 18:00:00	19.2	19.0	20.0	0.0	83	76	84
2025-06-09 19:00:00	18.3	18.2	19.1	0.0	86	82	87
2025-06-09 20:00:00	17.7	17.3	18.3	0.0	85	83	88
2025-06-09 21:00:00	16.7	16.4	18.7	0.0	84	78	85
2025-06-09 22:00:00	16.8	16.3	17.1	0.0	86	84	87
2025-06-09 23:00:00	16.8	16.4	17.5	0.0	86	85	88
2025-06-10 00:00:00	17.8	16.2	17.9	0.0	85	84	89
2025-06-10 01:00:00	17.8	17.4	18.1	0.0	82	80	85
2025-06-10 02:00:00	17.9	17.6	18.2	0.0	80	79	83
2025-06-10 03:00:00	17.7	17.4	18.3	0.0	80	77	81
2025-06-10 04:00:00	16.8	16.7	17.8	0.0	83	79	85
2025-06-10 05:00:00	15.9	15.8	17.2	0.0	89	82	89
2025-06-10 06:00:00	16.3	15.9	16.3	0.0	92	89	92

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	HRmin (%)	HRmax (%)
2025-06-10 07:00:00	16.4	16.2	16.5	0.0	93	91	93
2025-06-10 08:00:00	17.6	16.5	17.7	0.0	90	90	93
2025-06-10 09:00:00	18.3	16.6	18.7	0.0	88	86	91
2025-06-10 10:00:00	19.5	17.6	20.4	0.0	82	80	89
2025-06-10 11:00:00	19.6	17.4	20.2	0.0	86	81	89
2025-06-10 12:00:00	18.8	18.3	20.1	0.0	87	82	88
2025-06-10 13:00:00	20.8	18.9	22.1	0.0	85	76	88
2025-06-10 14:00:00	20.9	19.4	22.3	0.0	83	75	86
2025-06-10 15:00:00	20.2	18.9	21.0	0.0	85	80	87
2025-06-10 16:00:00	19.5	19.1	22.0	0.0	87	73	88
2025-06-10 17:00:00	20.1	19.2	20.9	0.0	85	79	88
2025-06-10 18:00:00	18.9	18.7	19.9	0.0	89	85	89
2025-06-10 19:00:00	18.3	18.1	18.7	0.0	89	88	91
2025-06-10 20:00:00	18.0	17.6	18.2	0.0	87	87	90
2025-06-10 21:00:00	17.6	17.5	18.1	0.0	80	79	88
2025-06-10 22:00:00	17.1	16.9	18.0	0.0	84	78	85
2025-06-10 23:00:00	17.1	16.7	17.4	0.0	83	81	87
2025-06-11 00:00:00	16.9	16.6	17.0	0.2	84	83	86
2025-06-11 01:00:00	17.1	16.3	17.3	0.0	82	81	86

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-06-11 02:00:00	17.2	16.6	17.3	0.0	80	80	84
2025-06-11 03:00:00	17.1	17.0	17.4	0.0	81	80	82
2025-06-11 04:00:00	16.0	15.7	17.1	0.0	87	81	87
2025-06-11 05:00:00	15.6	15.5	16.1	0.0	90	88	91
2025-06-11 06:00:00	15.7	15.5	16.0	0.0	91	89	91
2025-06-11 07:00:00	16.1	15.6	16.3	0.0	92	90	92
2025-06-11 08:00:00	16.9	16.2	17.0	0.0	89	87	92
2025-06-11 09:00:00	18.5	16.9	18.7	0.0	86	84	89
2025-06-11 10:00:00	18.7	17.7	19.2	0.0	85	83	87
2025-06-11 11:00:00	18.8	17.5	19.2	0.0	83	81	88
2025-06-11 12:00:00	19.0	18.1	19.3	0.0	84	81	87
2025-06-11 13:00:00	20.0	18.8	20.9	0.0	85	81	88
2025-06-11 14:00:00	19.1	18.7	20.9	0.0	85	80	87
2025-06-11 15:00:00	19.6	18.7	20.9	0.0	83	80	85
2025-06-11 16:00:00	21.6	20.4	21.9	0.0	77	71	82
2025-06-11 17:00:00	19.7	19.5	21.4	0.0	80	75	82
2025-06-11 18:00:00	18.0	17.5	19.6	0.0	81	78	86
2025-06-11 19:00:00	17.1	17.0	18.4	0.0	84	78	85
2025-06-11 20:00:00	17.6	16.8	17.8	0.0	83	81	85

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	Hrmin (%)	Hrmax (%)
2025-06-11 21:00:00	17.0	16.9	17.5	0.0	87	83	88
2025-06-11 22:00:00	16.2	16.0	16.9	0.0	90	88	91
2025-06-11 23:00:00	15.8	15.7	16.6	0.0	91	90	91
2025-06-12 00:00:00	15.8	15.7	16.1	0.0	92	91	92
2025-06-12 01:00:00	16.2	15.7	16.3	0.0	92	92	93
2025-06-12 02:00:00	16.2	16.1	16.6	0.0	90	90	92
2025-06-12 03:00:00	15.9	15.8	16.3	0.0	92	90	92
2025-06-12 04:00:00	15.8	15.6	16.2	0.0	92	91	92
2025-06-12 05:00:00	16.1	15.8	16.3	0.0	92	92	93
2025-06-12 06:00:00	16.1	15.9	16.2	0.0	92	92	92
2025-06-12 07:00:00	16.1	16.0	16.2	0.0	93	92	93
2025-06-12 08:00:00	16.7	16.1	16.8	0.0	93	92	93
2025-06-12 09:00:00	17.3	16.7	17.8	0.0	91	91	92
2025-06-12 10:00:00	17.7	16.6	18.5	0.0	86	85	93
2025-06-12 11:00:00	18.5	17.4	18.9	0.0	87	84	89
2025-06-12 12:00:00	21.1	17.9	22.5	0.0	77	75	87
2025-06-12 13:00:00	19.7	19.1	22.2	0.0	81	68	83
2025-06-12 14:00:00	19.5	18.9	20.9	0.0	85	76	86
2025-06-12 15:00:00	21.3	19.1	22.0	0.0	76	75	85

Fecha	Tmed (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PP (mm)	HRm (%)	HRmin (%)	HRmax (%)
2025-06-12 16:00:00	19.2	19.0	21.4	0.0	84	72	85
2025-06-12 17:00:00	18.3	18.2	19.5	0.0	86	82	87
2025-06-12 18:00:00	17.4	17.3	18.3	0.0	88	87	90
2025-06-12 19:00:00	17.0	16.9	17.4	0.0	91	87	92
2025-06-12 20:00:00	17.4	16.9	17.5	0.0	94	92	94
2025-06-12 21:00:00	17.3	17.2	17.5	0.0	93	93	93
2025-06-12 22:00:00	17.2	17.1	17.2	0.0	93	93	94
2025-06-12 23:00:00	17.3	17.2	17.5	0.0	93	93	94

Nota. Tmed: Temperatura media, Tmin: Temperatura mínima, Tmax: Temperatura máxima, PP: Precipitación, HRm: Humedad relativa media, HRmin: Humedad relativa mínima, HRmax: Humedad relativa máxima.

Anexo 6

Panel fotográfico



Fotografía 1,2 y 3. Proceso de toma de muestra de gas procedenete de la cámara dinámica cerrada.



Fotografía 4 y 5. Cámaras estáticas cerradas instaladas.



Fotografía 6 y 7. Secado de muestras de suelo.



Fotografía 8 y 9. Preparación de viales.