

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE
LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA PLANTA DE VALORIZACIÓN DE LA
MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LEONCIO PRADO, 2024**

Tesis

Para optar el grado

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por

RAMOS MORALES, JOICE YORELI

Tingo María

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°092-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 04 de julio de 2025, a horas 12:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA PLANTA DE VALORIZACIÓN DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LEONCIO PRADO, 2024”

Presentado por la Bachiller: **RAMOS MORALES, JOICE YORELI** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “MUY BUENA”.

En consecuencia, la sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 27 de agosto de 2025

Ing. MSc. **FRANKLIN DIONISIO MONTALVO**
PRESIDENTE

Ing. MSc. **SANDRA L. ZAVALA GUERRERO**
MIEMBRO



Ing. MSc. **ABBY SOLANGE DA CRUZ RODRIGUEZ**
MIEMBRO

Dr. **VICTOR MANUEL BETETA ALVARADO**
ASESOR



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 292 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un Índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

| | | | |
|-------|---|------------------------------------|--|
| Tesis | X | Trabajo de Suficiencia Profesional | |
|-------|---|------------------------------------|--|

| TÍTULO | AUTOR | PORCENTAJE | |
|--|-----------------------------|--------------|--|
| | | SIMILITUD | CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL |
| GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA PLANTA DE VALORIZACIÓN DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LEONCIO PRADO, 2024 | RAMOS MORALES, JOICE YORELI | 10 % Diez | Menor a 20 % |

Tingo María, 04 de setiembre de 2025.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE
LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA PLANTA DE VALORIZACIÓN DE LA
MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LEONCIO PRADO, 2024**

| | |
|------------------------|--------------------------------------|
| Ejecutor | : Ramos Morales, Joice Yoreli |
| Asesor | : Dr. Victor Manuel Beteta Alvarado |
| Área de investigación | : Gestión Ambiental – PICSDS |
| Grupo de investigación | : Gestión Ambiental |
| Línea de investigación | : Gestión de la contaminación |
| Lugar de ejecución | : Planta de valorización de la MPLP. |
| Duración | : 06 meses. |
| Financiamiento | : S/. 5495.05 |
| FEDU | : No |
| Propio | : Sí |
| Otros | : No |

Tingo María, Perú

2025

DEDICATORIA

A Dios por las bendiciones y oportunidades que me brinda para mi crecimiento profesional.

A mis padres Linda Morales Salgado y Fabian Ramos Pio, por inculcarme buenos valores, enseñarme la importancia del esfuerzo para cumplir mis metas y ser mi pilar más fuerte en las etapas de mi vida.

A mi querido hermano Ángel Ramos Morales por ser mi soporte. Gracias por estar a mi lado apoyándome en los momentos más críticos recordándome el valor de la familia en cada paso que doy, y a mi hermana Sheira Nasmith Ramos Morales, por ser un motivo más para cumplir mis metas.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarme por el camino de la sabiduría, por ayudarme y permitirme cumplir mis objetivos planteados y sobre todo por rodearme por personas virtuosas y de buenos valores.

A mis estimados amigos y colegas, quienes fueron parte fundamental durante todo este proceso. Gracias por su apoyo, colaboración y camaradería.

A los honorables miembros del jurado, y a mi asesor Dr. Victor Manuel Beteta Alvarado gracias por su tiempo, paciencia y dedicación durante este proceso. Agradezco profundamente su profesionalismo, su experiencia y conocimientos.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, porque me permitió recibir una formación profesional. De igual forma agradecer al Laboratorio de Calidad de Aire, Laboratorio de Microbiología, y Laboratorio de Análisis de Suelos y Agua y Ecotoxicología, los cuales fueron vitales para la ejecución del presente estudio

INDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Objetivos..... | 2 |
| 1.1.1. Objetivo General | 2 |
| 1.1.2. Objetivos Específicos | 2 |
| II. REVISION DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1. Antecedentes..... | 3 |
| 2.1.1. Internacional..... | 3 |
| 2.1.2. Nacional | 11 |
| 2.1.3. Local..... | 13 |
| 2.2. Marco teórico..... | 15 |
| 2.2.1. Atmosfera | 15 |
| 2.2.2. Efecto invernadero | 16 |
| 2.2.3. Gases de efecto invernadero..... | 16 |
| 2.2.4. Compostaje..... | 18 |
| 2.2.5. Etapas del proceso de compostaje en la Planta de valorización de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado. | 22 |
| 2.3. Decreto Supremo N° 015-2005-SA..... | 22 |
| 2.3.1. Media ponderada en el Tiempo (TWA) | 23 |
| 2.3.2. Exposición de corta duración (STEL)..... | 23 |
| 2.4. Límites de Exposición profesional para agentes químicos..... | 23 |
| 2.4.1. Exposición diaria (ED)..... | 24 |
| 2.4.2. Exposición en corta duración (EC) | 24 |
| III. MATERIALES Y METODOS | 25 |
| 3.1. Lugar de ejecución | 25 |
| 3.1.1. Ubicación política de la zona de estudio | 25 |
| 3.1.2. Ubicación geográfica de la zona de estudio | 25 |
| 3.2. Material y equipos | 26 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.2.1. | Materiales | 26 |
| 3.2.2. | Equipos..... | 26 |
| 3.2.3. | Software | 26 |
| 3.3. | Criterio y Análisis de Estudio..... | 26 |
| 3.3.1. | Nivel de Investigación..... | 26 |
| 3.3.2. | Tipo de Investigación | 26 |
| 3.3.3. | Métodos de investigación..... | 26 |
| 3.3.4. | Operacionalización de Variables..... | 27 |
| 3.3.5. | Diseño de Investigación | 28 |
| 3.3.6. | Población y muestra | 28 |
| 3.3.7. | Análisis Estadístico | 29 |
| 3.3.8. | Técnicas e instrumentos de Investigación..... | 29 |
| 3.3.9. | Análisis de Datos..... | 29 |
| 3.4. | Metodología..... | 30 |
| 3.4.1. | Determinación de la humedad, temperatura, pH, densidad aparente..... y la relación C/N en el proceso de compostaje..... | 30 |
| 3.4.2. | Determinación de las concentraciones de CO ₂ , CO y CH ₄ en el..... ambiente de las etapas del proceso de compostaje..... | 33 |
| 3.4.3. | Propuesta de estrategias que mejoren el manejo de gases emanados..... en el proceso de compostaje..... | 35 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIONES | 36 |
| 4.1. | Determinación de la humedad, temperatura, pH, densidad aparente..... y la relación C/N en el proceso de compostaje..... | 36 |
| 4.1.1. | Humedad (%) | 36 |
| 4.1.2. | Temperatura | 38 |
| 4.1.3. | pH..... | 41 |
| 4.1.4. | Densidad aparente | 44 |
| 4.1.5. | Relación de C/N | 46 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.2. | Determinación y cumplimiento de la concentración de los gases..... | |
| | con los valores límites del D.S N° 105-2005-SA y INSST en | |
| | el proceso de compostaje. | 48 |
| 4.2.1. | Dióxido de Carbono (CO ₂)..... | 48 |
| 4.2.2. | Monóxido de Carbono (CO) | 51 |
| 4.2.3. | Metano (CH ₄) | 54 |
| 4.3. | Propuestas de estrategias que mejoren el manejo de gases emanados..... | |
| | en el proceso de compostaje. | 57 |
| V. | CONCLUSIONES | 60 |
| VI. | PROPUESTA A FUTURO | 61 |
| VII. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 62 |
| VIII. | ANEXOS | 71 |

INDICE DE TABLA

| Tabla | Página |
|--|---------------|
| 1. Límite inferior de explosividad del gas de interés..... | 18 |
| 2. Valores Limite Ambiental de los gases de interés..... | 24 |
| 3. Operacionalización de Variables | 27 |
| 4. Esquema del análisis de varianza. | 29 |
| 5. Medición de parámetros en el horario de 11:00 am – 13:00 pm..... | 31 |
| 6.. Parámetros fisicoquímicos según NTP 201.208 2021..... | 33 |
| 7. Resumen de pilas Registradas | 33 |
| 8. Concentración de GEIs en el turno mañana | 35 |
| 9. Estadístico descriptivo de la Humedad (%) por mes de estudio..... | 36 |
| 10.Análisis de Varianza de la Humedad (%)en las..... diferentes etapas de compostaje..... | 38 |
| 11. Prueba de Tuckey con respecto a la Humedad (%)..... | 38 |
| 12. Estadístico descriptivo de la Temperatura (°) por mes de estudio | 39 |
| 13. Análisis de Varianza de la Temperatura (%) en las diferentes etapas de compostaje..... | 41 |
| 14. Prueba de Tuckey con respecto a la Temperatura (°)..... | 41 |
| 15. Estadístico descriptivo del pH por mes de estudio..... | 42 |
| 16. Análisis de Varianza del pH en las diferentes etapas de compostaje..... | 43 |
| 17. Prueba de Tuckey con respecto al pH | 44 |
| 18. Estadístico descriptivo de la densidad aparente por mes de estudio | 45 |
| 19. Estadístico descriptivo de la relación C/N por mes de estudio..... | 47 |
| 20. Estadístico descriptivo del CO ₂ por mes de estudio..... | 49 |
| 21. Análisis de Varianza del CO ₂ en las diferentes etapas de compostaje | 50 |
| 22. Prueba de Tuckey con respecto al CO ₂ | 51 |
| 23. Estadístico descriptivo del CO por mes de estudio | 52 |
| 24. Análisis de Varianza del CO en las diferentes etapas de compostaje | 53 |
| 25. Prueba de Tuckey con respecto al CO..... | 54 |
| 26. Estadístico descriptivo del CH ₄ por mes de estudio | 54 |
| 27. Análisis de Varianza del CH ₄ en las diferentes etapas de compostaje | 56 |
| 28. Prueba de Tuckey con respecto al CH ₄ | 56 |
| 29. Estrategias de mejora en el manejo de gases en el proceso de compostaje..... | 57 |
| 30. Ficha de Registro de Pilas de estudio | 72 |

| | |
|---|-----|
| 31. Base de datos de las concentraciones de Gases | 73 |
| 32. Base de datos de los parámetros Fisicoquímicos | 88 |
| 33. Análisis de Varianza de la densidad aparente en las diferentes etapas de compostaje. ... | 111 |
| 34. Prueba de Tuckey con respecto a la densidad aparente | 111 |
| 35. Análisis de Varianza de la relación C/N en las diferentes etapas de compostaje..... | 111 |
| 36. Prueba de Tuckey con respecto a la Relación C/N..... | 111 |

INDICE DE FIGURAS

| Figura | Pagina |
|--|---------------|
| 1. Estructura térmica de la troposfera y estratósfera | 15 |
| 2. Efecto invernadero..... | 16 |
| 3. Evolución de la relación C/N durante el proceso de compostaje | 19 |
| 4. Temperatura en las diferentes fases del compostaje..... | 20 |
| 5. Mapa de ubicación de la planta de valorización de Residuos Orgánicos de la MPLP. | 25 |
| 6. Diseño metodológico de investigación..... | 28 |
| 7. Porcentaje de Humedad (%) en diferentes etapas de compostaje | 37 |
| 8. Temperatura (T°) promedio en diferentes etapas de compostaje | 40 |
| 9. Nivel de pH en diferentes etapas de compostaje | 43 |
| 10. Densidad aparente (kg/m ³) en diferentes etapas de compostaje..... | 46 |
| 11. Nivel de C/N en diferentes etapas de compostaje | 48 |
| 12. Concentración de CO ₂ (ppm) en diferentes etapas de compostaje..... | 50 |
| 13. Concentración de CO (ppm) en diferentes etapas de compostaje | 53 |
| 14. Concentración de CH ₄ (ppm) en diferentes etapas de compostaje..... | 55 |
| 15. Llegada a la planta de compostaje de la MPLP..... | 112 |
| 16. Área de recepción de Residuos Orgánicos | 112 |
| 17. Área Termófila | 113 |
| 18. Área de Oreado y Zarandeo..... | 113 |
| 19. Equipos de medición (Explosímetro-Termocupla con Sonda)..... | 114 |
| 20. Medición del largo, ancho y alto de las pilas de composta. | 114 |
| 21. Medición de gases y parámetros físicos en el punto 1, punto 2, punto 3 y punto 4. | 115 |
| 22. Medición De Gases CO, CO ₂ , CH ₄ En El Punto 1..... | 115 |
| 23. Medición De Gases CO, CO ₂ , CH ₄ En El Punto 2..... | 116 |
| 24. Medición De Gases CO, CO ₂ , CH ₄ En El Punto 3..... | 116 |
| 25. Medición De Gases CO, CO ₂ , CH ₄ En El Punto 4..... | 117 |
| 26. Medición de temperatura en el punto 1. | 117 |
| 27. Medición de temperatura en el punto 2. | 118 |
| 28. Medición de temperatura en el punto 3. | 118 |
| 29. Medición de temperatura en el punto 4. | 119 |
| 30. Se extrae 1kg de sustrato de cada punto de las pilas de compostaje | |
| para los parámetros fisicoquímicos. | 119 |

| | |
|---|-----|
| 31. Muestras de composta llevadas al laboratorio. | 120 |
| 32. Pesado de compost para la humedad. | 120 |
| 33. Muestras de 100 gr de composta. | 121 |
| 34. Muestras de composta colocados al horno a una temperatura de 105°C X 24h..... | 121 |
| 35. Muestras de composta después de 24 horas. | 122 |
| 36. Muestras de 20 gr para el parámetro de pH..... | 122 |
| 37. Muestras de composta diluidas con agua oxigenada para el parámetro de pH. | 123 |
| 38. Pesado de composta para hallar la densidad aparente. | 123 |
| 39. Uso de probeta para el procedimiento de la densidad aparente..... | 124 |
| 40. Densidad aparente de composta. | 124 |
| 41. Toma de datos de campo. | 125 |
| 42. Visualización de datos de gases en la pila de composta..... | 125 |
| 43. Visualización del dato de temperatura en la pila de composta..... | 126 |
| 44. Codificación de muestras para hallar la humedad. | 126 |
| 45. Resultados de análisis..... | 127 |
| 46. Resultado de análisis. | 128 |
| 47. Resultado de análisis. | 129 |
| 48. Coeficientes estandarizados de CH ₄ (ppm)..... | 130 |
| 49. Residuos estandarizados CH ₄ (ppm). | 130 |
| 50. Pred(CH ₄ (ppm)) / Residuos estandarizados. | 131 |
| 51. Pred (CH ₄ (ppm)) - CH ₄ (ppm)..... | 131 |
| 52. Residuos estandarizados / CH ₄ (ppm). | 132 |
| 53. Residuos eliminados studentizados (CH ₄ (ppm))-Umbral =3..... | 132 |
| 54. Distancias de Cook (CH ₄ (ppm)) - Umbral = 0.01..... | 133 |
| 55. DFFits(Std) (CH ₄ (ppm)) - Umbral = 0.195..... | 133 |
| 56. Medias CH ₄ (ppm). | 134 |
| 57. Gráfico comparativo de CH ₄ (ppm) vs. Límite permisible..... | 134 |
| 58. CO ₂ (ppm) / Coeficientes estandarizados (Interv. de conf. 95%)..... | 135 |
| 59. CO ₂ (ppm) / Residuos estandarizados. | 135 |
| 60. Pred(CO ₂ (ppm)) / Residuos estandarizados. | 136 |
| 61. Pred(CO ₂ (ppm)) - CO ₂ (ppm). | 136 |
| 62. Residuos estandarizados / CO ₂ (ppm). | 137 |
| 63. Residuos eliminados studentizados (CO ₂ (ppm)) - Umbral = 3..... | 137 |
| 64. Distancias de Cook (CO ₂ (ppm)) - Umbral = 0.01..... | 138 |

| | |
|--|-----|
| 65. DFFits(Std) (CO ₂ (ppm)) - Umbral = 0.195..... | 138 |
| 66. CO (ppm) vs Límite permisible..... | 139 |
| 67. CO (ppm) / Coeficientes estandarizados (Interv. de conf. 95%)..... | 139 |
| 68. CO (ppm) / Residuos estandarizados. | 140 |
| 69. Pred (CO (ppm)) / Residuos estandarizados. | 140 |
| 70. Pred(CO (ppm)) - CO (ppm). | 141 |
| 71. Residuos estandarizados CO (ppm)..... | 141 |
| 72. Residuos eliminados CO (ppm)..... | 142 |
| 73. Distancias de Cook CO (ppm)..... | 142 |
| 74. DFFits CO (ppm)..... | 143 |
| 75. CO (ppm) vs Límite permisible..... | 143 |
| 76. T° / Coeficientes estandarizados (Interv. de conf. 95%)..... | 144 |
| 77. T° / Residuos estandarizados..... | 144 |
| 78. Pred(T°) / Residuos estandarizados%). | 145 |
| 79. Pred(T°)-T°..... | 145 |
| 80. Residuos estandarizados de T°..... | 146 |
| 81. Residuos eliminados studentizados (T°) - Umbral = 3..... | 146 |
| 82. Distancias de Cook (T°) - Umbral = 0.01..... | 147 |
| 83. DFFits(Std) (T°) - Umbral = 0.195..... | 147 |
| 84. T° vs Etapas de composta..... | 148 |
| 85. Humedad promedio (%) / Coeficientes estandarizados (Interv. de conf. 95%)..... | 148 |
| 86. Humedad Promedio (%) / Residuos estandarizados..... | 149 |
| 87. Pred(Humedad Promedio (%)) / Residuos estandarizados%). | 149 |
| 88. Pred(Humedad Promedio (%)) - Humedad Promedio (%). | 150 |
| 89. Residuos estandarizados / Humedad Promedio (%). | 150 |
| 90. Residuos eliminados studentizados (Humedad Promedio (%)) - Umbral = 3%). | 151 |
| 91. Distancias de Cook (Humedad Promedio (%)) - Umbral = 0.071 | 151 |
| 92. DFFits(Std) (Humedad Promedio (%)) - Umbral = 0.516%). | 152 |
| 93. Medias (Humedad Promedio (%)) – Área..... | 152 |
| 94. Medias (Humedad Promedio (%)) – Área..... | 153 |
| 95. Densidad / Coeficientes estandarizados (Interv. de conf. 95%)..... | 153 |
| 96. Densidad Residuos estandarizados..... | 154 |
| 97. Pred(Densidad) / Residuos estandarizados..... | 154 |
| 98. Pred(Densidad) – Densidad..... | 155 |

| | |
|---|-----|
| 99. Residuos estandarizados / Densidad..... | 155 |
| 100. Residuos eliminados studentizados (Densidad) - Umbral = 3..... | 147 |
| 101. Distancias de Cook (Densidad) - Umbral = 0.071. | 156 |
| 102. DFFits(Std) (Densidad) - Umbral = 0.516. | 157 |
| 103. Medias (Densidad) - Área..... | 157 |
| 104. pH / Residuos estandarizados. | 158 |
| 105. Pred(pH) / Residuos estandarizados. | 158 |
| 106. Pred(pH). | 159 |
| 107. Residuos estandarizados / pH. | 159 |
| 108. Residuos eliminados studentizados (pH) - Umbral =3..... | 160 |
| 109. Distancias de Cook (pH) - Umbral = 0.034..... | 160 |
| 110. DFFits(Std) (pH) - Umbral = 0.365..... | 161 |
| 111. Medias pH - Área. | 161 |
| 112. Medias pH-Área. | 162 |
| 113. C/N / Coeficientes estandarizados (Interv. de conf. 95%). | 162 |
| 114. C/N / Residuos estandarizados. | 163 |
| 115. Pred(C/N) / Residuos estandarizados. | 163 |
| 116. Pred(pH) / Residuos estandarizados. | 164 |
| 117. Pred(pH) -C/N. | 164 |
| 118. Residuos estandarizados / C/N. | 165 |
| 119. Residuos eliminados studentizados (C/N) - Umbral = 3..... | 165 |
| 120. Distancias de Cook (C/N) - Umbral = 0.071..... | 166 |
| 121. DFFits(Std) (C/N) - Umbral = 0.516..... | 166 |
| 122. Medias C/N-Área..... | 167 |
| 123.. Medias C/N-Área..... | 167 |

RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad evaluar la generación de gases de efecto invernadero (GEI) en el proceso de compostaje de residuos orgánicos municipales en la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado, 2024. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de nivel descriptivo, utilizando un diseño no experimental de corte transversal. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos del compost como humedad, temperatura, pH, densidad aparente y relación carbono/nitrógeno, así como las concentraciones de CO₂, CO y CH₄ en distintas etapas del proceso. Los resultados demostraron diferencias significativas en humedad, temperatura y pH entre etapas, reflejando una dinámica biológica activa durante el compostaje; no obstante, la densidad aparente y la relación C/N no presentaron variaciones estadísticas, lo que evidenció una gestión técnica limitada de dichos parámetros. Asimismo, se registró significancia en las concentraciones de CO₂, CO y CH₄, con picos elevados en la fase de recepción. Específicamente, el CO y el CH₄ sobrepasaron los límites permisibles establecidos por la normativa vigente, lo que permitió identificar puntos críticos de emisión relacionados con una aireación deficiente. En función de estos hallazgos, se identificó como estrategia técnica más viable para la realidad operativa de Tingo María el volteo aeróbico frecuente, por su efectividad en la reducción de gases y su facilidad de implementación.

Palabras clave: compostaje, gases de efecto invernadero, CO₂, CO, CH₄, parámetros fisicoquímicos, valorización de residuos, sostenibilidad.

Abstract

This research aimed to evaluate the generation of greenhouse gases (GHG) during the composting process of municipal organic waste at the Waste Valorization Plant of the Provincial Municipality of Leoncio Prado, 2024. The study was conducted using a quantitative, descriptive-level approach and a non-experimental, cross-sectional design. Physicochemical parameters of the compost such as moisture, temperature, pH, bulk density, and carbon/nitrogen ratio were evaluated, along with concentrations of CO₂, CO, and CH₄ at different stages of the process. The results showed significant differences in moisture, temperature, and pH between stages, reflecting an active biological dynamic throughout composting. In contrast, bulk density and the C/N ratio did not show statistical variation, indicating limited technical management of these parameters. Likewise, significant differences were found in the concentrations of CO₂, CO, and CH₄, with higher peaks observed in the reception phase. Specifically, CO and CH₄ exceeded the permissible limits established by current regulations, identifying critical emission points associated with poor aeration conditions. Based on these findings, the most viable technical strategy for the operational context of Tingo María was identified as frequent aerobic turning, due to its effectiveness in reducing gas emissions and ease of implementation.

keywords: composting, greenhouse gases, CO₂, CO, CH₄, physicochemical parameters, waste valorization, sustainability.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el incremento de la temperatura global se ha convertido en una preocupación prioritaria a nivel mundial debido a sus efectos negativos sobre el medio ambiente y la sociedad. Entre las consecuencias más visibles se encuentran el derretimiento de los glaciares, la migración de especies, y la desertificación de suelos previamente fértiles. Este fenómeno está estrechamente relacionado con la presencia de gases de efecto invernadero (GEI), compuestos químicos presentes naturalmente en la atmósfera que contribuyen a mantener el equilibrio térmico de la Tierra y permiten que exista vida.

No obstante, las actividades humanas intensivas han provocado un incremento considerable en la concentración de estos gases, principalmente a través de la quema de combustibles fósiles, la deforestación y diversas prácticas industriales que liberan compuestos como el metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y monóxido de carbono (CO). Esta alteración ha intensificado el efecto invernadero natural, reteniendo más calor del necesario y generando un calentamiento global sin precedentes.

En contraposición, el compostaje constituye una alternativa ambientalmente responsable, ya que permite transformar residuos orgánicos en compost, un abono natural rico en nutrientes que mejora la salud del suelo y favorece el crecimiento de la vegetación. Además, esta práctica reduce la cantidad de desechos que terminan en botaderos o rellenos sanitarios, al mismo tiempo que contribuye a cerrar el ciclo de los nutrientes, siendo así una estrategia clave dentro del marco de la sostenibilidad ambiental.

Ante el panorama actual de cambio climático y la necesidad urgente de aplicar modelos sostenibles de gestión, el tratamiento adecuado de los residuos orgánicos cobra gran importancia. En este contexto, la provincia de Leoncio Prado enfrenta el desafío de implementar prácticas que permitan valorizar sus desechos, como el compostaje de residuos orgánicos municipales. Sin embargo, es fundamental analizar detalladamente las emisiones de gases de efecto invernadero generadas durante este proceso, dado que la descomposición de la materia orgánica puede liberar gases como CH_4 , CO y CO_2 , que inciden directamente en el impacto ambiental de la región.

A partir de lo mencionado anteriormente, se planteó la siguiente interrogante: ¿Cuál es la concentración de gases de efecto invernadero en el proceso de compostaje de los residuos orgánicos de la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado, 2024? teniendo como hipótesis: La concentración de gases de efecto invernadero en el proceso de compostaje de los residuos orgánicos de la Planta de Valorización de la Municipalidad

Provincial de Leoncio Prado no supera los valores límites ambientales para agentes químicos del D.S N° 105-2005-SA y del INSST de España.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Determinar los gases de efecto invernadero en el proceso de compostaje de los residuos orgánicos de la Planta de Valorización de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado, 2024.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar la humedad, temperatura, pH, densidad aparente y la relación C/N en las pilas del proceso de compostaje.
- Determinar y comparar las concentraciones de CO₂, CO y CH₄ en el ambiente de las etapas del proceso de compostaje.
- Proponer estrategias que mejoren el manejo de gases generados en el proceso de compostaje.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacional

Maza (2023), en su investigación titulada “Propuesta para la producción de abono orgánico mediante compostaje de residuos sólidos orgánicos para árboles frutales de la finca ‘Don Luchito’”, realizada en la parroquia Chicaña, cantón Yantzaza, provincia Zamora Chinchipe, Ecuador, evaluó el proceso de compostaje enfocado al aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos destinados a frutales. En su estudio, se observó que la temperatura alcanzó un pico de 65.4 °C durante la etapa termófila, manteniéndose por encima de los 55 °C durante al menos 10 días consecutivos, lo que garantizó la eliminación de patógenos y semillas viables, cumpliendo con los estándares de sanitización. Este incremento térmico fue atribuido a una intensa descomposición aerobia impulsada por bacterias termófilas como *Bacillus* spp., que promueven una rápida oxidación de la materia orgánica. En el contexto de gases de efecto invernadero (GEI) y descomposición, esta fase termófila resulta clave para evitar la formación de zonas anaeróbicas, las cuales favorecen la emisión de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

Cabral, F., Fernandes, A. R., y Bezerra, R. M. (2023), en su estudio en el Instituto Politécnico de Bragança (Portugal) tuvieron como objetivo analizar la calidad física de composts elaborados a partir de residuos orgánicos urbanos, centrándose en la densidad y la porosidad como factores determinantes en su aplicabilidad agrícola. Sus resultados indicaron que compost con densidades cercanas a 0.6 g/cm³ y porosidades mayores al 55% mostraron mayor eficacia en campo, ya que estas condiciones optimizan el transporte, la mezcla con suelos y la retención de agua. Concluyeron que estas características estructurales son fundamentales para asegurar un producto final eficiente, estable y con alto potencial de uso en agricultura.

Nordahl et al. (2023), en su investigación titulada “Greenhouse Gas and Air Pollutant Emissions from Composting: A Review of Controlling Factors and Mitigation Strategies”, desarrollada como una revisión científica integral publicada en la revista *Environmental Science & Technology*, fue realizada por investigadores de instituciones académicas de Reino Unido y Países Bajos, y tuvo como objetivo analizar los factores que influyen en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y contaminantes atmosféricos durante el proceso de compostaje. Esta revisión se enfocó en identificar las condiciones fisicoquímicas y operacionales que afectan la generación de gases como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), amoníaco (NH₃) y compuestos orgánicos volátiles (COVs), con el fin de establecer estrategias que permitan reducir estas emisiones y optimizar el proceso de

compostaje. Los resultados destacaron que la etapa final del compostaje representa un punto crítico para el control de emisiones, ya que la exposición del material sin medidas de protección puede provocar una rápida pérdida de humedad, lo que reduce la actividad microbiana aerobia y favorece procesos anaerobios localizados. Estas condiciones pueden aumentar la liberación de CH_4 y N_2O . Asimismo, se evidenció que mantener una humedad óptima entre 50% y 60%, junto con volteos adecuados y monitoreo de la temperatura, permite reducir significativamente las emisiones de GEI. El estudio concluye que el diseño del proceso y el manejo técnico son claves para mitigar el impacto ambiental del compostaje y maximizar su eficiencia como estrategia de valorización de residuos orgánicos.

Singh, A., Kalamdhad, A. S., y Kazmi, A. A. (2023), en su estudio titulado “Microbial and gas emission dynamics during composting of nitrogen-rich substrates”, llevado a cabo en el Instituto Indio de Tecnología en Guwahati, India, investigaron el comportamiento microbiano y las emisiones gaseosas durante el compostaje de sustratos ricos en nitrógeno, como residuos de cocina y estiércol de ave. El objetivo fue comprender cómo las condiciones fisicoquímicas afectan la producción de gases como CO , CH_4 y N_2O . Observaron que las concentraciones elevadas de nitrógeno inicial favorecieron procesos de desaminación, especialmente bajo condiciones de baja aireación y alta humedad, generando niveles significativos de monóxido de carbono (hasta 0.45 mg/g de sustrato en los primeros cinco días). Además, encontraron que la acumulación de CO estaba correlacionada con picos de actividad microbiana y con zonas del reactor donde el oxígeno era insuficiente. Estos hallazgos sugieren que el CO puede generarse como subproducto secundario en compostajes mal gestionados, especialmente cuando se trabaja con materiales con una alta carga orgánica nitrogenada, reforzando la necesidad de control riguroso en la formulación de la mezcla y las condiciones del proceso.

Apaza Palacios (2022), en su estudio realizado en la ciudad de La Paz, Bolivia, evaluó la biodegradación de residuos orgánicos urbanos mediante el compostaje, aplicando diferentes frecuencias de oxigenación con el objetivo de optimizar la eficiencia del proceso. Su investigación evidenció durante la etapa termófila del compostaje, la intensa actividad microbiana provoca un incremento del pH, alcanzando valores alcalinos, producto de la descomposición de proteínas y la liberación de compuestos amoniacales, como el amoníaco. Estos resultados indicaron que una correcta aireación no solo mejora la tasa de descomposición, sino que también influye en la regulación del pH y la retención de nitrógeno, lo cual es clave para evitar emisiones de gases como el amoníaco (NH_3), que pueden convertirse en precursores de óxidos de nitrógeno (NO_x) en el ambiente. Además, destacó que valores de pH superiores a

8 pueden provocar una pérdida de nitrógeno por volatilización, reduciendo la calidad del compost y potencialmente incrementando emisiones gaseosas contaminantes.

Benítez Arellano, X. (2022), en su investigación titulada “Dinámica de reproducción de *Eisenia fetida* L. alimentada con compost de estiércol equino y de estiércol bovino”, realizada en la Universidad Autónoma del Estado de México, evaluó la influencia del déficit de humedad durante el compostaje en la actividad microbiana y la calidad del compost como enmienda orgánica, dentro del proceso de descomposición de residuos orgánicos. Aunque el enfoque principal del estudio fue la reproducción de *Eisenia fetida* como bioindicador, los resultados permitieron evidenciar que una baja disponibilidad de humedad durante la etapa de zarandeo reduce la actividad microbiana responsable de la degradación aeróbica, lo cual puede alterar el equilibrio del proceso, disminuir la eficiencia de transformación del residuo y favorecer condiciones anaerobias localizadas, potencialmente generadoras de gases de efecto invernadero como el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). Asimismo, se concluyó que el control adecuado de la humedad es un factor determinante no solo para lograr una descomposición eficiente, sino también para asegurar un compost estabilizado, con menor riesgo de emisiones gaseosas y mayor capacidad de aporte al suelo.

Cai, L., Liu, Z., y Li, W. (2022) llevaron a cabo el estudio titulado “Emission patterns and control of CO and other gases during aerobic composting of kitchen waste”, con el propósito de identificar los patrones de emisión de monóxido de carbono (CO) y otros gases en procesos de compostaje aeróbico de residuos de cocina. La investigación, realizada en China, monitoreó las emisiones gaseosas bajo distintas condiciones de aireación, revelando que la generación de CO es significativa durante los primeros días del proceso, coincidiendo con la mayor actividad microbiana y la degradación rápida de materia orgánica fácilmente biodegradable. Se observó que en zonas con deficiente oxigenación o donde se formaban gradientes inestables de oxígeno, el CO se acumulaba en mayor proporción, incluso en sistemas aeróbicos, lo cual sugiere la presencia de microambientes anaerobios transitorios. Estos hallazgos subrayan la necesidad de asegurar una aireación uniforme en la masa compostada para evitar la formación de gases reductores como el CO, que pueden alterar el equilibrio del proceso y representar riesgos ambientales.

Paredes, C., Martínez, C., y Moral, R. (2022), en la Universidad Miguel Hernández de Elche (España), evaluaron los parámetros físicos, químicos y biológicos como indicadores de calidad del compost, con énfasis en su influencia sobre la eficacia del producto como enmienda orgánica. Determinaron que una porosidad superior al 60% y una densidad aparente equilibrada

son esenciales para asegurar una correcta aireación y retención de humedad, condiciones fundamentales para mantener la actividad microbiana durante la maduración del compost. Su estudio destaca que un compost con estructura física inadecuada limita su aplicabilidad en campo y reduce su valor agronómico.

García Rández et al., (2022) en su investigación titulada “Evaluación de los Gases de Efecto Invernadero en el Compostaje de Alperujo y de la Inmovilización de Carbono en su Aplicación al Suelo” se llevó a cabo en la Planta de Agrocompostaje de Sant Mateu, ubicada en la provincia de Castellón, Comunidad Valenciana, España, tiene como objetivo analizar los flujos de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos en diferentes mezclas de co-compostaje a escala industrial, utilizando diferentes agentes estructurantes como fuentes de carbono (C) y nitrógeno (N) con el fin de encontrar los parámetros óptimos que aporten a minimizar su formación, de esta manera maximizando el beneficio que nos pueda dar el compostaje. La metodología empleada fue monitorizar la emisión de GEIs en 18 procesos de co-compostaje con diferentes estiércoles y estructurantes a escala industrial en la planta de agrocompostaje Sant Mateu. Se utilizaron 6 bloques de estudio en tres pilas cada uno en relación con el tipo de fuente de nitrógeno utilizado; estiércol de monogástricos, rumiantes y bioestabilizado procedente de plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos. En cada bloque se utilizaron diferentes estructurantes; hojuela de almazara, poda urbana y estructurante mixto (mezcla de hojuela de almazara y poda urbana proporción 1:1). Los resultados mostraron que los agentes de carga indujeron efectos bajos en la dinámica de las emisiones de GEI, algunos de ellos como la hoja de olivo favoreciendo al aumento de emisión de CO₂ y las fuentes de N afectaron significativamente a las emisiones de N₂O.

Naushin Y. et, al., (2022), en la investigación “Emisión de gases de efecto invernadero (GEI) durante el compostaje y el vermicompostaje: Medición, mitigación y perspectivas”(análisis bibliográfico), refiere que la emisión de estos gases podría mitigarse proporcionando una buena aireación, un adecuado contenido de humedad, y un control de temperatura, en su investigación detalla que estas emisiones dependen de la temperatura en sistemas abiertos como cerrados que se adoptan para el proceso de compostaje, las concentraciones de CH₄ y NH₃ son altas en temperaturas de 40°C a 50°C, respecto a la humedad refieren que, el aumento del contenido de humedad de la materia prima del 43% al 66% genera un aumento de la producción de CH₄, y para la aireación, los estudios refieren que la emisión de CH₄ se produce principalmente en bolsas anaerobias, indicando que hay zonas en el proceso de composta que están insuficientemente aireadas.

Oshins, Michel, Louis, Richard y Rynk (2022), en el manual técnico *The Composting Handbook*, profundizan en los principios bioquímicos del compostaje, destacando que el mantenimiento de un pH entre 6.5 y 8.5 es fundamental para garantizar una adecuada actividad microbiana durante la degradación de residuos orgánicos. Según los autores, valores de pH que se acercan o superan el límite superior de ese rango pueden favorecer la volatilización del amoníaco, especialmente en presencia de altas temperaturas y baja humedad, incrementando así el riesgo de emisiones gaseosas nocivas. Además, explican que el equilibrio del pH no solo es vital para el desarrollo del consorcio microbiano, sino también para minimizar las pérdidas de nitrógeno y mejorar la calidad final del compost como enmienda orgánica. Esta relación entre pH, temperatura, humedad y actividad microbiana es crítica para el control de las emisiones gaseosas del proceso, en especial aquellas vinculadas con el ciclo del nitrógeno, como el NH_3 y el N_2O , considerados gases de efecto invernadero indirectos por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).

Sahar, A., Zhang, Z., y Chen, Y. (2022) llevaron a cabo el estudio “Evaluation of gaseous emissions and microbial succession during composting under different aeration strategies” en China, con el objetivo de evaluar cómo diferentes estrategias de aireación afectan la emisión de gases y la sucesión microbiana durante el compostaje de residuos de cocina y jardín. En sus ensayos, identificaron que sistemas con aireación discontinua o deficiente presentaron acumulación de monóxido de carbono (CO), con picos superiores a 900 mg/m^3 en los primeros 3 días del proceso, en comparación con menos de 300 mg/m^3 en condiciones de aireación continua. Además, observaron que las emisiones de metano (CH_4) y óxidos de nitrógeno (N_2O) también se incrementaron bajo condiciones de oxigenación limitada, con valores de hasta $1.2 \text{ g CH}_4/\text{kg MS}$ y $0.35 \text{ g N}_2\text{O}/\text{kg MS}$, respectivamente. El estudio resaltó que estas condiciones no solo afectan la eficiencia del proceso, sino también la sucesión microbiana beneficiosa, retrasando la aparición de comunidades mesófilas clave. Los autores concluyen que la implementación de aireación continua desde las fases iniciales es crítica para evitar acumulaciones de gases intermedios como el CO y reducir las emisiones globales del sistema.

Sánchez-Rodríguez, L., Medina-Rodríguez, M., y Guerra, G. (2022) llevaron a cabo el estudio titulado “ CO_2 emissions as a biological indicator of compost stability in open windrow systems”, en el que analizaron sistemas de compostaje en pilas volteadas al aire libre en condiciones tropicales, en República Dominicana. Su objetivo fue evaluar la utilidad de las emisiones de dióxido de carbono como indicador del grado de estabilidad biológica del compost. Los resultados mostraron que los picos de emisión de CO_2 se concentran en las primeras fases del proceso, coincidiendo con la máxima actividad microbiana y la

descomposición acelerada de la fracción fácilmente biodegradable. A medida que el proceso avanza y disminuye la disponibilidad de sustratos, las emisiones de CO₂ también disminuyen, lo cual refleja una menor actividad biológica y una estabilización del material. Este comportamiento validó el uso del CO₂ como un indicador indirecto pero eficaz para monitorear la evolución y madurez del compost en sistemas abiertos.

Zhou, Y., Selvam, A., y Wong, J. W. C. (2022) desarrollaron el estudio titulado “Influence of substrate composition on the C/N ratio, greenhouse gas emissions and maturity during composting”, con el objetivo de evaluar cómo la composición del sustrato influye en la relación C/N, las emisiones de gases de efecto invernadero y la madurez del compost. La investigación fue realizada en Hong Kong y consistió en compostajes con distintas formulaciones de residuos orgánicos, variando el contenido de carbono y nitrógeno. Los resultados evidenciaron que las mezclas con relaciones C/N iniciales más bajas presentaron una estabilización más rápida del material y una reducción significativa en las emisiones de metano y óxido nitroso. Asimismo, se observó que estas condiciones favorecieron una mayor eficiencia del proceso al reducir los tiempos de maduración y minimizar el impacto ambiental.

Bernal, M. P., Paredes, C., y Moral, R. (2021) llevaron a cabo su investigación titulada “Compost quality standards for agricultural use: Physicochemical and biological indicators” en el Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, España, con el propósito de establecer estándares de calidad del compost destinado al uso agrícola, empleando indicadores fisicoquímicos y biológicos. Uno de los parámetros clave fue la densidad aparente, encontrando que valores entre 0.4 y 0.9 g/cm³ garantizan una estructura física adecuada que favorece la aireación, la retención hídrica y la manejabilidad. Compost con densidades por debajo o por encima de este rango mostraron deficiencias como compactación excesiva o baja porosidad, lo que repercute negativamente en la estabilidad del producto y su funcionalidad agrícola.

Liang, C., Das, K. C., y McClendon, R. W. (2021) desarrollaron el estudio “The influence of temperature and aeration rate on greenhouse gas emissions during composting” en Estados Unidos, con el propósito de investigar cómo las tasas de aireación y las temperaturas afectan la emisión de gases durante el compostaje de residuos orgánicos. Empleando un sistema controlado de compostaje en laboratorio, observaron que tasas de aireación menores a 0.18 L/min/kg de materia seca condujeron a concentraciones elevadas de CO₂ (hasta 7500 mg C/kg MS/día) y CO (por encima de 1200 mg/kg MS/día) durante los primeros cinco días del proceso. Asimismo, cuando la temperatura superó los 55°C en combinación con baja aireación, las emisiones de CH₄ se incrementaron significativamente, alcanzando hasta 420 mg CH₄/kg MS/día. Estos datos revelan que la aireación limitada en la etapa inicial no solo ralentiza la

estabilización del compost, sino que también fomenta procesos de fermentación anaerobia parcial, incrementando la huella gaseosa del sistema.

Martínez-Blanco, J., Muñoz, P., y Antón, A. (2021) realizaron un estudio en España titulado “Carbon to nitrogen ratio as a key indicator in composting systems” con el objetivo de evaluar la relación carbono/nitrógeno (C/N) como un indicador clave en la eficiencia del compostaje, analizando múltiples experiencias europeas de tratamiento de residuos orgánicos. Determinaron que, cuando la mezcla inicial de residuos presenta una formulación adecuada, la relación C/N disminuye gradualmente a medida que avanza el proceso, principalmente por la mineralización del carbono. Sin embargo, también señalaron que esta disminución tiende a ser estable, sin variaciones bruscas, lo cual refleja un proceso controlado, aeróbico y eficiente. Los resultados destacan que una relación C/N final cercana a 15 es indicativa de un compost maduro, estable y seguro para uso agrícola, además de asociarse con menores emisiones gaseosas durante el proceso.

Awasthi, M. K., Wang, Q., Pandey, A. y Chen, H. (2020), en su investigación titulada “Greenhouse gas emissions during composting and mitigation strategies: Recent advances and future perspectives”, realizada en China, analizaron el comportamiento de las emisiones de gases de efecto invernadero durante el proceso de compostaje, con énfasis en estrategias de mitigación. El estudio identificó que una disminución acelerada de la relación carbono/nitrógeno (C/N) está directamente asociada con un incremento en la tasa de emisión de dióxido de carbono (CO₂), resultado del metabolismo intensivo de los microorganismos aeróbicos, especialmente en las primeras fases del proceso. Esta relación evidencia que valores bajos de C/N pueden actuar como indicadores del comportamiento gaseoso del sistema, reflejando una alta actividad microbiana y potenciales emisiones significativas si no se controlan adecuadamente los factores fisicoquímicos como la aireación y la humedad. Además, los autores sugieren que la relación C/N no solo debe usarse como parámetro de madurez del compost, sino también como herramienta predictiva en la gestión de emisiones.

Feijoo y Villacreses (2020) llevaron a cabo un estudio en la ciudad de Machala, provincia de El Oro (Ecuador), centrado en la producción de metano a través de la codigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos combinados con biomasa. En su investigación, identificaron que el bagazo de caña de azúcar fue el sustrato más eficiente, generando porcentajes elevados de CH₄: 80,85 % en estado seco, 91,39 % en estado semisecho y hasta 96,06 % tras un pretratamiento de humedecimiento por 24 horas. Este pretratamiento permitió un aumento del 15 % en la producción de metano, posicionando al bagazo como una fuente rica en carbono. En comparación, otros residuos como la cáscara de papa (35,64 % CH₄), de arveja

(16,13 % CH₄), y combinaciones como cáscara de papa con bagazo (58,74 % CH₄) mostraron rendimientos menores. Por otro lado, residuos como la cáscara de papaya (1,64 % CH₄), piña (0,11 % CH₄), banano (0,39 % CH₄) y haba (0,76 % CH₄) presentaron bajos niveles de generación de metano.

Jindo, K., Sánchez-Monedero, M. A., Hernández, T., García, C., Furukawa, T., Matsumoto, K., y Sonoki, T. (2020) desarrollaron el estudio titulado “Composting process optimization based on carbon/nitrogen ratio and carbon biodegradability”, con el objetivo de optimizar el proceso de compostaje mediante el ajuste de la relación carbono/nitrógeno y la biodegradabilidad del carbono. La investigación se realizó en condiciones controladas en España, evaluando diferentes mezclas de residuos orgánicos y su evolución durante la descomposición. Encontraron que una relación C/N inferior a 15 indica que gran parte del carbono ha sido degradado por la actividad microbiana aeróbica, transformándose en dióxido de carbono, mientras que el nitrógeno se estabiliza en formas como amonio o compuestos orgánicos complejos. Además, determinaron que la eficiencia del compostaje está directamente relacionada con la fracción de carbono fácilmente biodegradable, ya que esta impulsa la actividad microbiana en las primeras etapas del proceso, reduciendo el tiempo de maduración y minimizando las emisiones indeseadas.

Wei, Y., Zhao, Y., Wang, H. y Lu, Q. (2020), en su investigación titulada “Influence of aeration frequency on gas emissions and compost quality during the composting of dairy manure”, llevada a cabo en instalaciones agrícolas en la provincia de Shandong, China, evaluaron cómo distintas frecuencias de volteo influían en las emisiones gaseosas y en la calidad del compost generado a partir de estiércol bovino. Su objetivo fue identificar prácticas de manejo que optimicen el equilibrio entre eficiencia del proceso y reducción de impactos ambientales. Determinaron que una frecuencia de volteo de una vez cada dos días redujo significativamente las emisiones acumuladas de gases como dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno en comparación con volteos semanales. Específicamente, las emisiones de CH₄ disminuyeron de 1.8 g/kg a 0.4 g/kg, y las de N₂O de 0.52 g/kg a 0.16 g/kg con un régimen de volteo más frecuente. Además, se mejoró la tasa de descomposición y la estabilidad del producto final. Concluyeron que este comportamiento gaseoso es común en las fases iniciales del compostaje, pero puede corregirse técnicamente mediante ajustes en la frecuencia de volteo, el tamaño de partícula y la humedad inicial, lo cual favorece un proceso más eficiente y ambientalmente seguro.

Molina Durango y Oviedo Zumaque (2019), en una investigación aplicada al contexto agropecuario del departamento de Sucre, Colombia, evaluaron la eficacia de un consorcio de

microorganismos celulolíticos y amilolíticos durante el compostaje de residuos agropecuarios. Los resultados mostraron que el uso de estos consorcios microbianos aceleró la descomposición de la materia orgánica, especialmente en la etapa termófila, donde la temperatura elevada favoreció la acción de microorganismos especializados en la degradación de compuestos complejos. Durante esta fase, se registró un aumento significativo del pH debido a la transformación del nitrógeno orgánico en amoníaco, generando condiciones alcalinas que, si no se controlan adecuadamente, pueden dar lugar a pérdidas por volatilización. Este fenómeno, además de disminuir el contenido nutricional del compost, representa una fuente potencial de gases de efecto invernadero indirectos, como el óxido nitroso (N_2O), producto de procesos posteriores de nitrificación y desnitrificación en el suelo.

2.1.2. Nacional

Vélez Chang, D. J. (2022), en su tesis titulada “Propuesta de mitigación de impacto ambiental en los mercados de la ciudad de Huacho por compostaje de sus residuos orgánicos”, desarrollada en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión (Huacho, Perú), planteó una alternativa sostenible para reducir el impacto ambiental generado por los residuos orgánicos de los mercados de la ciudad, mediante la implementación de un sistema de compostaje adecuado. La investigación evaluó los procesos operativos del compostaje, identificando deficiencias como la exposición directa de las pilas al ambiente, escaso control de humedad y oxigenación, así como la falta de volteos regulares. Estos factores se asociaron a una reducción de la actividad microbiana aerobia, lo cual afecta la eficiencia del proceso de descomposición de la materia orgánica. Aunque el estudio no cuantificó directamente emisiones de gases, se concluye que estas condiciones desfavorables pueden inducir zonas anaerobias, que propician la generación de gases de efecto invernadero como el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), debido al desequilibrio en la fase final del compostaje.

Alcalde Alvarado, (2021) en su investigación titulada “Evaluación de las técnicas de compostaje para la producción de compost a partir de residuos orgánicos” se llevó a cabo en Trujillo, Perú. Tiene por objetivo evaluar las principales técnicas que muestran mayor efectividad en la producción del compost a partir de residuos orgánicos, y los objetivos específicos evaluar la calidad de compost obtenido en función al tipo de residuos orgánico utilizado. La investigación tuvo un diseño no experimental. Su metodología consistió en la revisión sistemática de 42 artículos de acceso libre obtenidos de las bases de datos Scielo, Scopus, Dialnet, Ebsco, Science Direct que fueron seleccionados usando palabras claves y criterios de inclusión. Los resultados muestran que la técnica más empleada fue la técnica pilas con volteo manual, los residuos más empleados fueron de origen agropecuario; el pH (7,5-

7,98), H^o (35- 60%), T^o (20-35°c), MO (20-65%) y C/N (20-30%) son rangos óptimos, los cuales se produjeron en tiempos menores de 20 semanas. Se concluye que el tipo de residuo y la técnica empleada están asociadas a la eficiencia de producción y en los parámetros de obtención de un compost de calidad, maduro y estable.

Dume et al., (2021), en su estudio “Emisiones de dióxido de Carbono y Metano durante el compostaje y Vermicompostaje de Lodos de Depuradora bajo el efecto de Diferentes Proporciones de Pellets de Paja” ubicado en Cachique, Ica, Perú, menciona que se diseñaron cuatro tratamientos, mezclando los lodos de depuradora iniciales con proporciones variables de paja de trigo granulada (0, 25%, 50% y 75% (p/p). El experimento se llevó a cabo durante 60 días y se utilizó *Eisenia andrei* para el vermicompostaje. Los resultados revelaron que la proporción de mezcla influía en las emisiones de CO₂ (F =36,1, p = 0,000) y CH₄(E= 73,9, p = 0,000) durante el compostaje y en las de CO₂ (F= 13,8, p = 0,000) y CH₄ (F= 4,5, p=0,004) durante el vermicompostaje. El vermicompostaje redujo significativamente las emisiones de CH₄, en un 18-38%, mientras que las de CO, aumentaron en un 64-89%. El agente mezclador (paja de trigo granulada) redujo las emisiones de CO₂; en un 60-70% y las de CH₄ en un 30-80% en comparación con el control (0%). El balance de masas indicó que durante el compostaje se perdió entre el 5,5 y el 10,4% del carbono, mientras que la liberación de metano supuso entre el 0,34 y el 1,69%, y la de CO₂; entre el 2,3 y el 8,65%. Sin embargo, en el vermicompostaje se perdió entre el 8,98 y el 13,7% del carbono, con una liberación de metano del 0,1-0,6% y de CO₂ del 5,0-11,6% del carbono, La pérdida de carbono fue de 3,3-3,5% más en el vermicompostaje que en el compostaje. Este estudio demostró que, en función del gas objetivo que se desee reducir, el compostaje y el vermicompostaje, así como un agente de mezcla (paja de trigo granulada), podrían ser una opción para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (es decir, CH₄ , CO₂).

Villafuerte (2021), en su estudio titulado “Influencia de los gases de metano en la seguridad industrial y el ambiente del trabajador en la planta de compostaje/vermicompost en el ex fundo Oquendo del Callao, Perú”, evaluó la concentración de metano durante distintas actividades operativas en una planta de tratamiento de residuos orgánicos. Los resultados evidenciaron que la mayor emisión de metano se produjo durante la etapa de remoción de pilas, alcanzando los 338,4 mg/m³, lo que sugiere que el movimiento del material favorece la liberación de gases. En la etapa de descarga se registraron concentraciones de 3,27 mg/m³, atribuibles a las condiciones anaerobias generadas por el alto contenido de humedad de los residuos, que favorecen el desarrollo de microorganismos metanogénicos.

Durante la fase de segregación se reportaron niveles de $1,96 \text{ mg/m}^3$, mientras que en la operación de mezcla se alcanzaron $1,31 \text{ mg/m}^3$. En cuanto a la formación de pilas, se obtuvo una concentración de $0,6 \text{ mg/m}^3$. En etapas posteriores del proceso, como el pesaje y empacado, se cuantificaron $207,97 \text{ mg/m}^3$, en almacenamiento $78,84 \text{ mg/m}^3$, y durante el tamizado $56,9 \text{ mg/m}^3$. Estos valores demuestran que ciertas operaciones específicas —especialmente aquellas que implican manipulación o agitación del material— tienden a liberar mayores cantidades de gas metano, lo cual representa un riesgo potencial tanto ambiental como para la salud ocupacional del personal involucrado

Aguilar Cava & Cubas Bravo (2020), en su tesis “Efectividad del compost mediante métodos de pilas dinámicas y compostera giratoria, obtenidas de los residuos orgánicos de la Universidad Peruana Unión”, realizada en Lima, Perú, evaluaron el compostaje de residuos orgánicos (gallinaza y estiércol bovino) con métodos de pilas dinámicas y composteras giratorias, midiendo parámetros como temperatura y humedad (valores entre 46–49 %) durante 75 días . Aunque no se enfocaron directamente en gases, indican que humedades inferiores al 35 % en etapas finales inhiben la recolonización mesófila, condición crítica para la fase de maduración y cierre del ciclo de descomposición orgánica. Este déficit no solo afecta la estabilización microbiana, sino que también puede propiciar zonas anaerobias localizadas, que en condiciones similares a las descritas por Aguilar Cava & Cubas Bravo favorecen la generación potencial de gases de efecto invernadero como metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). El estudio sugiere que métodos que mantienen una humedad mayor (como la compostera giratoria) resultan más efectivos, no solo para lograr un compost maduro, sino también para contener emisiones indirectas al evitar procesos anaerobios

Pillco (2020) desarrolló un estudio titulado “Evaluación del proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces”, ejecutado en la Universidad Nacional del Altiplano (UNAP), en Puno, Perú. Su objetivo principal fue analizar el tiempo de descomposición, la granulometría, la temperatura, el pH y la calidad del compost resultante mediante la aplicación de microorganismos eficaces (EM). La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Ecología de la Facultad de Ciencias Biológicas entre diciembre de 2018 y marzo de 2019. La evaluación del tiempo de descomposición se basó en métodos organolépticos, mientras que el análisis de la granulometría se realizó utilizando cribas para obtener partículas menores a 1,5 mm. La temperatura fue monitoreada con un termómetro tipo espiga de la marca Hanna, y el pH se determinó mediante el método potenciométrico. Para

evaluar la calidad del compost, se realizaron análisis en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias.

El diseño experimental fue completamente al azar con tres tratamientos y tres repeticiones cada uno. El tratamiento T1 incluyó residuos orgánicos domésticos al 100% más 200 ml de EM; el T2 combinó 50% de residuos domésticos, 50% de estiércol ovino y 200 ml de EM; y el T3 consistió en 40% de residuos domésticos, 30% de estiércol ovino, 30% de tallos de cañihua y 200 ml de EM. Para el análisis estadístico se aplicó ANOVA y la prueba de Tukey al 5% de significancia, utilizando el software InfoStat.

Los resultados indicaron que el tiempo de descomposición fue de 61 días para T1, 52 días para T2 y 75 días para T3. En cuanto a la granulometría, todos los tratamientos mostraron entre 85,7% y 90,6% de partículas menores a 1,5 mm. Las temperaturas promedio fueron de 25,58 °C (T1), 27,63 °C (T2) y 25,78 °C (T3); y los valores de pH fueron 7,05, 7,7 y 7,6, respectivamente, con diferencias significativas únicamente en el pH ($P < 0,05$). Según los estándares de calidad del compost establecidos por la Norma Chilena 2880 (2005), la OMS, la EPA, la Norma Técnica Colombiana 5167 y Bioagro (2011), los tres tratamientos se encuentran dentro de los parámetros recomendados, salvo en el contenido de fósforo y potasio, cuyos valores resultaron inferiores ($P < 0,05$). El estudio concluye que los diferentes sustratos utilizados influyen significativamente en el proceso de compostaje, y que la adición de EM favorece la mejora en la calidad del compost final

2.1.3. Local

Espinoza (2023), en su trabajo titulado “Concentración de CH₄, CO₂, H₂S y CO emitidos por los canales pluviales de la ciudad de Tingo María, Huánuco – 2022”, se propuso identificar los niveles de concentración de gases como metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S) y monóxido de carbono (CO) en distintos canales pluviales de la ciudad, específicamente en Aguas Verdes, Quebrada del Águila, Dos Amigos y Qushuro. Para ello, se delimitaron 12 puntos de muestreo distribuidos en tres turnos horarios de mañana (7:00 a 9:30 a.m.), tarde (1:00 a 3:30 p.m.) y noche (6:00 a 8:30 p.m.), considerando factores ambientales como presencia de animales, residuos, actividades comerciales, infraestructura educativa, y existencia de olores desagradables o descargas de aguas residuales.

Las mediciones se llevaron a cabo mediante un detector portátil multigás modelo GX-6000, complementándose con una encuesta de percepción aplicada a la población vecina. El análisis reveló que el canal Qushuro presentó las mayores concentraciones de CH₄ (925,9 ppm), H₂S (1,4 ppm) y CO₂ (31,1 ppm), mientras que el valor más alto de CO (3,6 ppm) fue registrado en el canal Aguas Verdes. Asimismo, la opinión de los pobladores indicó una percepción

“regular” respecto a la calidad del aire en su entorno, atribuyendo la emisión de olores desagradables al uso inadecuado de los canales, los cuales son frecuentemente empleados como puntos de disposición de residuos sólidos y aguas residuales doméstica.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Atmosfera

La atmosfera es una delgada capa que rodea al planeta tierra, en ella residen la variedad de gases que son fundamentales para el desarrollo de las condiciones que favorecen la vida . La composición química de la atmosfera incluye en su mayoría solo dos gases, nitrógeno (N) representando un aproximado de 79% y oxígeno (O₂) representado un aproximado de un 20%; el 1% restante está constituido por diversos gases como el argón (Ar), dióxido de carbono (CO₂) (Schlesinger & Bernhardt, 2020).

La mayor densidad de gases se concentra cerca de la superficie terrestre, esto debido a la atracción gravitacional del planeta, esto sucede en los primeros 50 km, donde podemos distinguir la troposfera y la estratósfera. En la estratósfera reside la capa de ozono que filtra las luces ultravioletas (Lucas et al., 2019).

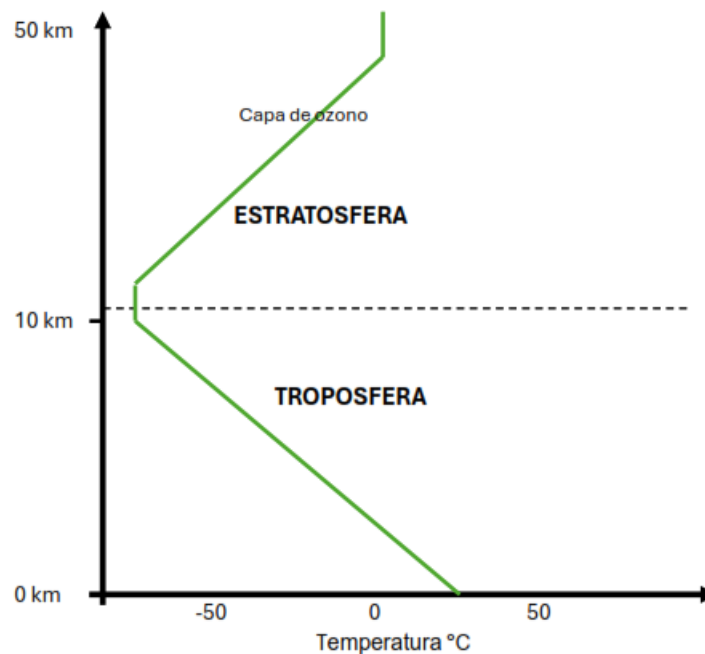


Figura 1. Estructura térmica de la troposfera y estratósfera

Fuente: (Caballero, 2007)

2.2.2. Efecto invernadero

El efecto invernadero es la forma en la que los rayos solares son absorbidos por el planeta tierra, esto debido a que la atmósfera actúa como un filtro radiactivo, dejando pasar a los rayos solares y en consecuencia es absorbida por el planeta y demás componentes, emitiendo radiación terrestre que es absorbida por la atmósfera y las nubes (Caballero et al., 2007). Las diferentes capas atmosféricas van absorbiendo y calentándose y remitiendo radiación térmica procedente de abajo, como resultado la atmósfera superficial es cálida y se va enfriando conforme se eleva a través de ella (Georgieva & Veretenenko, 2023)

Del total de luz solar que nos llega al planeta, el 30% es reflejada hacia el espacio, el 20% es retenido por la atmósfera y el 50% es absorbida por la superficie terrestres, provocando que se caliente, en consecuencia, transforma la luz solar en radiación de baja energía que refleja nuevamente hacia la atmósfera y puede ser absorbida por los gases como el CO₂ siendo la principal fuente de calor en la atmósfera (Hashimoto, 2019).

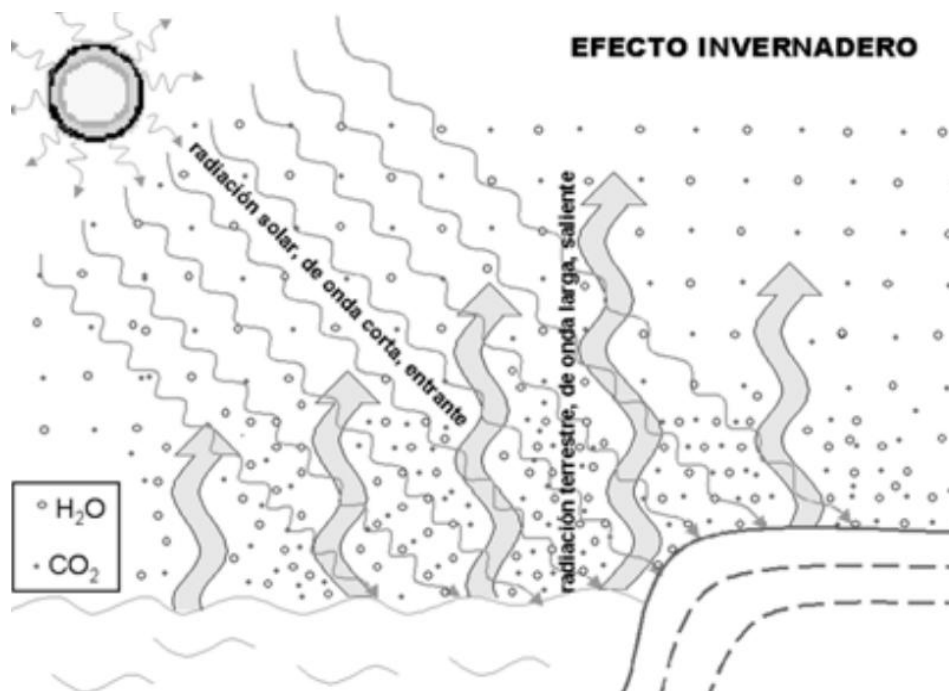


Figura 2. Efecto invernadero

Fuente: (Pedraza 2018.)

2.2.3. Gases de efecto invernadero

El término “gases de efecto invernadero” tiene un origen espectroscópico, debido a que un gas de efecto invernadero es aquel absorbe radiación infrarroja en la región del espectro electromagnético en la que el planeta es la fuente de radiación infrarroja. El planeta se encuentra en equilibrio dinámico, es decir que recibe radiación ultravioleta y visible del sol y emite

radiación infrarroja; para esto, la radiación recibida debe ser igual a la radiación emitida. Durante miles de años, la absorción de parte de la radiación infrarroja emitida por las moléculas de la atmósfera terrestre (principalmente CO_2 , O_3 , CH_4 y H_2O) ha impedido que esta radiación escapara de la atmósfera terrestre (al igual que ocurre en un invernadero de jardín) (Tuckett, 2019).

2.2.3.1. Dióxido de carbono (CO_2)

El dióxido de carbono es uno de los gases de efecto invernadero. Consta de un átomo de carbono con un átomo de oxígeno unido a cada lado. En cuanto sus átomos se unen fuertemente la molécula de dióxido de carbono puede absorber radiación infrarroja y la molécula empieza a vibrar. Con el tiempo, la molécula vibrante volverá a emitir la radiación de nuevo, y probablemente será absorbida por otra molécula de gas de efecto invernadero. Este ciclo de absorción-emisión-absorción sirve para mantener el calor cerca de la superficie del frío del espacio (Ali, 2021). El dióxido de carbono (CO_2) y otros gases de efecto invernadero actúan como una manta la radiación infrarroja (IR) e impiden que salga al espacio exterior. El efecto neto es el calentamiento constante de la atmósfera y la superficie de la Tierra, y este proceso se denomina calentamiento global (Mikhaylov et al., 2020).

2.2.3.2. Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono (CO) es un gas presente en la atmósfera, juega un papel importante en los ciclos del radical hidroxilo (OH), radical hidropéroxilo (HO_2) y del ozono (García Raurich et al., 2023). Las mayores fuentes de emisión del monóxido de carbono son la quema de combustibles fósiles, la quema de biomasa y la oxidación de CH_4 (Guirola Fuentes et al., 2019); el monóxido de carbono no es considerado un gas de efecto invernadero, sin embargo, es considerado un gas de efecto invernadero indirecto, debido a que afecta a las concentraciones de CO_2 y CH_4 (Liu et al., 2021).

2.2.3.3. Metano (CH_4) LEL

Es el responsable de aproximadamente el 20% de los gases de efecto invernadero, es producido por la quema de la biomasa, descomposición de residuos orgánicos o es emitida de forma natural por plátanos (Trespacios et al., 2018). Alrededor del 60% del metano emitido mundialmente proviene de fuentes antropogénicas como la ganadería, cultivos de arroz o combustión de combustibles fósiles. Desde el 2007 las emisiones de metano por fuentes antropogénicas no han dejado de aumentar, llegando a alcanzar un 262% en el 2020 a nivel preindustrial (OMM, 2021).

LEL por sus abreviaturas en inglés “Lower Explosive Limit”, se define como la concentración más baja (en porcentaje) de un gas o vapor en el aire que es capaz de producir una llamarada de fuego en presencia de una fuente de ignición. Las concentraciones inferiores al Límite Inferior de Explosividad son "demasiado pobres" para arder; las superiores al Límite Superior de Explosividad (LSE) son demasiado ricas para arder (Luo et al., 2018). Por otro lado, el UEL por sus siglas en inglés “Upper Explosive Limit”, que es el límite superior de

explosividad, es la concentración más alta de un gas que puede producir una llamarada en presencia de una fuente de ignición.

Tabla 1. Límite inferior de explosividad del gas de interés

| Gas | LEL | UEL |
|---------------------------|-------------|-------------|
| Metano (CH ₄) | 5 % volumen | 15% volumen |

2.2.4. Compostaje

Es la transformación aerobia de la materia orgánica utilizando diferentes organismos como agentes microbianos, hongos y lombrices con el objetivo de acelerar el proceso de descomposición de los residuos orgánicos obteniendo un producto estable de excelente calidad biológica y química que sirve como fertilizante (Bohórquez, 2019).

2.2.4.1. Importancia del compostaje

El compostaje es una técnica fácil y sencilla que aprovecha los residuos orgánicos o biodegradables que generalmente son desechados como estiércol, cascaras de huevo, cascaras de vegetales, etc. La forma de abono compuesto del compost es una idea bienvenida en la actualidad debido a la reciente campaña contra el uso de fertilizantes sintéticos, además, el compost ayuda a mejorar la fertilidad del suelo y el rendimiento de las plantas. El producto final se puede utilizar a escala individual como municipal, por las cuales muchas municipalidades cuentan con planes de aprovechamiento de residuos orgánicos mediante el (Ayilara et al., 2020).

El compostaje implica el tratamiento de desechos orgánicos directamente o de los residuos sólidos resultantes de la digestión anaeróbica de los desechos orgánicos. Este proceso reduce la cantidad total de residuos mediante una descomposición bioquímica anaeróbica, generando enmiendas para el suelo que pueden utilizarse en actividades agrícolas o de jardinería. (Nordahl et al., 2023).

2.2.4.2. Relación carbono nitrógeno

El carbono y el nitrógeno son los factores más importantes que intervienen en la descomposición microbiana, siendo generalmente 15C a 1N la proporción correcta. Una mayor relación C/N o tasa de aireación provocó menores emisiones de CH₄, N₂O y H₂S (Li et al., 2022).

Si la relación de C/N es mayor a 40, la actividad microbiana disminuye haciendo que deben oxidar el exceso de carbono haciendo que la disponibilidad de N sea deficiente y en consecuencia la velocidad de descomposición de los residuos disminuya (Paccini Sánchez, 2019). En la práctica, se suele considerar que el compost es estable cuando la relación C/N es menor a 20, haciendo que el compostaje se realice con mayor rapidez, pero se desprende como amoníaco el exceso de N, y aunque esta pérdida no afecta a la calidad del compost, supone un derroche que afecta al medio ambiente, ya que el amoníaco es un gas importante en el efecto invernadero (Mejía Hidalgo & Ramos Romero, 2019).

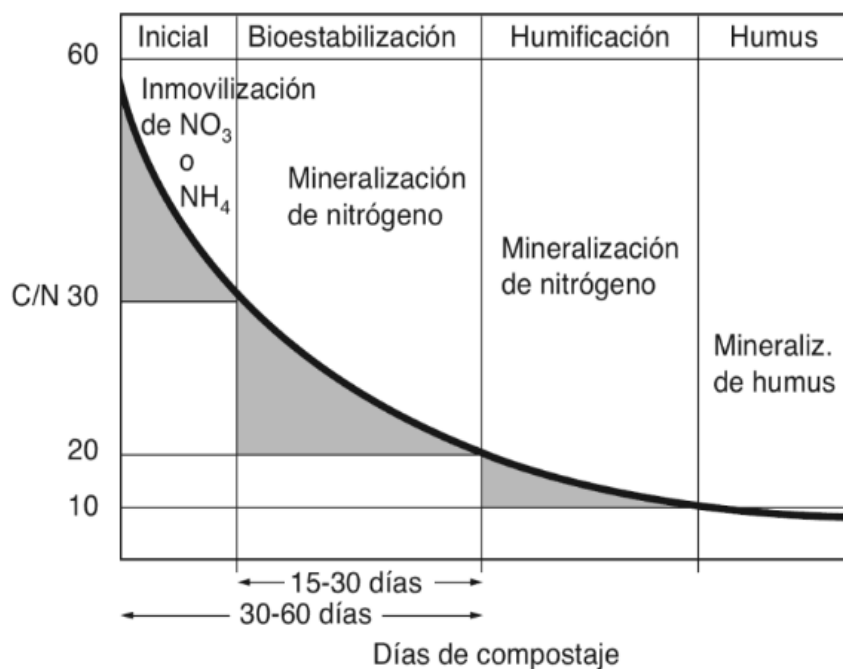


Figura 3. Evolución de la relación C/N durante el proceso de compostaje

Fuente: (Rivero., 2014)

2.2.4.3. Proceso de compostaje

Durante compostaje se produce una liberación temporal de fitotoxinas (metabolitos intermediarios, amoníaco, etc). Al final del proceso, esta fitotoxicidad se supera por completo y el producto final es beneficioso para el crecimiento de las plantas (Pastor Fernández, 2019).

El proceso exotérmico produce energía en forma de calor, lo que se traduce en un aumento de la temperatura en la masa. Por lo tanto, un proceso espontáneo pasa por una fase termófila, que va precedida y seguida de dos fases mesófilas

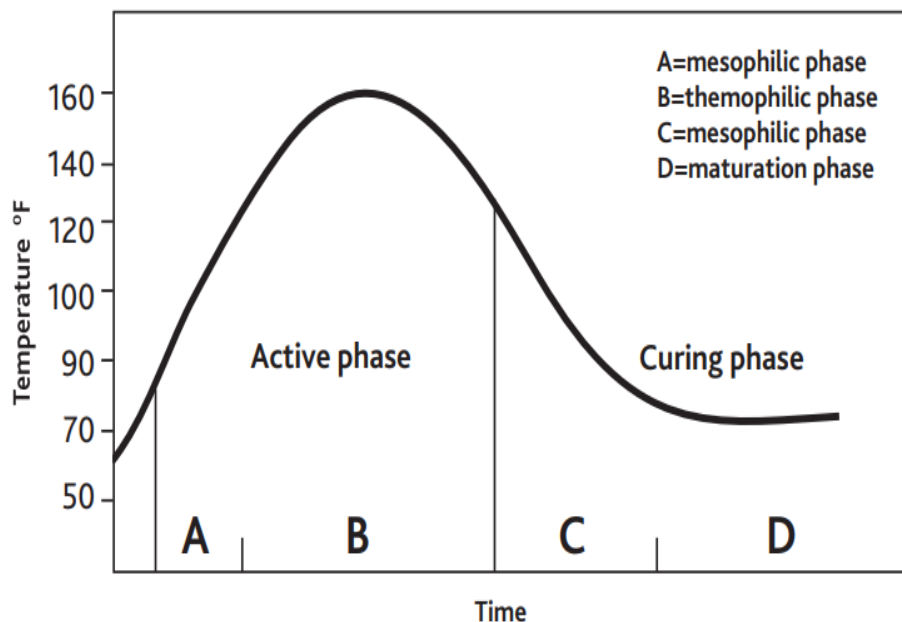


Figura 4. Temperatura en las diferentes fases del compostaje

Fuente: (Chen et al., 2011)

2.2.4.4. Fase mesófila

El compostaje se inicia a temperatura ambiente, pero en poco tiempo la actividad microbiana eleva la temperatura hasta aproximadamente 45 °C, producto de la descomposición de compuestos orgánicos como azúcares, lo que genera ácidos orgánicos y reduce el pH a valores cercanos a 4,0 o 4,5. Esta fase termófila puede durar entre dos y ocho días (Lal Meena et al., 2021). Sin embargo, en la fase mesófila inicial, temperaturas cercanas a 46 °C y pH menores a 6 pueden inhibir la actividad microbiana, retrasando la transición a la etapa termófila (Mena Torres, 2023)

2.2.4.5. Fase termófila

En esta fase, aumentan exclusivamente termotolerantes y termófilos como actinomicetos, *Bacillus sp* y bacterias de gram negativa como *Thermus* y *Hydrogenobacter*. Durante esta fase el O₂ debe reponerse mediante la aireación pasiva o forzada, lo que usualmente es voltear las pilas de compost. Se debe tener cuidado con las temperaturas elevadas (>160 °F), por que en estas temperaturas incluso los microorganismos termófilos pueden morir por exceso de calor (Maza, 2023).

2.2.4.6. Fase mesófila II

La segunda fase mesófila empieza cuando la actividad de los organismos termófilos empieza a decaer al igual que la temperatura, debido a agotamiento de sustratos. Aquí es donde los organismos mesófilos empiezan a recolonizar el sustrato, ya sea a partir de esporas supervivientes, o por incubación externa. Mientras que en la fase inicial dominan los organismos con capacidad para degradar azúcares, oligosacáridos y proteínas, la segunda fase mesófila se caracteriza por un número creciente de organismos que degradan almidón o celulosa. Entre ellos se encuentran tanto bacterias como hongos (Aguilar Cava & Cubas Bravo, 2020)

2.2.4.7. Factores que intervienen en el compost

– Temperatura

El control térmico es clave en el compostaje, ya que la temperatura influye directamente en la descomposición de la materia orgánica por la acción microbiana. Los microorganismos mesófilos actúan eficazmente entre 15 y 40 °C, mientras que los termófilos lo hacen entre 40 y 70 °C. Una temperatura sostenida favorece tanto la velocidad de degradación como la higienización del compost (Vélez Chang, 2022). Además, las variaciones térmicas dentro de las pilas regulan las reacciones bioquímicas, impactando el metabolismo y la dinámica de las poblaciones microbianas (Benítez Arellano, 2022).

– Humedad

La presencia de humedad en el compostaje es indispensable para el desarrollo y actividad de los microorganismos, debido a que el agua es el medio de transporte de las sustancias que sirven como alimento. La humedad adecuada para el proceso de compostaje va a depender de naturaleza, compactación y textura de los materiales en la pila, es decir, los materiales más fibrosos y finos retienen más humedad. En caso de que la humedad sea mayor de la necesaria, produce un desplazamiento de aire entre las partículas de materia orgánica, en consecuencia, el medio se vuelve anaerobio, favoreciendo el metabolismo fermentativo. Todo lo contrario, si la humedad es menor a la necesaria, disminuye la actividad biológica, y la descomposición se ralentiza (Oshins et al., 2022).

– pH

El nivel de acidez (pH) señala el progreso del proceso. Inicialmente, el pH puede disminuir debido a la generación de ácidos libres, pero conforme avanza el proceso, aumenta debido al amoníaco liberado durante la descomposición de proteínas. Durante la fase mesófila, el pH disminuye debido a la actividad microbiana sobre la materia orgánica. El pH del producto

final debe variar de 7 a 8; valores más bajos indican que la pila de compostaje no tuvo la aireación adecuada e indicando que esta inmadura (Apaza Palacios, 2022).

En la fase termófila se produce un aumento de pH, debido a la generación de amoníaco a partir de la descomposición de las proteínas y en la tercera fase, la fase mesófila II el pH tiende a la neutralidad a consecuencia de la formación de los compuestos húmicos (Molina Durango & Oviedo Zumaque, 2019).

2.2.5. Etapas del proceso de composta en la Planta de valorización de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado.

2.2.5.1. Recepción, pesado y picado

En esta fase inicial, los residuos orgánicos provenientes de viviendas y mercados son recibidos y pesados para su control y registro. Posteriormente, se procede al picado de los materiales, lo que facilita una descomposición más rápida y homogénea durante las etapas posteriores del compostaje. (Aguirre Illatopa, J. (2023).

2.2.5.2. Termófila

Durante esta etapa, el compost alcanza temperaturas elevadas debido a la actividad microbiológica intensa, lo que favorece la descomposición de la materia orgánica y la eliminación de patógenos. Es crucial mantener una adecuada aireación y volteo de las pilas para asegurar un proceso eficiente y evitar condiciones anaeróbicas que puedan generar malos olores. (Aguirre Illatopa, J. (2023).

2.2.5.3. Oreado

En esta fase, el compost es aireado periódicamente para mantener niveles óptimos de oxígeno, lo que favorece la actividad de microorganismos aeróbicos y previene la formación de compuestos indeseables. El oreado también ayuda a regular la temperatura y la humedad del compost, asegurando su maduración adecuada. . (Aguirre Illatopa, J. (2023).

2.2.5.4. Zarandeo, pesaje y encostado

Una vez alcanzada la madurez del compost, se procede al zarandeo para separar partículas no descompuestas. Posteriormente, el compost es pesado y empacado en sacos de 30 kg, listos para su distribución a los agricultores de la provincia. Este proceso asegura que el producto final cumpla con los estándares de calidad establecidos y esté listo para su uso agrícola. . (Aguirre Illatopa, J. (2023).

2.3. Decreto Supremo N° 015-2005-SA

Tiene el objetivo de prevenir riesgos ocupacionales por exposición a sustancias químicas; por un lado, permite actualizar la variedad de sustancias químicas utilizadas en el

Perú, y por el otro lado, presenta un listado donde muestran sus valores tolerables. Esta norma se rige a nivel nacional en todos los ambientes de trabajos donde se utilicen agentes o sustancias químicas que puedan representar un riesgo para la salud de los trabajadores (D.S N° 105-2005-SA Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el ambiente de trabajo, 2005).

2.3.1. Media ponderada en el Tiempo (TWA)

Es la concentración del agente químico en la zona de respiración del trabajador medida o calculada de forma ponderada con respecto al tiempo que generalmente es 8 horas. La TWA se puede calcular matemáticamente de la siguiente manera (D.S N° 105-2005-SA Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el ambiente de trabajo, 2005).

$$TWA = \frac{\sum Ci * Ti}{8} \quad (1)$$

Donde:

Ci : Concentración ienésima

Ti : Tiempo de exposición asociadas al valor de Ci

2.3.2. Exposición de corta duración (STEL)

El STEL (Short-Term Exposure Limit) corresponde a la concentración de un agente químico presente en la zona de respiración del trabajador, determinada o estimada durante un intervalo de 15 minutos dentro de la jornada laboral. Este valor es empleado para evaluar exposiciones breves a sustancias específicas, tomando muestras representativas de ese lapso temporal para cada agente químico evaluado (Decreto Supremo N.º 105-2005-SA, sobre Valores Límite Permisibles en ambientes laborales, 2005)..

Tabla 2. Valores Limite Ambiental de los gases de interés del D.S.N°105-2005-SA.

| Agente Químico | Valor Límite Ambiental | |
|---------------------------------------|------------------------|-------|
| | TWA | STEL |
| Metano (CH ₄) | - | - |
| Dióxido de Carbono (CO ₂) | 5000 ppm | 30000 |
| Monóxido de carbono (CO) | 25 ppm | - |

Fuente: (D.S. N° 105-2005-SA, 2005)

2.4. Límites de Exposición profesional para agentes químicos

Estos son valores de referencia para la evaluación, control y monitoreo de los riesgos inherentes a la exposición, principalmente por inhalación, a los agentes químicos que se encuentran en los puestos de trabajo con la finalidad de proteger la salud de los trabajadores (INSST, 2021).

2.4.1. Exposición diaria (ED)

Es la concentración promedio del agente químico en la zona de respiración del trabajador, calculada de forma ponderada con respecto al tiempo, tomando en cuenta la jornada laboral real, es decir 8 horas(INSST, 2021).

2.4.2. Exposición en corta duración (EC)

Es la concentración promedio del agente químico en la zona de respiración del trabajador, calculada para cualquier período de 15 minutos a lo largo de la jornada laboral(INSST, 2021).

Los valores límites ambientales de los gases de interés se presenta la tabla 2:

Tabla 3. Valores Limite Ambiental de los gases de interés del INSST.

| Agente Químico | Valor Límite Ambiental | |
|---------------------------------------|------------------------|---------|
| | ED | EC |
| Metano (CH ₄) | 1000 ppm | - |
| Dióxido de Carbono (CO ₂) | 5000 ppm | - |
| Monóxido de carbono (CO) | 25 ppm | 100 ppm |

Fuente: (INSST, 2021)

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se realizó en la planta de valorización de residuos orgánicos de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado (MPLP), ubicado en el caserío Shapajilla, ubicado aproximadamente a 10km de la ciudad de Tingo María, Distrito de Luyando, Provincia de Leoncio Prado.

3.1.1. Ubicación política de la zona de estudio

Departamento : Huánuco
Provincia : Leoncio Prado
Distrito : Luyando

3.1.2. Ubicación geográfica de la zona de estudio

Este : 391822 m
Norte : 8981638 m
Altitud : 625 m.s.n.m.

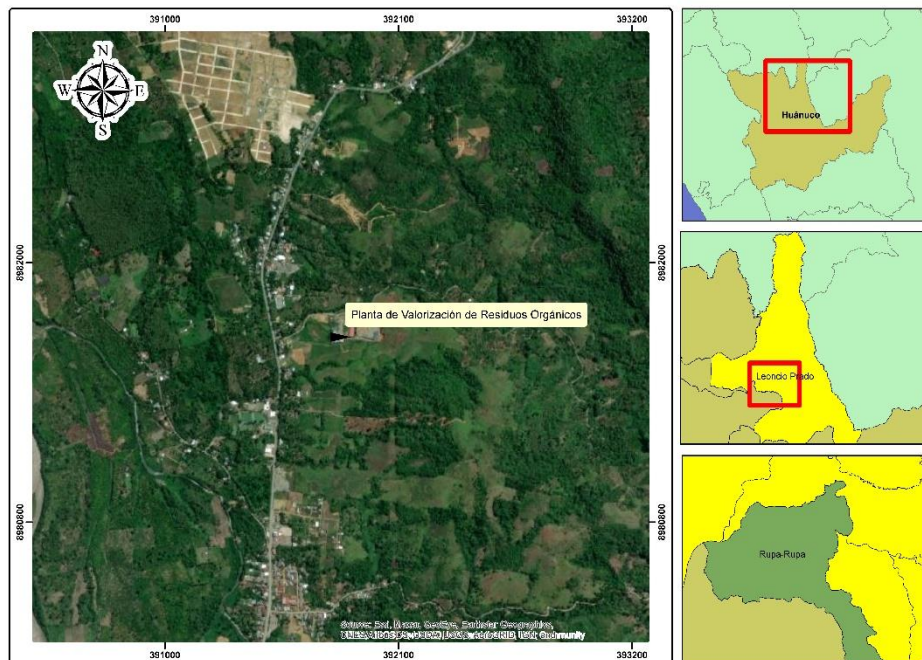


Figura 5. Mapa de ubicación de la planta de valorización de Residuos Orgánicos de la MPLP.

3.2. Material y equipos

3.2.1. Materiales

Cuaderno de apuntes, guardapolvo, mascarilla KN95, guantes de latex, marcador indeleble, etiquetas, registro de mediciones, útiles de oficina, botas de jebe, toalla o papel absorbente.

3.2.2. Equipos

Detector portátil multi gas RKI modelo GX- 6000, termómetro digital tipo termocupla K (K-Type), estufa, multiparámetro JOKE 717, computadora HP i7, cámara fotográfica, balanza para determinar humedad WISD WBA-110M.

3.2.3. Software

ArcGIS, Microsoft Excel, Microsoft Word.

3.3. Criterio y Análisis de Estudio

3.3.1. Nivel de Investigación

El enfoque de la investigación es de tipo descriptivo, ya que su propósito central es identificar y caracterizar la emisión de gases de efecto invernadero generados durante el proceso de compostaje de residuos orgánicos municipales. Además, se orienta a cuantificar e interpretar los parámetros fisicoquímicos presentes a lo largo de las distintas fases del compostaje (Hernández & Mendoza, 2019)

3.3.2. Tipo de Investigación

Es aplicada porque se basa en la aplicación de conocimientos previamente desarrollados, en el presente trabajo se usó el conocimiento científico existente sobre las ciencias biológicas y químicas en la producción de gases de efecto invernadero generados en el proceso de compostaje, con la finalidad de plantear soluciones que nos permita reducir su generación

3.3.3. Métodos de investigación

La investigación corresponde al método de investigación observacional, donde se analizará las diferentes concentraciones de gases de efecto invernadero que presenta el compost durante toda su elaboración, asimismo se medirán los principales parámetros fisicoquímicos; y se demostrará si se encuentran en el intervalo de la normativa correspondiente.

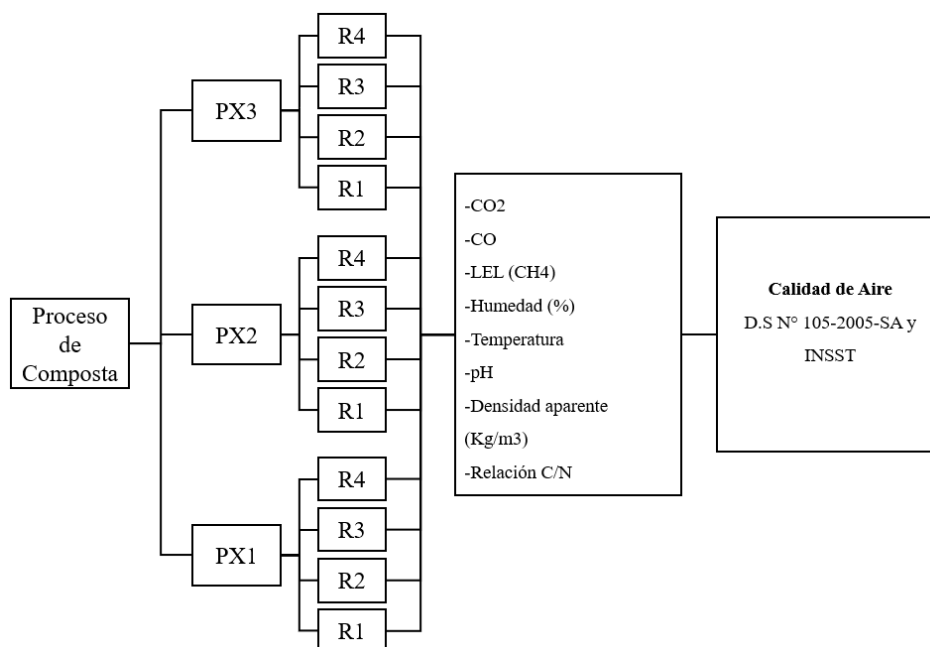
3.3.4. Operacionalización de Variables

Tabla 2. Operacionalización de Variables

| Variable | Definición Conceptual | Definición operacional | Dimensión | Indicadores |
|--|---|--|--|--|
| X | | | | |
| Gases de Efecto Invernadero | Los gases de efecto invernadero son sustancias gaseosas en la atmósfera que, debido a sus propiedades físicas y químicas, retienen parte de la radiación solar y contribuyen al fenómeno conocido como efecto invernadero, sin embargo, el aumento de la concentración de gases, como el dióxido de carbono (CO ₂), el metano (CH ₄) contribuyendo al calentamiento global. | Las mediciones de Gases como el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO ₂), el metano (CH ₄) se realizaron mediante un explosímetro GX-6000 durante un intervalo de tiempo de 5-10 minutos | Características Físicoquímicas | CO ₂ CO LEL (CH ₄) |
| Y | | | | |
| Proceso de Compostaje a partir de Residuos orgánicos | El compost, obtenido a partir de residuos orgánicos, se refiere a un producto natural y enriquecido, generado mediante un proceso de descomposición biológica controlada. Este proceso implica la descomposición de materiales orgánicos, como restos de alimentos y desechos vegetales, mediante la acción de microorganismos, resultando en un material final rico en nutrientes que puede ser utilizado como abono para mejorar la calidad del suelo y fomentar el crecimiento de plantas. | Se identificaron las pilas de compost de estudio, desde la etapa inicial de elaboración del compost, hasta su parte final, para ello se tomaron muestras de 1 kg y se caracterizó en el laboratorio de calidad de suelos de la UNAS y los resultados se compararon con la Norma Técnica Peruana 201.208 2021 | Características físicoquímicas del compost | Humedad (%) pH Densidad aparente (Kg/m ³) Relación C/N Temperatura |

3.3.5. Diseño de Investigación

El diseño de investigación de este proyecto corresponde al tipo no experimental, teniendo como categoría transeccional o transversal que conlleva a tener un diseño de investigación Descriptiva, ya que se recolectarán los datos en un determinado tiempo.



Nota: [PX1]: Pila en Fase Mesófila; [PX2]: Pila en Fase Termófila; [PX3]: Pila en Fase Mesófila II; [Rn]: Repetición número "n"

Figura 6. Diseño metodológico de investigación

3.3.6. Población y muestra

La población de estudio estuvo conformada por un total de 10 pilas de compostaje activas dentro de la planta de valorización de la MPLP. Para la selección de la muestra se aplicó un muestreo no probabilístico de tipo intencional, eligiéndose un total de 5 pilas representativas distribuidas a lo largo de las diferentes etapas del proceso de compostaje.

La muestra quedó conformada de la siguiente manera:

- **1 pila del área de recepción, pesado y picado**, que representa la etapa inicial del tratamiento de residuos orgánicos.
- **2 pilas del área termófila**, correspondientes a la fase de mayor actividad biológica y generación de calor.
- **1 pila del área de oreado**, que representa la etapa de estabilización del compost.
- **1 pila del área de zarandeo, pesaje y encostado**, correspondiente a la fase final del proceso antes de su disposición o uso.

Esta selección permitió obtener una visión integral del comportamiento de los gases en las distintas fases del compostaje dentro de la planta.

3.3.7. Análisis Estadístico

Para hallar el análisis de variancia (F. tab. = 0.01 y 0.05) se utilizó el software Microsoft Office Excel. Asimismo, el mismo software sirvió para hallar las diferencias entre las medias obtenidas en estudio en las diferentes evaluaciones realizadas, mediante la prueba de Tuckey ($\alpha= 0.05$).

Tabla 3. Esquema del análisis de varianza.

| Niveles | Suma de Cuadrados | Grados de libertad | Media Cuadrática | F Cal. |
|------------------|-------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Entre grupos | SC_{inter} | $I-1$ | $MC_{inter}=SC_{inter}/(I-1)$ | MC_{inter}/MC_{intra} |
| Dentro de grupos | SC_{intra} | $N-I$ | $MC_{intra}=SC_{intra}/(N-1)$ | |
| Total | SC_{total} | $N-1$ | | |

$$CV = \frac{\sqrt{CMe}}{Y} \quad (2)$$

Donde:

CV : Coeficiente de variabilidad.

CMe : Cuadrado medio del error.

Y... : Promedio total de los tratamientos.

3.3.8. Técnicas e instrumentos de Investigación

Como técnica se aplicó la observación no experimental y análisis documentario; los instrumentos de recolección de datos que se utilizaron en el estudio fueron, registro de pilas de estudio, registro de monitoreo de Gases en cada Pila, registro Físicoquímico en cada Pila de estudio, e información complementaria como ubicación geográfica, la fecha y duración del monitoreo y las observaciones que presenten.

3.3.9. Análisis de Datos

Se emplearon estadísticos descriptivos como medidas de tendencia Central, diagramas de barras, donde se tiene como límite permisible la Concentración de Gases según la norma DS-15-2005-SA y INSST, con la finalidad de determinar si las Pilas de compostaje emiten Concentraciones de CO, CO₂, CH₄ (LEL) que superan los límites establecidos y si este afecta de manera significativa a la Calidad del aire donde los trabajadores desempeñan sus actividades.

Para analizar los datos que presentan las propiedades fisicoquímicas del compost, se empleó diagramas de tendencia, con el objetivo de identificar las diferentes etapas de elaboración del compost, de igual manera se utilizaron los estadísticos descriptivos y fueron comparados con la Norma Técnica Peruana 201.208 2021.

3.4. Metodología

3.4.1. Determinación de la humedad, temperatura, pH, densidad aparente y la relación C/N en el proceso de compostaje.

Para la determinación de las variables fisicoquímicas humedad, temperatura y pH, se procedió a la recolección de datos in situ, el presente estudio se realizó sobre un conjunto de 5 pilas de composta, seleccionadas de un total de 10 disponibles, siguiendo un criterio de representatividad por etapa del proceso. Para cada una de las pilas muestreadas, se efectuaron mediciones de parámetros fisicoquímicos y emisiones de gases en 4 puntos estratégicamente distribuidos, garantizando así una evaluación integral de las condiciones del material en compostaje. La distribución de las pilas evaluadas comprendió: 1 pila en el área de recepción, 2 pilas en el área termófila, 1 pila en el área de oreado, y 1 pila en el área de zarandeo. Esta selección permitió obtener datos representativos de cada fase crítica del proceso de compostaje, asegurando la validez técnica de los resultados obtenidos. El diseño muestral adoptado consideró tanto la variabilidad espacial dentro de cada pila como la diversidad de condiciones propias de cada etapa del proceso.

La medición de la temperatura se efectuó de manera diaria en todos los puntos representativos de las pilas, utilizando un termómetro digital tipo termocupla K (K-Type), instrumento adecuado para registrar variaciones térmicas en medios orgánicos en descomposición.

En cuanto al análisis de pH y humedad, se extrajeron muestras compuestas de 1 kg por punto de muestreo, realizando esta actividad dos veces por semana en un periodo de tres meses. Las muestras fueron trasladadas en condiciones controladas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología, donde se llevó a cabo su caracterización mediante procedimientos normalizados. Todas las acciones operativas y logísticas correspondientes a esta fase fueron supervisadas por el responsable técnico de la planta de valorización orgánica, el Ing. Abdiel Martín Calixto.

Tabla 4. Medición de parámetros en el horario de 11:00 am – 13:00 pm

| Parámetros | Unidad | Mínimo | Máximo | Promedio | Coefficiente de Variación | Límite NTP |
|------------|--------|--------|--------|----------|---------------------------|------------|
| Humedad | % | | | | | 35%<H<50% |
| T | °C | | | | | |
| pH | 1:1 | | | | | 6.5 a 8.5 |

3.4.1.1. Humedad (%)

Para la determinación del contenido de humedad, se empleó el método gravimétrico de secado en estufa, conforme a procedimientos estándar. Inicialmente, se registró el peso del papel filtro, utilizado como soporte, mediante una balanza analítica debidamente calibrada. A continuación, se taró el equipo y se colocó sobre el mismo una muestra representativa de 100 gramos de compost fresco, registrándose este valor como peso fresco sin el peso del papel (PFsp). Posteriormente, la muestra fue rotulada y transferida a una estufa de secado con temperatura controlada a $105\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ durante un periodo continuo de 24 horas. Transcurrido dicho tiempo, la muestra fue retirada del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente utilizando guantes de protección para evitar la alteración por humedad ambiente. Una vez estabilizada térmicamente, se procedió a registrar el peso de la muestra seca restando el peso del papel (PSsp). El porcentaje de humedad (%H) fue determinado aplicando la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{PFsp - PSsp}{PFsp} \quad (3)$$

Donde:

PFsp : Peso fresco sin el peso del papel

PSsp : Peso seco menos el peso del papel

PFsp : Peso final sin el peso del papel

3.4.1.2. pH

Para la determinación del pH, se utilizó una muestra representativa de 20 gramos de compost, la cual fue diluida en 40 mililitros de agua destilada, respetando una relación 1:2 (m/v), en un vaso precipitado de 250 ml. Esta dilución permitió estabilizar el medio y obtener lecturas representativas del potencial hidrógeno de la matriz orgánica en proceso de descomposición. Cada muestra fue agitada manualmente con una varilla de vidrio de 10 cm

durante 5 minutos, asegurando una homogenización adecuada. Seguidamente, se procedió a la medición del pH utilizando un equipo multiparamétrico previamente calibrado. Para cada medición, la sonda del equipo fue enjuagada con agua destilada entre muestras para evitar contaminaciones cruzadas. Finalmente, se registró la lectura correspondiente.

3.4.1.3. Densidad Aparente

Para la determinación de la densidad aparente del compost se empleó el método volumétrico utilizando una probeta graduada con capacidad de 250 ml. En primera instancia, se registró el peso en vacío de la probeta utilizando una balanza digital de precisión. Posteriormente, se adicionaron 50 gramos de muestra de compost, realizando compactaciones controladas mediante golpes suaves y repetitivos, con el objetivo de simular la disposición real del material en las pilas. Una vez estabilizado el contenido, se registró el volumen ocupado por la muestra en la probeta y se procedió al cálculo de la densidad aparente, proyectando el resultado para un metro cúbico de material. El valor se expresó en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3), aplicando la siguiente ecuación:

$$\rho_a = \frac{M}{V} \quad (4)$$

Donde:

ρ_a : densidad aparente en Kg/m^3

M : masa en kilogramos de la muestra de compost

V : volumen de muestra de compost equivalente a un metro cúbico.

3.4.1.4. Relación Carbono/Nitrógeno

Las muestras para la relación carbono/nitrógeno (C/N) de las pilas de composta fueron trasladadas y determinadas en condiciones controladas en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología, donde se llevó a cabo su caracterización mediante procedimientos normalizados. Ver resultados en Anexos.

Adicionalmente, se generaron gráficos de series temporales que representaron el comportamiento del pH junto con otras variables fisicoquímicas, como la temperatura y la humedad, durante todo el proceso de compostaje, en el turno de la mañana. Asimismo, variables como la densidad aparente y la relación C/N fueron analizadas ex situ, con una frecuencia de una vez por semana, en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología, aplicando los procedimientos establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP 201.208:2021 para su posterior comparación con los rangos normativos de calidad de compost.

Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos según NTP 201.208 2021.

| Parámetro | Unidad de medida | Límite máximo permisible | Valor |
|-------------------|------------------|---------------------------|-------|
| Humedad | % | 35%<H<50% | |
| Temperatura | °C | | |
| pH | Valor pH | 6.5-8.5 | |
| Densidad Aparente | | 550-850 kg/m ³ | |
| Relación C/N | | 25:1-35:1 | |

3.4.2. Determinación de las concentraciones de CO₂, CO y CH₄ en el ambiente de las etapas del proceso de compostaje.

3.4.2.1. Identificar la Zona de Estudio y Clasificar las pilas de compost

La zona de estudio fue en la planta de compostaje ubicado en Santa rosa de Shapajilla, donde se disponen los residuos orgánicos municipales de la provincia Leoncio Prado, para la clasificación de las pilas de compost, objeto de estudio, se contabilizo el número de pilas existentes, donde se midió el largo, ancho y alto de cada pila de compost seleccionada, se codifico, y redacto observaciones en la ficha de registro.

Tabla 6. Resumen de pilas Registradas

| Nº | Código de Pila | Largo (m) | Ancho (m) | Alto (m) | Observación |
|----|----------------|-----------|-----------|----------|--|
| 1 | P1 | 12.5 | 10 | 3.5 | La pila lleva acopiada un mes (área de recepción) |
| 2 | P2 | 11.4 | 5 | 2.4 | La pila lleva acopiada 3 semanas (área de recepción) |
| 3 | P3 | 8.8 | 6 | 3 | La pila lleva acopiada 2 semanas mes (área de recepción) |
| 4 | P4 | 8.1 | 5 | 3 | La pila lleva acopiada 2 semanas (área de recepción) |
| 5 | P5 | 8.5 | 4.5 | 3 | Área de Zarandeo-Encostalado |

3.4.2.2. Determinación de las concentraciones de CO₂, CO, CH₄

Para determinar las concentraciones de gases como el CO₂, CO y CH₄, se realizó in situ con el Monitor de Gases portátil GX-6000 con una duración de 2 minutos (o hasta que la lectura del Gas se estabilice), teniendo en cuenta los procedimientos de Operación y Medición, la toma de datos de los gases se realizó diariamente en el turno mañana en horario de (11-1:00 pm), en el proceso de elaboración del compostaje, que abarcan el área de recepción, pesado y picado; área termófila; área de oreado; área de zarandeo, pesado y encostado, la medición se ejecutó por tres meses, y los puntos de medición a tomar en la pila se realizó haciendo referencia a la rosa de vientos (símbolo que señala los 4 puntos cardinales; Norte, Sur, Este y Oeste).

El monitoreo de gases se realizó en los siguientes pasos:

a) Preparación del equipo

Se realiza la verificación del equipo, confirmando que se encuentra calibrado, y se conecta la sonda al equipo, acoplados a un filtro adicional para evitar el ingreso de humedad, y una botella de 1L cortado a la mitad, para la medición de los gases en cada punto de muestreo de la pila de composta.

b) Ubicación de los puntos de muestreo

Se retira 30cm de capa de composta con ayuda de una pala, y se realiza la instalación del equipo en el punto respectivo.

c) Encendido del equipo Detector de Gases GX-6000

Se mantiene presionado durante 3 segundos, hasta escuchar un sonido, y se procede a visualizar la interfaz de los gases a medir.

d) Medición de gases

Se coloca la botella en el punto de medición, asegurando que este en contacto directo con la composta.

e) Registro de datos

Se registra la lectura de los gases de CO, CH₄, y CO₂, por cada punto de muestreo de la pila de composta.

f) Finalización de la medición

Después de la lectura, se mantiene presionado el botón AIR para configurar la lectura en cero, y continuar con las mediciones respectivamente, finalmente se presiona el botón de apagado.

g) Conversión del metano (CH₄) LEL a ppm

Debido a que las mediciones del metano se obtuvieron en unidades de LEL (%) se trabajó con el umbral LEL de 5%, donde consta de multiplicar 0,05 por la medición inicial, luego para calcular a ppm se tuvo en consideración que 10000 ppm es igual a 1% (Umbral 5%), se utilizó la siguiente formula.

$$CH_4ppm = (VCH_4 (LEL) * 0.05) * 10000 \quad (5)$$

Donde:

VCH₄ : Valor del metano (LEL %)

3.4.2.3. Cumplimiento de la concentración de los gases con los límites de exposición profesional para agentes químicos del D.S N° 105-2005-SA y INSST en el proceso de composta.

Tabla 7. Concentración de GEIs en el turno mañana.

| Parámetros | Unidad | Mínimo | Máximo | Promedio | Coefficiente de Variación | Límite Permisible (TWA) |
|-----------------|--------|--------|--------|----------|---------------------------|-------------------------|
| CO | ppm | | | | | 25 |
| CO ₂ | ppm | | | | | 5 000 |
| CH ₄ | ppm | | | | | 1000 |

Asimismo, se representó mediante gráficos de series temporales el comportamiento de los Gases diariamente, durante todo el proceso de elaboración del compost en dicho horario.

3.4.3. Propuesta de estrategias que mejoren el manejo de gases emanados en el proceso de composta.

Para las propuestas de estrategias dirigidas a mejorar el manejo de gases emanados en el proceso de compostaje, se realizará en base a la recopilación de datos en fuentes de información como Scielo, Scopus, Dialnet, Ebsco, Science Direct.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Determinación de la humedad, temperatura, pH, densidad aparente y la relación C/N en el proceso de compostaje.

4.1.1. Humedad (%)

En la Tabla 9 se presenta el comportamiento de la humedad promedio durante los tres meses de estudio. La media fue de 44,739 en el mes 1, disminuyó a 43,171 en el mes 2 y se elevó a 46,426 en el mes 3, evidenciándose un incremento hacia el final del proceso. La varianza aumentó progresivamente de 176,548 a 221,958 y finalmente a 460,846, lo que indicó una dispersión creciente en los valores registrados. De manera consistente, la desviación típica pasó de 13,287 a 14,898 y culminó en 21,467, reflejando una mayor heterogeneidad en la distribución de la humedad conforme avanzó el compostaje.

Tabla 8. Estadístico descriptivo de la Humedad (%) por mes de estudio.

| Estadístico de la Humedad (%) | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 |
|-------------------------------|---------|---------|---------|
| Media | 44,739 | 43,171 | 46,426 |
| Varianza (n-1) | 176,548 | 221,958 | 460,846 |
| Desviación típica (n-1) | 13,287 | 14,898 | 21,467 |

La Figura 7 evidencia una disminución significativa en el porcentaje de humedad a lo largo del proceso de compostaje, pasando de 54,585% en la etapa termófila a 23,066% en el zarandeo, lo que refleja una pérdida progresiva de agua. Cabe destacar que únicamente las etapas de recepción y oreado presentan valores dentro del rango establecido por la NTP 201.208:2021 (35%–50%). En contraste, la fase de zarandeo excede de manera crítica el límite inferior permitido, registrando un 23,066% de humedad. Esta reducción marcada podría atribuirse a un secado excesivo o a una falta de control ambiental, dado que las etapas finales del compostaje suelen estar más expuestas y, en ausencia de medidas de protección adecuadas, pierden humedad con rapidez como menciona (Nordahl et al., 2023). Es importante señalar que el proceso no contempla humedecimiento manual, sino que depende exclusivamente de la humedad generada por la descomposición natural de los residuos, lo que podría haber influido en la drástica disminución observada. El déficit de humedad en zarandeo no solo reduce la actividad microbiana necesaria para la madurez final del compost, sino que también compromete su calidad como enmienda orgánica, dificultando su incorporación y retención de nutrientes en el suelo, tal como indica (Benítez Arellano, 2022). Además, como señalan Aguilar

Cava & Cubas Bravo (2020), humedades inferiores al 35% en etapas finales pueden inhibir la recolonización mesófila, clave para cerrar el ciclo de compostaje. Así, el descenso representado gráficamente no solo ilustra un proceso natural, sino que alerta sobre una oportunidad crítica de mejora en la gestión técnica del compost.

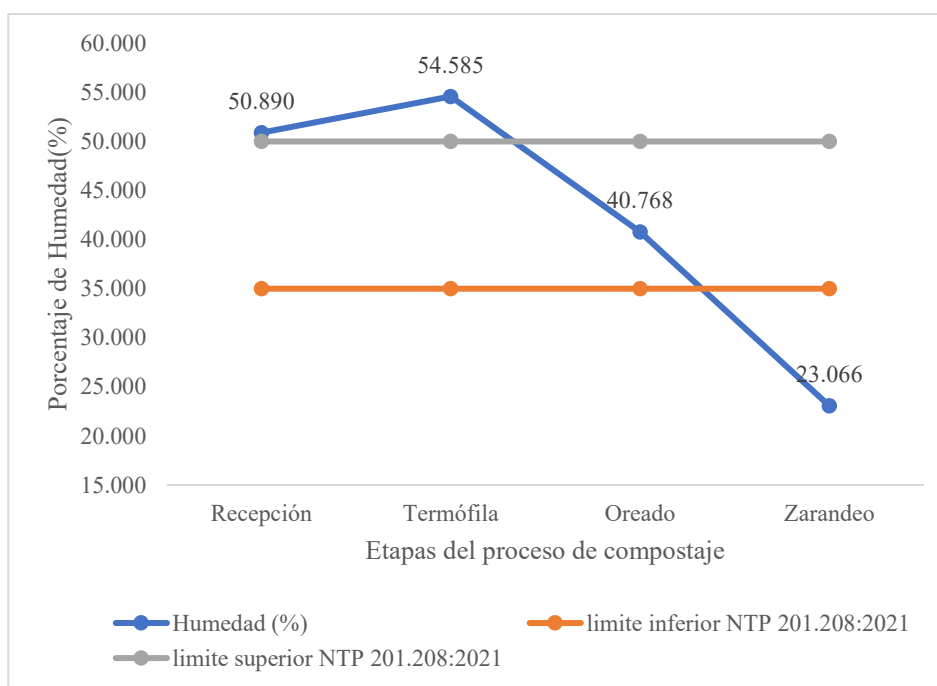


Figura 7. Porcentaje de Humedad (%) en diferentes etapas del proceso de compostaje.

La Tabla 10 presenta un análisis de varianza (ANOVA) que evalúa las diferencias en el porcentaje de humedad promedio entre las etapas del proceso de compostaje, con el objetivo de determinar si dichas variaciones son estadísticamente significativas. El análisis consideró 119 grados de libertad totales (3 para el modelo y 116 para el error), obteniendo una suma de cuadrados de 17212,528 para el modelo y 21665,087 para el error, con cuadrados medios de 5737,509 y 186,767 respectivamente. El valor F calculado fue de 30,719 y el valor p resultó ser <0.0001 , indicando una diferencia altamente significativa (***) . Estos resultados corroboran lo observado en la Figura 7, donde se evidencia una disminución progresiva de la humedad desde la etapa termófila (54,585%) hasta el zarandeo (23,066%), superando en esta última los límites recomendados por la NTP 201.208:2021. Este descenso pronunciado de humedad en etapas finales sugiere un posible secado excesivo por falta de control ambiental, comprometiendo la calidad del compost como enmienda orgánica y su funcionalidad en el suelo.

Tabla 9. Análisis de Varianza de la Humedad (%) en las diferentes etapas de composta.

| Fuente | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F | Pr > F | p-valor |
|-----------------|---------|-------------------|------------------|--------|---------|---------|
| Modelo | 3.000 | 17212.528 | 5737.509 | 30.719 | <0.0001 | *** |
| Error | 116.000 | 21665.087 | 186.767 | | | |
| Total corregido | 119.000 | 38877.615 | | | | |

La Tabla 11 presenta los resultados de la prueba de Tukey para comparar el porcentaje de humedad entre las diferentes etapas del compostaje, con el fin de identificar diferencias significativas entre ellas. Se evaluaron cuatro áreas: termófila, recepción, oreado y zarandeo, reportándose los promedios de humedad, su desviación estándar, número de repeticiones (n=24 para todas excepto la termófila con n=48), así como los valores mínimo y máximo observados. La etapa termófila presentó el mayor contenido de humedad (54,585% ± 13,445), seguida de recepción (50,890% ± 12,465), oreado (40,768% ± 13,195) y finalmente zarandeo con el valor más bajo (23,066% ± 2,012). Según la agrupación de letras asignadas por la prueba de Tukey, termófila (a) y recepción (ab) no difieren significativamente entre sí, mientras que oreado (b) y zarandeo (c) sí presentan diferencias significativas con respecto a las anteriores. Estos resultados complementan el análisis de varianza previo, confirmando que la reducción de humedad a lo largo del proceso es estadísticamente significativa, siendo especialmente crítica en las etapas finales donde los valores caen por debajo del rango óptimo para el compostaje.

Tabla 10. Prueba de Tuckey con respecto a la Humedad (%).

| Área | Humedad (%) | S (Desviación Estándar) | Repeticion | Mínimo | Máximo | Grupos |
|-----------|-------------|-------------------------|------------|--------|--------|--------|
| Termófila | 54.585 | 13.445 | 48 | 34.91 | 78.4 | a |
| Recepción | 50.890 | 12.465 | 24 | 35.08 | 70.63 | ab |
| Oreado | 40.768 | 13.195 | 24 | 29.24 | 65.04 | b |
| Zarandeo | 23.066 | 2.012 | 24 | 19.58 | 25.93 | c |

4.1.2. Temperatura

La Tabla 12 presenta los estadísticos descriptivos de la temperatura promedio (°C) registrados durante tres meses de estudio en las pilas de composta, con el objetivo de caracterizar su comportamiento térmico a lo largo del tiempo. Se muestran los valores de la media, varianza y desviación típica para cada mes. En el mes 1, la temperatura media fue de 55,013 °C con una desviación típica de 9,890 y una varianza de 97,806; en el mes 2 se observó

un ligero aumento en la media (55,665 °C) y en la desviación (10,499), con una varianza de 110,222; mientras que en el mes 3 la temperatura promedio descendió a 53,775 °C, con una desviación de 9,286 y una varianza de 86,227. Estos datos reflejan una relativa estabilidad térmica en el proceso, con ligeras fluctuaciones mensuales que podrían estar relacionadas con la dinámica microbiana y el manejo del material orgánico durante el compostaje.

Tabla 11. Estadístico descriptivo de la Temperatura (°) por mes de estudio.

| Estadístico de la Temperatura | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 |
|-------------------------------|--------|---------|--------|
| Media | 55.013 | 55.665 | 53.775 |
| Varianza (n-1) | 97.806 | 110.222 | 86.227 |
| Desviación típica (n-1) | 9.890 | 10.499 | 9.286 |

La Figura 8 muestra la evolución de la temperatura promedio (°C) a lo largo de las distintas etapas del proceso de compostaje, con el objetivo de observar su comportamiento térmico en función del avance del tratamiento. Se identifican cuatro etapas: termófila, oreado, recepción y zarandeo. La temperatura más alta se registró en la etapa termófila con 57,609 °C, seguida de oreado con 55,590 °C y recepción con 55,469 °C, manteniéndose relativamente estables entre estas tres fases. Sin embargo, en la etapa de zarandeo se observa un descenso marcado hasta los 47,811 °C, lo que representa una caída térmica significativa en la fase final del proceso de composta. Esta disminución puede estar asociada a la menor actividad microbiológica y al mayor grado de exposición ambiental en dicha etapa.

La evolución térmica representada en la Figura 8 evidencia una disminución progresiva de la temperatura promedio conforme avanza el proceso de compostaje, comenzando en la etapa termófila con 57,609 °C y descendiendo hasta 47,811 °C en la etapa de zarandeo. Esta tendencia coincide con lo descrito en la literatura, donde se establece que el compostaje atraviesa una fase termófila inicial caracterizada por una intensa actividad microbiana y generación de calor, seguida por una fase mesófila de estabilización térmica y reducción progresiva de temperatura (Maza, 2023; Aguilar Cava & Cubas Bravo, 2020). La elevada temperatura observada en la etapa termófila es indicativa de una descomposición activa de materia orgánica por parte de bacterias termófilas como *Bacillus* spp., que permiten alcanzar condiciones óptimas de sanitización del compost (Maza, 2023). Sin embargo, el descenso abrupto registrado en zarandeo puede estar relacionado con una exposición excesiva de la pila al ambiente, una menor actividad biológica o deficiencias en el volteo y control de oxigenación, factores que según Vélez Chang (2022) y Benítez Arellano (2022) pueden reducir significativamente la eficacia

del proceso. Además, temperaturas por debajo de los 50 °C, como las observadas en esta etapa final, podrían limitar la higienización del compost y dificultar la recolonización mesófila, necesaria para alcanzar su madurez completa (Aguilar Cava & Cubas Bravo, 2020). Este hallazgo refuerza la necesidad de implementar mejoras técnicas en las últimas fases del compostaje, especialmente en lo que respecta a protección ambiental, manejo térmico y frecuencia de volteo (Nordahl et al., 2023).

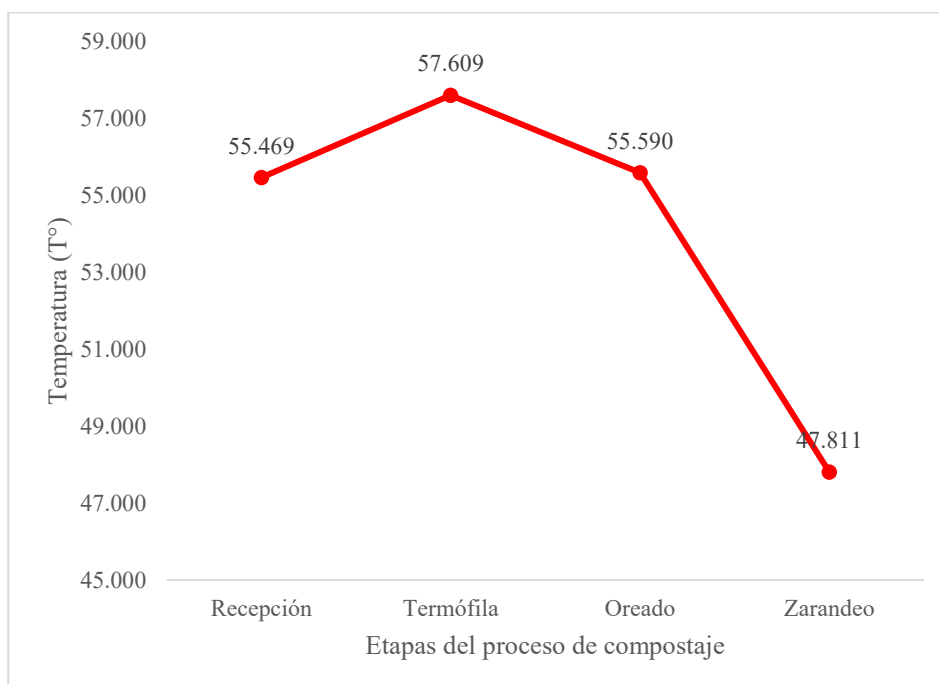


Figura 8. Temperatura (T°) promedio en diferentes etapas del proceso de compostaje.

La Tabla 13 presenta el análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de temperatura registrado en las distintas etapas del proceso de compostaje, con el objetivo de determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas. El modelo evaluado presentó 3 grados de libertad, con una suma de cuadrados de 5518,901 y un cuadrado medio de 1839,634. El error residual cuenta con 416 grados de libertad, una suma de cuadrados de 35640,609 y un cuadrado medio de 85,675. El valor del estadístico F fue de 21,472, con un valor de significancia (p) inferior a 0,0001, indicando que las diferencias observadas entre las etapas del compostaje son altamente significativas (***) . Estos resultados confirman que la temperatura varía significativamente a lo largo de las distintas fases del proceso de compostaje.

Tabla 12. Análisis de Varianza de la Temperatura (%) en las diferentes etapas del proceso de compostaje.

| Fuente | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F | Pr > F | p-valor |
|-----------------|---------|-------------------|------------------|--------|---------|---------|
| Modelo | 3.000 | 5518.901 | 1839.634 | 21.472 | <0.0001 | *** |
| Error | 416.000 | 35640.609 | 85.675 | | | |
| Total corregido | 419.000 | 41159.510 | | | | |

La Tabla 14 muestra los resultados de la prueba de Tukey aplicada a las temperaturas registradas en las diferentes etapas del compostaje, con el objetivo de identificar diferencias estadísticamente significativas entre ellas. La etapa termófila presentó la temperatura promedio más alta ($57,61\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 9.705$), seguida por oreado ($55,59\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 9.242$) y recepción ($55,47\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 7,089$), mientras que la etapa de zarandeo mostró una disminución importante ($47,81\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10,207$). Según la agrupación de letras, las etapas termófilas, oreado y recepción pertenecen al mismo grupo estadístico (grupo a), lo que indica que no presentan diferencias significativas entre sí; en cambio, la etapa de zarandeo se ubica en un grupo diferente (grupo b), lo que evidencia una diferencia estadística significativa respecto a las anteriores.

Tabla 13. Prueba de Tuckey con respecto a la Temperatura ($^{\circ}$).

| Categoría | Temperatura | S (Desviación Estándar) | Repetición | Mínimo | Máximo | Grupos |
|-----------|-------------|-------------------------|------------|--------|--------|--------|
| Termófila | 57,61 | 9,705 | 168 | 30,5 | 73,9 | A |
| Oreado | 55,59 | 9,242 | 84 | 40,1 | 72,4 | A |
| Recepción | 55,47 | 7,089 | 84 | 40,8 | 68 | A |
| Zarandeo | 47,81 | 10,207 | 84 | 35,2 | 69,9 | B |

4.1.3. pH

La Tabla 15 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el pH promedio en las diferentes etapas del compostaje. El valor de $F = 4,968$ con un $p\text{-valor} = 0,003$ demuestra que existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles de pH según la etapa en la que se encuentre la pila de compost. Aunque el valor de los cuadrados medios del modelo (0,567) es modesto, sí supera al del error (0,114), lo que justifica que el cambio en el pH no es aleatorio, sino consecuencia de las condiciones bioquímicas específicas de cada fase. Esta variación es esperable, ya que durante las etapas iniciales se generan ácidos orgánicos por

la descomposición rápida de residuos, y en las fases posteriores el pH tiende a estabilizarse por la formación de compuestos húmicos y liberación de amoníaco (de la degradación de proteínas) que alcaliniza el medio (López-Cano et al., 2022; Maroušek et al., 2021). Estos resultados son relevantes porque un pH estable dentro del rango 6,5–8,5 es indicativo de un compost maduro y de buena calidad agronómica, y valores fuera de ese rango pueden inhibir la actividad microbiana o afectar negativamente el uso del compost como abono orgánico (Ravindran et al., 2020; Mena Torres, 2023). Por tanto, la diferencia estadística reportada en la tabla respalda la importancia de controlar el pH como indicador clave de madurez y estabilidad del proceso.

Tabla 14. Estadístico descriptivo del pH por mes de estudio.

| Estadístico de pH | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 |
|-------------------------|-------|-------|-------|
| Media | 8,259 | 8,027 | 8,410 |
| Varianza (n-1) | 0,059 | 0,129 | 0,119 |
| Desviación típica (n-1) | 0,243 | 0,359 | 0,345 |

La Figura 9 presenta la evolución del nivel de pH promedio durante las distintas etapas del proceso de compostaje, en comparación con los valores límite establecidos por la Norma Técnica Peruana NTP 201.208:2021, que establece un rango óptimo de 6,5 a 8,5. Se observa que el pH es más elevado en las etapas de zarandeo (8,322), oreado (8,305) y termófila (8,268), mientras que en la etapa de recepción se registra un valor ligeramente menor (7,998). A pesar de estas variaciones, todas las mediciones se mantienen dentro del rango permitido, aunque las primeras tres etapas se sitúan muy próximas al límite superior.

El nivel de pH en el compostaje es un indicador esencial para el seguimiento de la actividad microbiana y la estabilidad del proceso. En la etapa de recepción, el pH cercano a la neutralidad (7,998) sugiere condiciones iniciales favorables para el inicio de la descomposición microbiana. A medida que el proceso avanza hacia las fases termófila, oreado y zarandeo, se observa un incremento del pH, alcanzando valores por encima de 8,2. Esta alcalinización puede atribuirse a la liberación de amoníaco producto de la descomposición de proteínas, tal como lo explican Apaza Palacios (2022) y Molina Durango y Oviedo Zumaque (2019), quienes señalan que el pH tiende a elevarse durante la etapa termófila debido a la actividad intensiva de los microorganismos termófilos y la formación de compuestos amoniacales.

Asimismo, Oshins et al. (2022) indican que un pH entre 6,5 y 8,5 permite mantener condiciones óptimas para la degradación de materia orgánica sin inhibir la actividad microbiológica, mientras que valores que se acercan al límite superior pueden implicar riesgo de volatilización de nitrógeno, reduciendo la calidad del compost como fertilizante orgánico.

Aunque los valores registrados no exceden el rango permitido, es importante mantener un monitoreo constante en las etapas intermedias y finales para prevenir condiciones que favorezcan la pérdida de nutrientes o afecten la maduración del compost. Además, el pH alcalino observado en zarandeo puede indicar una posible falta de estabilización final, lo cual coincide con lo señalado por Molina Durango y Oviedo Zumaque (2019), quienes afirman que en la fase de maduración el pH debe tender a estabilizarse y acercarse nuevamente a la neutralidad como señal de compost maduro.

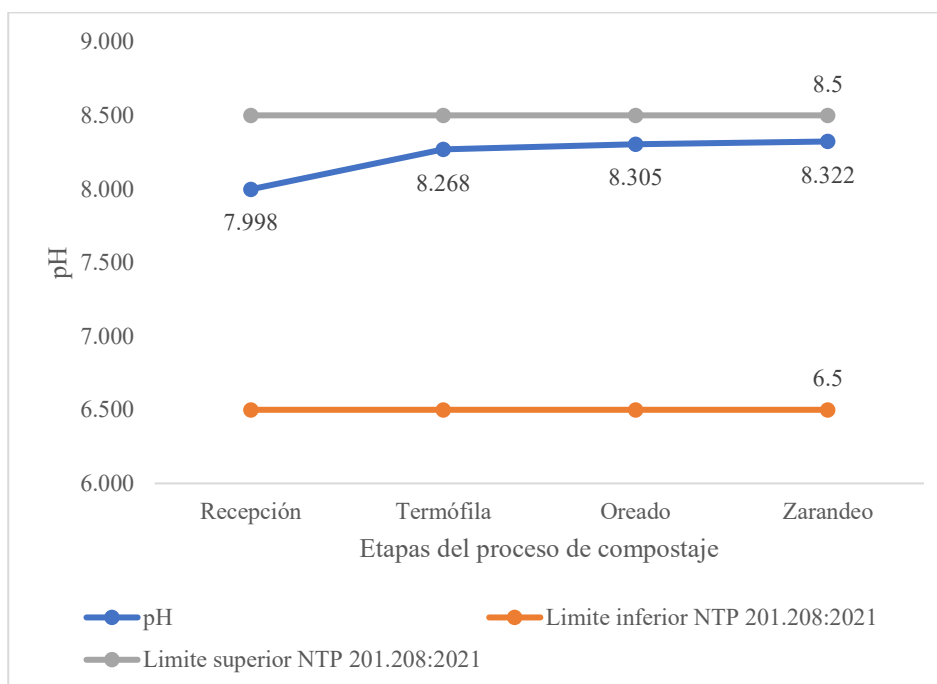


Figura 9. Nivel de pH en diferentes etapas del proceso de compostaje.

La Tabla 16 presenta el análisis de varianza (ANOVA) del pH en las distintas etapas del proceso de compostaje, con el fin de determinar si existen diferencias significativas entre ellas. El modelo mostró 3 grados de libertad y una suma de cuadrados de 1,700 con un cuadrado medio de 0,567. El valor F obtenido fue de 4,968 con un valor de significancia de $p = 0.003$, lo cual indica que existen diferencias estadísticamente significativas (**) en los niveles de pH entre las etapas evaluadas del compostaje.

Tabla 15. Análisis de Varianza del pH en las diferentes etapas del compostaje.

| Fuente | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F | Pr > F | p-valor |
|-----------------|---------|-------------------|------------------|-------|--------------|-----------|
| Modelo | 3,000 | 1,700 | 0,567 | 4,968 | 0,003 | ** |
| Error | 116,000 | 13,230 | 0,114 | | | |
| Total corregido | 119,000 | 14,930 | | | | |

La Tabla 17 presenta los resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para los valores de pH entre las distintas etapas del proceso de compostaje. Las etapas de zarandeo (8,322), oreado (8,305) y termófila (8,268) presentan valores de pH similares, agrupándose estadísticamente en el grupo “a”, lo que indica que no existen diferencias significativas entre ellas. Por otro lado, la etapa de recepción registró el pH más bajo (7,998) y fue agrupada en el grupo “b”, mostrando una diferencia estadísticamente significativa respecto a las otras tres etapas.

Tabla 16. Prueba de Tuckey con respecto al Ph.

| Categoría | pH | S (Desviación Estándar) | Repetición | Mínimo | Máximo | Grupos |
|-----------|-------|-------------------------|------------|--------|--------|--------|
| Zarandeo | 8,322 | 0,228 | 24 | 8,1 | 8,82 | a |
| Oreado | 8,305 | 0,33 | 24 | 7,4 | 8,89 | a |
| Termófila | 8,268 | 0,309 | 48 | 7,4 | 9,1 | a |
| Recepción | 7,998 | 0,466 | 24 | 6,74 | 8,94 | b |

4.1.4. Densidad aparente

La Tabla 18 presenta los estadísticos descriptivos de la densidad aparente (kg/m^3) promedio del compostaje durante los tres meses consecutivos de estudio. Se observa una ligera variación entre el mes 1 ($489,515 \text{ kg/m}^3$) y 2 ($492,608 \text{ kg/m}^3$), mientras que en el mes 3 se registra un incremento notable, alcanzando un valor medio de $749,547 \text{ kg/m}^3$. En cuanto a la dispersión de los datos, la desviación típica fue más baja en el mes 2 (15,420), seguida por el mes 1 (23,776), y se incrementó significativamente en el mes 3 (50,616), reflejando una mayor heterogeneidad del material en esa fase. Asimismo, la varianza aumentó considerablemente en el mes 3 (2561,973), en comparación con los meses 1 (565,294) y 2 (237,784).

El aumento progresivo de la densidad aparente del compost, especialmente marcado en el mes 3, es un indicativo de la compactación del material orgánico a medida que avanza el proceso de descomposición. Esta tendencia es coherente con lo señalado por Vélez Chang (2022), quien destaca que la densidad aparente se incrementa conforme el compost pierde humedad y se reduce el volumen total de la materia. El aumento puede estar asociado a la descomposición de compuestos más fibrosos y a la consolidación del sustrato, fenómenos comunes en las fases finales del compostaje cuando la actividad microbiana disminuye y la estructura del material se estabiliza.

Además, Benítez Arellano (2022) menciona que una densidad aparente excesivamente elevada puede dificultar la aireación, afectando la oxigenación del sustrato y, por ende, el desarrollo de los microorganismos aerobios responsables de completar la maduración del

compost. La alta desviación típica observada en el mes 3 también sugiere una falta de homogeneidad en el manejo del material, posiblemente debido a diferencias en el volteo o a la incorporación desigual de residuos estructurantes. Este hallazgo coincide con observaciones de Oshins et al. (2022), quienes destacan que la variabilidad en la densidad aparente puede comprometer la eficiencia del proceso y la calidad del producto final. Por tanto, es recomendable implementar controles más estrictos en el manejo físico del compost durante las etapas finales del proceso.

Tabla 17. Estadístico descriptivo de la densidad aparente por mes de estudio.

| Estadístico | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 |
|-------------------------|---------|---------|----------|
| Media | 489,515 | 492,608 | 749,547 |
| Varianza (n-1) | 565,294 | 237,784 | 2561,973 |
| Desviación típica (n-1) | 23,776 | 15,420 | 50,616 |

La Figura 10 muestra la evolución de la densidad aparente (kg/m^3) en las distintas etapas del compostaje: desde $564,924 \text{ kg/m}^3$ en la fase termófila hasta $594,998 \text{ kg/m}^3$ en zarandeo, con una tendencia ascendente muy leve. Todos los valores permanecen dentro del intervalo recomendado por la NTP 201.208:2021, cuyo rango aceptable es de 550 a 850 kg/m^3 , evidenciado en la gráfica con las líneas de umbral inferior y superior. Esta estabilidad dentro del rango normativo refuerza la calidad física del compost y su aptitud para ser utilizado en suelos agrícolas. Un valor bajo de densidad puede limitar la capacidad del compost para ser transportado o mezclado con suelos pesados, mientras que un valor demasiado alto indicaría compactación excesiva o deficiencia de porosidad, lo cual afectaría negativamente la aireación y la retención de agua (Bernal et al., 2021). La densidad aparente ideal permite que el compost conserve buena estructura física, aireación y manejabilidad, cualidades esenciales para su desempeño como enmienda orgánica (Paredes et al., 2022). El valor más alto en la etapa de zarandeo ($594,998 \text{ kg/m}^3$) podría relacionarse con una mayor deshidratación y compactación por manejo manual, pero sin llegar a representar un problema técnico. En conjunto, estos resultados muestran que el compost elaborado se mantiene estructuralmente estable y cumple con los parámetros técnicos para un producto agrícola eficiente y funcional (Cabral et al., 2023).

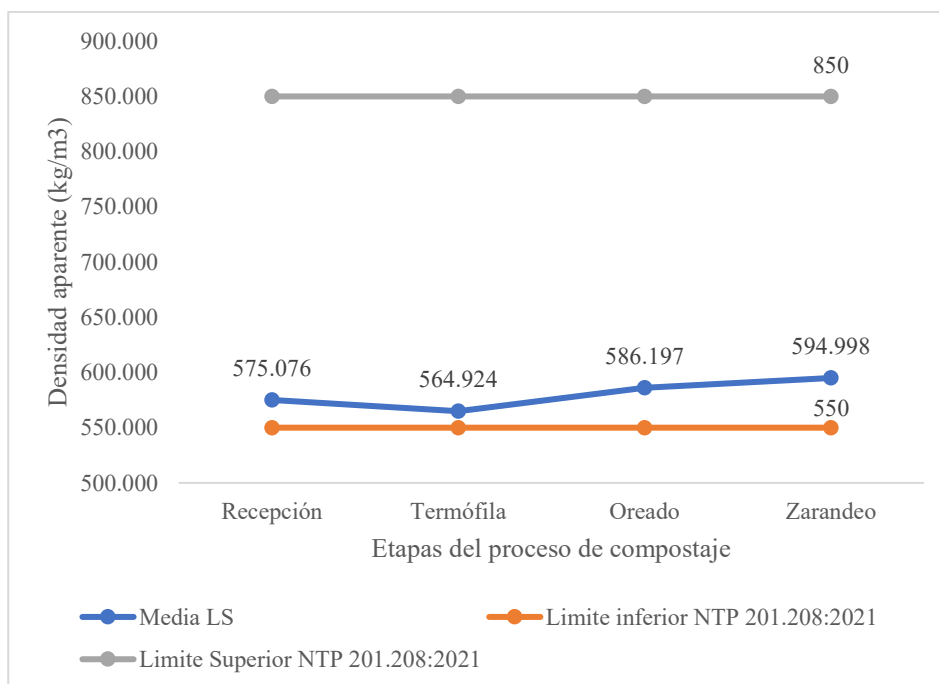


Figura 10. Densidad aparente (kg/m^3) en diferentes etapas del proceso de compostaje.

4.1.5. Relación de C/N

La Tabla 19 presenta el análisis de varianza (ANOVA) aplicado a la relación carbono/nitrógeno (C/N) promedio en las diferentes etapas del compostaje. El valor de F obtenido fue de 0,646 con un p-valor de 0,589 lo que indica que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las etapas respecto a esta variable. El valor de los cuadrados medios del modelo (2,317) resulta menor al del error (3,588), lo que confirma que la variabilidad observada no puede atribuirse al factor etapa del compostaje. Este resultado sugiere que la relación C/N permaneció estable a lo largo del proceso, probablemente debido a un adecuado balance inicial de materiales ricos en carbono y nitrógeno, como residuos vegetales secos y estiércoles. Según Martínez-Blanco et al. (2021), cuando la mezcla de residuos está bien formulada, la relación C/N suele disminuir por la mineralización del carbono, pero sin registrar fluctuaciones significativas. Compostajes bien controlados tienden a mantener este indicador entre 10 y 15, lo cual es característico de compost maduros y estables. Por lo tanto, la ausencia de diferencias significativas puede interpretarse como un reflejo de uniformidad en el comportamiento bioquímico del sistema, sin afectar negativamente la calidad del producto final.

Tabla 18. Estadístico descriptivo de la relación C/N por mes de estudio.

| Estadístico de la Relación C/N | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 |
|--------------------------------|-------|-------|--------|
| Media | 8,721 | 9,360 | 11,485 |
| Varianza (n-1) | 0,861 | 2,007 | 3,665 |
| Desviación típica (n-1) | 0,928 | 1,417 | 1,914 |

La Figura 11 muestra el comportamiento de la relación C/N en las distintas etapas del compostaje: recepción, oreado, termófila y zarandeo. Los valores observados oscilan entre 9,622 y 10,532, y se mantienen por debajo del umbral inferior de 25 establecido por la NTP 201.208:2021, que considera como intervalo óptimo un rango entre 25 y 35. Este aparente incumplimiento normativo no implica una baja calidad del compost; por el contrario, valores de C/N en torno a 10 son señal de una alta madurez biológica y química. Diversos estudios indican que una relación C/N menor a 15 implica que gran parte del carbono ha sido transformado en dióxido de carbono a través de la actividad microbiana, mientras el nitrógeno permanece en formas más estables como amonio u orgánico (Jindo et al., 2020; Tiquia, 2022). Este fenómeno suele estar asociado a mezclas con elevado contenido de nitrógeno y a condiciones termofílicas intensas que promueven la degradación rápida de compuestos carbonados.

Además, existe una relación directa entre la disminución del C/N y la emisión de gases como CO₂, CH₄ y CO. Durante la fase termófila, la descomposición activa del carbono genera importantes emisiones de dióxido de carbono, mientras que en condiciones subóptimas de aireación pueden generarse metano y monóxido de carbono como productos secundarios. Según Awasthi et al. (2020) y Zhou et al. (2022), una reducción acelerada en la relación C/N se asocia con una mayor tasa de emisión de CO₂ debido al metabolismo microbiano aeróbico. Esta relación permite interpretar los bajos valores de C/N como un posible reflejo del comportamiento gaseoso del sistema en sus primeras fases. Este resultado sugiere un exceso relativo de nitrógeno o una carencia de carbono estructural, lo cual puede deberse a una inadecuada proporción de materiales ricos en carbono (como restos de poda, aserrín o materia seca) durante la formulación inicial de la pila. Según Li et al. (2022), una relación C/N menor a 20 favorece una descomposición rápida, pero también puede provocar pérdidas de nitrógeno por volatilización en forma de amoníaco, reduciendo la calidad del compost como fertilizante. Por tanto, aunque el compost evaluado no cumple con el parámetro específico de la norma

técnica, sus valores indican una alta estabilización del material, y podrían considerarse como adecuados para aplicaciones agrícolas bajo criterios técnicos específicos.

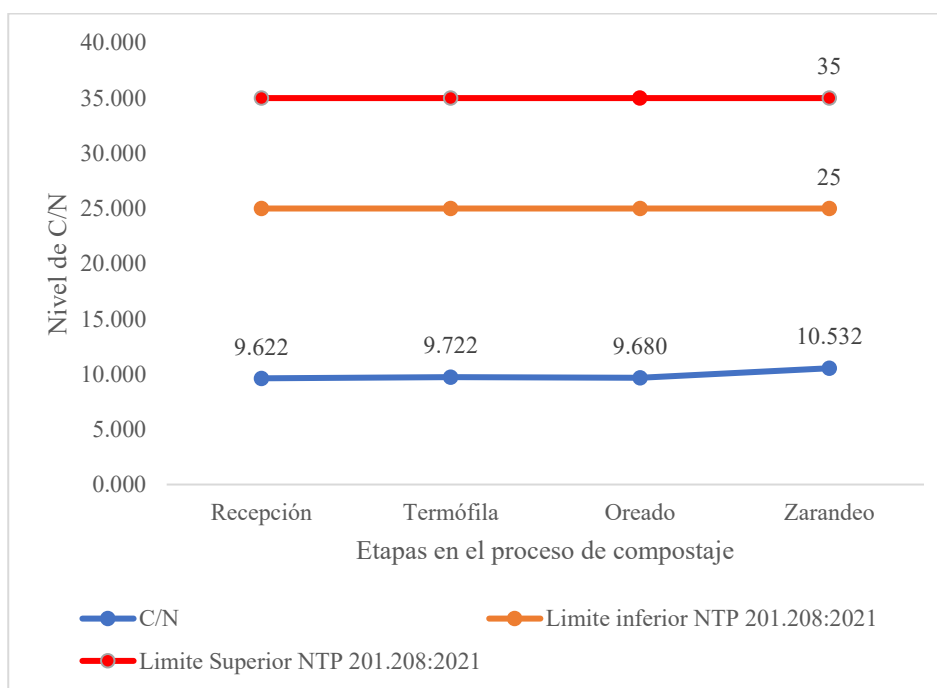


Figura 11. Nivel de C/N en diferentes etapas del proceso de compostaje.

4.2. Determinación y cumplimiento de la concentración de los gases con los valores límites del D.S N° 105-2005-SA y INSST en el proceso de compostaje.

4.2.1. Dióxido de Carbono (CO₂)

La Tabla 20 presenta el análisis de varianza (ANOVA) aplicado a la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en las diferentes etapas del proceso de compostaje. El valor de F obtenido fue de 6,797 con un p-valor de 0.000, lo que indica una diferencia estadísticamente significativa entre al menos una de las etapas analizadas. Los cuadrados medios del modelo alcanzan 36200309,636; una cifra considerablemente superior a la del error (5325918.515), lo cual evidencia que la etapa del proceso tiene una influencia clara en la emisión de CO₂. Este comportamiento es consistente con la dinámica de la actividad microbiana durante el compostaje, ya que el CO₂ es el principal subproducto del metabolismo aeróbico de los microorganismos, especialmente durante las fases más activas de descomposición. Según Sánchez-Rodríguez et al. (2022), las emisiones de CO₂ reflejan el ritmo de degradación de la materia orgánica y, por tanto, son un indicador indirecto del nivel de actividad biológica del sistema. Por ello, el resultado estadísticamente significativo obtenido en esta prueba respalda que el compostaje no es un proceso uniforme, sino que presenta momentos críticos donde la respiración microbiana es más intensa, generando mayores emisiones de CO₂.

Tabla 19. Estadístico descriptivo del CO₂ por mes de estudio.

| Estadístico | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 |
|-------------------------|------------|-------------|-------------|
| Media | 937,614 | 2772,600 | 2155,436 |
| Varianza (n-1) | 778888,915 | 7782654,717 | 6402935,082 |
| Desviación típica (n-1) | 882,547 | 2789,741 | 2530,402 |

La Figura 12 muestra la evolución de la concentración de CO₂ en partes por millón (ppm) a lo largo de las etapas del compostaje: recepción, termófila, oreado y zarandeo. Se observa una tendencia descendente clara, con un valor máximo de 2601,024 ppm en la etapa de recepción y un mínimo de 1044,262 ppm en la etapa de zarandeo. Todos los valores se encuentran muy por debajo del límite permisible de 5000 ppm para exposición ocupacional según estándares D.S N° 105-2005-SA Y INSST en el proceso de composta., lo que sugiere que el sistema no presenta riesgos por acumulación de gases en las condiciones evaluadas. La etapa de recepción, que presenta la mayor concentración, corresponde al momento en que los residuos aún están frescos y comienzan a fermentar, generando emisiones intensas por la descomposición inmediata de compuestos fácilmente degradables. Conforme avanza el proceso, se observa una reducción constante de las emisiones, lo cual es coherente con la disminución de la actividad microbiana y del carbono biodegradable disponible, como han señalado Awasthi et al. (2022) y Yuan et al. (2021).

Esta disminución progresiva también se relaciona con la evolución de la relación C/N, ya que un descenso en la proporción de carbono en el sistema reduce la disponibilidad de sustrato para la respiración microbiana aeróbica, y por tanto, la emisión de CO₂. Zhou et al. (2022) indican que los sistemas con relaciones C/N bajas, como en este caso, tienden a estabilizarse rápidamente, reduciendo significativamente su huella gaseosa. Además, un sistema bien aireado, como el que refleja esta tendencia, reduce el riesgo de producción de gases anaerobios como metano, reforzando el carácter aeróbico del compostaje. En conjunto, los resultados indican que el sistema es eficiente en términos de descomposición, pero también seguro en cuanto a emisiones, con valores muy por debajo de los límites permisibles y que reflejan un comportamiento microbiológico bien controlado.

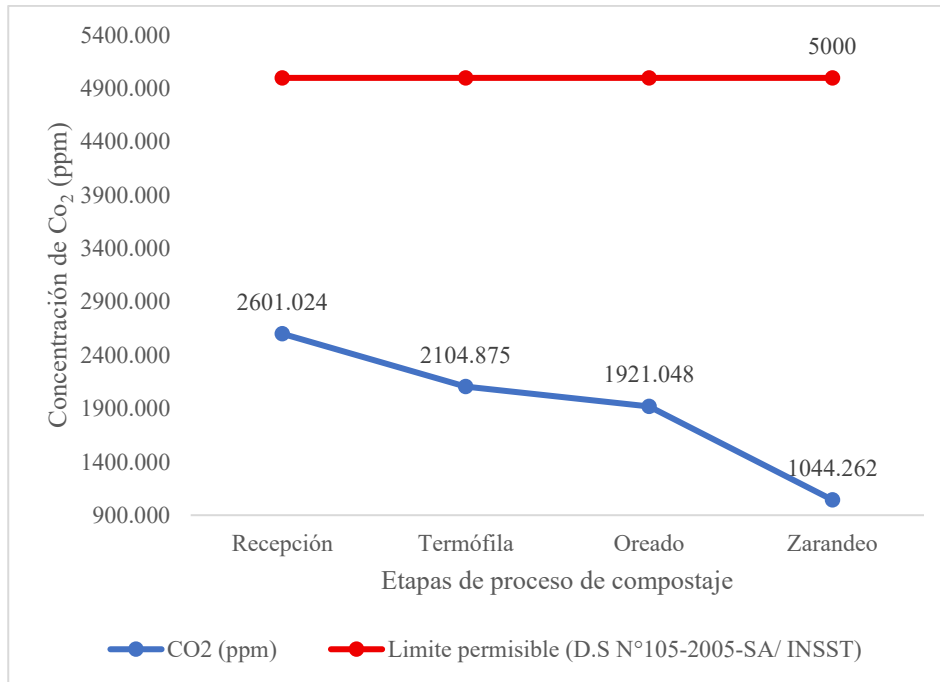


Figura 12. Concentración de CO₂ (ppm) en diferentes etapas del proceso de compostaje.

La Tabla 21 presenta el análisis de varianza (ANOVA) de las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) registradas en las distintas etapas del proceso de compostaje. El análisis muestra que el modelo tiene 3 grados de libertad, con una suma de cuadrados de 1,086,009,28.908 y un cuadrado medio de 36,200,309.636. El error asociado al modelo cuenta con 416 grados de libertad y una suma de cuadrados de 2,215,582,102.375, lo que resulta en un cuadrado medio de 5,325,918.515. El valor del estadístico F fue de 6.797, y el valor de significancia obtenido fue $p = 0.000$, lo cual indica una diferencia altamente significativa (***) en las concentraciones de CO₂ entre las distintas etapas del compostaje.

Tabla 20. Análisis de Varianza del CO₂ en las diferentes etapas de compostaje.

| Fuente | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F | Pr > F | p-valor |
|-----------------|---------|-------------------|------------------|-------|--------------|------------|
| Modelo | 3.000 | 108600928.908 | 36200309.636 | 6.797 | 0.000 | *** |
| Error | 416.000 | 2215582102.375 | 5325918.515 | | | |
| Total corregido | 419.000 | 2324183031.283 | | | | |

La Tabla 22 muestra los resultados de la prueba de Tukey aplicada a los niveles de dióxido de carbono (CO₂, en ppm) medidos en las diferentes etapas del proceso de compostaje. La etapa de recepción presentó la mayor concentración promedio de CO₂ (2601,024 ppm), seguida de la etapa termófila (2104,875 ppm), oreado (1921,048 ppm) y finalmente zarandeo con el valor más bajo (1044,262 ppm). Según los grupos estadísticos asignados, recepción se diferencia significativamente de zarandeo y oreado (grupo a vs. c y b), mientras que la etapa termófila se ubica en un grupo intermedio (ab), sin diferencias significativas ni con recepción ni con oreado.

Tabla 21. Prueba de Tuckey con respecto al CO₂.

| Categoría | CO2 (ppm) | S (Desviación Estándar) | Repetición | Mínimo | Máximo | Grupos |
|-----------|-----------|-------------------------|------------|--------|--------|--------|
| Recepción | 2601,024 | 2647,197 | 84 | 120 | 9940 | A |
| Termófila | 2104,875 | 2405,670 | 168 | 140 | 9800 | Ab |
| Oreado | 1921,048 | 2107,493 | 84 | 40 | 9420 | B |
| Zarandeo | 1044,262 | 1897,461 | 84 | 20 | 9928 | C |

4.2.2. Monóxido de Carbono (CO)

La Tabla 23 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para las concentraciones de monóxido de carbono (CO) en las diferentes etapas del compostaje. El valor de F fue de 3,310 con un p-valor de 0,020 lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre al menos una de las etapas. El cuadrado medio del modelo (1,187,263,263) es sustancialmente superior al del error (358,642,709), lo cual confirma que las variaciones en las concentraciones de CO no son aleatorias, sino que están asociadas a la etapa del proceso. Este resultado resalta la sensibilidad del monóxido de carbono a los cambios en las condiciones aeróbicas o anaeróbicas del sistema. Investigaciones recientes señalan que el CO puede generarse en compostajes con zonas mal aireadas o con un gradiente de oxígeno inestable, especialmente en los primeros días, cuando los residuos son más activos biológicamente (Cai et al., 2022). Por lo tanto, la significancia estadística encontrada sugiere que el proceso no mantiene condiciones uniformes de oxigenación en todas sus fases, situación que puede tener implicancias tanto ambientales como sanitarias si no se controla adecuadamente.

Tabla 22. Estadístico descriptivo del CO por mes de estudio.

| Estadístico del CO | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 |
|-------------------------|---------|-------------|---------|
| Media | 5,300 | 163,050 | 10,571 |
| Varianza (n-1) | 803,161 | 1081665,818 | 333,686 |
| Desviación típica (n-1) | 28,340 | 1040,032 | 18,267 |

La Figura 13 muestra las concentraciones de CO en partes por millón (ppm) en las distintas etapas del compostaje. Se observa una tendencia drásticamente descendente a lo largo del proceso, partiendo de una concentración muy elevada en la etapa de recepción (243,155 ppm), que luego disminuye a 22,435 ppm en la etapa termófila; 6,959 ppm en oreado y finalmente 3,583 ppm en zarandeo. El límite permisible según normativas de exposición ocupacional D.S N° 105-2005-SA Y INSST en el proceso de composta es de 25 ppm, por lo tanto, solo la etapa de recepción excede con creces este valor, indicando una condición crítica. Esta alta concentración en la etapa inicial puede estar relacionada con una oxidación incompleta de la materia orgánica debido a una aireación deficiente o acumulación de gases en condiciones confinadas, lo cual ha sido reportado por Liang et al. (2021) y Sahar et al. (2022). En compostajes recién iniciados, la degradación anaerobia parcial puede favorecer la generación de CO como producto intermedio, especialmente cuando la temperatura comienza a aumentar y el oxígeno aún no está bien distribuido.

A medida que el proceso avanza y se intensifica la aireación por volteo o porosidad del sustrato, la concentración de CO disminuye notablemente, lo que indica una transición hacia condiciones plenamente aeróbicas. De acuerdo con Wei et al. (2020), esta evolución gaseosa es normal y puede ser corregida técnicamente ajustando la frecuencia de volteo, el tamaño de partícula o la humedad inicial. Además, el valor de 3,583 ppm en la etapa de zarandeo es muy inferior al límite permisible, lo cual evidencia que el sistema finaliza con emisiones controladas. La magnitud del pico inicial alerta sobre la importancia de intervenir rápidamente en el primer mes del proceso para evitar riesgos ocupacionales y pérdidas de calidad en la oxigenación. Finalmente, estas concentraciones también pueden estar relacionadas con un exceso de nitrógeno inicial, ya que ciertos procesos de desaminación en condiciones subóptimas también pueden generar CO como subproducto secundario (Singh et al., 2023).

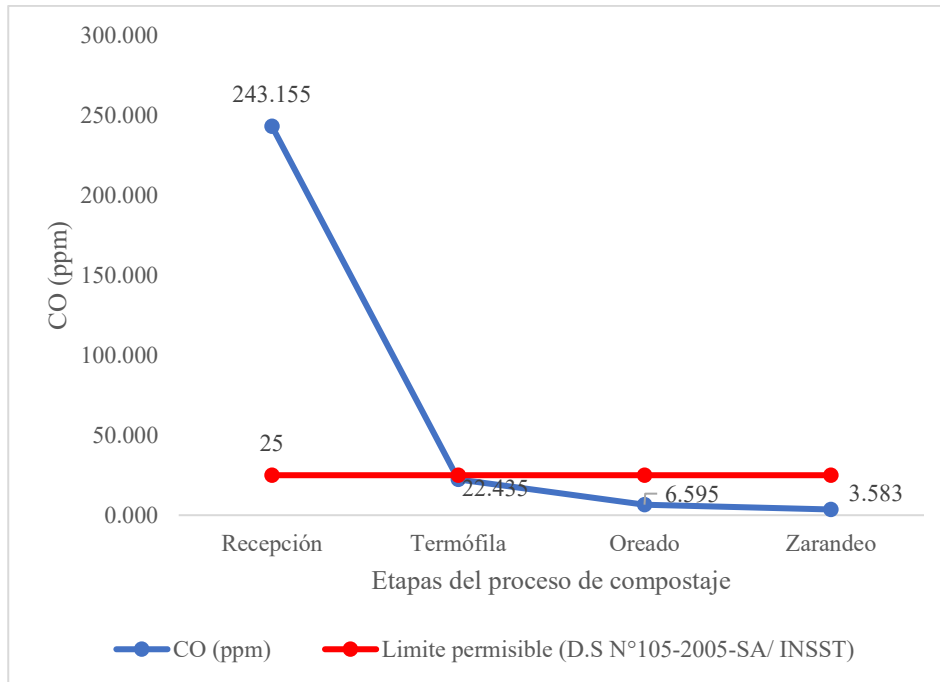


Figura 13. Concentración de CO (ppm) en diferentes etapas del proceso de compostaje.

La Tabla 24 presenta el análisis de varianza (ANOVA) de las concentraciones de monóxido de carbono (CO) en las distintas etapas del proceso de compostaje, con el objetivo de evaluar si existen diferencias significativas entre ellas. El modelo tiene 3 grados de libertad, una suma de cuadrados de 3,561,789,789 y un cuadrado medio de 1,187,263.263. El error cuenta con 416 grados de libertad, una suma de cuadrados de 1,491,953,66.923 y un cuadrado medio de 358,642,709. El valor del estadístico F fue 3,310 y el valor de significancia asociado fue $p = 0.020$, indicando diferencias estadísticamente significativas (*) en las concentraciones de CO entre las diferentes etapas del compostaje.

Tabla 23. Análisis de Varianza del CO en las diferentes etapas del proceso de compostaje.

| Fuente | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F | Pr > F | p-valor |
|-----------------|---------|-------------------|------------------|-------|--------------|---------|
| Modelo | 3,000 | 3561789,789 | 1187263,263 | 3,310 | 0,020 | * |
| Error | 416,000 | 149195366,923 | 358642,709 | | | |
| Total corregido | 419,000 | 152757156,712 | | | | |

La Tabla 25 presenta los resultados de la prueba de Tukey para las concentraciones de monóxido de carbono (CO) en distintas etapas del proceso de compostaje. La etapa de recepción mostró la concentración promedio más alta (243,1548 ppm), significativamente diferente del resto de las etapas, tal como lo indica su pertenencia al grupo estadístico “a”. Las etapas termófilas (22,4345 ppm), oreado (6,5952 ppm) y zarandeo (3,5833 ppm) se agrupan en el

grupo “b”, sin diferencias significativas entre ellas. Se observa además una alta variabilidad en la recepción (desviación estándar de 1339.145), lo que sugiere una gran dispersión de los datos en esa fase.

Tabla 24. Prueba de Tuckey con respecto al CO.

| Categoría | Media | S (Desviación Estándar) | Repetición | Mínimo | Máximo | Grupos |
|-----------|----------|-------------------------------|------------|--------|--------|--------|
| Recepción | 243,1548 | 1339,145353 | 84 | 0 | 9520 | A |
| Termófila | 22,4345 | 44,612052 | 168 | 0 | 330 | B |
| Oreado | 6,5952 | 12,180489 | 84 | 0 | 74 | B |
| Zarandeo | 3,5833 | 8,452858 | 84 | 0 | 52 | B |

4.2.3. Metano (CH₄)

En la Tabla 26 se presentó el comportamiento del CH₄ por mes de estudio. La concentración media fue de 600,000 en el mes 1, aumentó a 721,429 en el mes 2 y luego se redujo a 639,286 en el mes 3, evidenciándose una oscilación moderada en la producción de metano durante el proceso. La varianza presentó un comportamiento irregular, pasando de 1'356,834.532 en el mes 1 a 1'144,861,254 en el mes 2, y luego ascendiendo nuevamente a 1'273,625.385 en el mes 3. De forma coherente, la desviación típica osciló entre 1164,832; 1069,982 y 1128,550, lo que indica una dispersión considerable, pero sin cambios abruptos entre semanas.

Tabla 25. Estadístico descriptivo del CH₄ por mes de estudio.

| Estadístico del CH ₄ | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Media | 600,000 | 721,429 | 639,286 |
| Varianza (n-1) | 1356834,532 | 1144861,254 | 1273625,385 |
| Desviación típica (n-1) | 1164,832 | 1069,982 | 1128,550 |

La Figura 14 muestra cómo la concentración de CH₄ varió según la etapa del proceso de compostaje, con un incremento sostenido desde la etapa de zarandeo (53,571 ppm) hasta alcanzar su punto máximo en la etapa de recepción (1446,429 ppm), superando el límite permisible de 1000 ppm establecido por la normativa. Esta tendencia ascendente evidencia que el metano se concentra progresivamente conforme disminuye la aireación y aumentan las condiciones anaeróbicas, especialmente en la fase inicial del tratamiento (recepción), donde los residuos presentan alta humedad, densidad y poca agitación (León-Medina et al., 2021; De la Cruz et al., 2022). Esto concuerda con lo descrito por Ávila et al. (2023), quienes señalan que la acumulación de materia orgánica fresca sin volteo favorece condiciones reductoras, que intensifican la emisión de gases como el CH₄.

La generación más baja de CH₄ se produjo en la etapa de zarandeo (53,571 ppm), en la cual el material ya ha perdido gran parte de su humedad y presenta un mayor grado de estabilización. Esta disminución en las emisiones es coherente con lo reportado por Herrera et al. (2020), quienes indican que, al reducirse la carga orgánica biodegradable y aumentar la porosidad, se limita la producción de metano. La diferencia entre etapas resalta la importancia de un adecuado manejo del proceso, pues mantener aireación controlada y volteos oportunos contribuye a evitar la acumulación de este gas, cuya presencia en concentraciones elevadas representa no solo un riesgo ambiental, sino también una pérdida de eficiencia del compostaje (Zapata & Camacho, 2021; FAO, 2022).

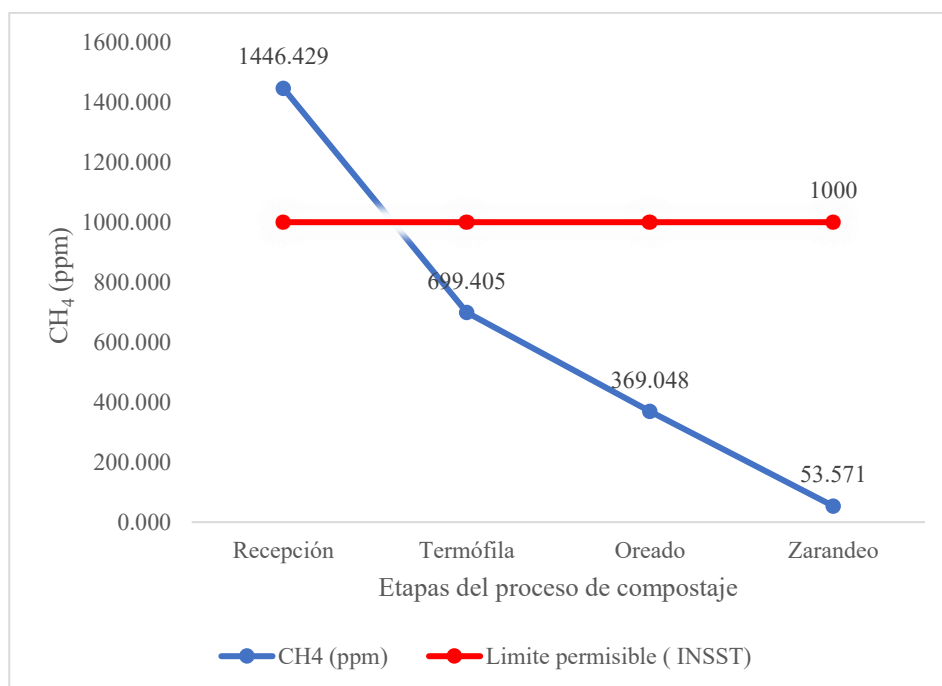


Figura 14. Concentración de CH₄ (ppm) en diferentes etapas del proceso de compostaje.

La Tabla 27 presenta el análisis de varianza (ANOVA) de las concentraciones de metano (CH₄) en las distintas etapas del proceso de compostaje, con el objetivo de determinar si existen diferencias significativas entre ellas. El modelo analizado cuenta con 3 grados de libertad, una suma de cuadrados de 718,170 y un cuadrado medio de 239,390. El error tiene 416 grados de libertad, con una suma de cuadrados de 31,958,887 y un cuadrado medio de 76,824. El valor del estadístico F fue 3,116, y el valor de significancia fue $p = 0,026$, lo cual indica que existen diferencias estadísticamente significativas (*) en las emisiones de metano entre las diferentes etapas del compostaje.

Tabla 26. Análisis de Varianza del CH₄ en las diferentes etapas de compostaje.

| Fuente | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F | Pr > F | p-valor |
|-----------------|---------|-------------------|------------------|-------|--------------|---------|
| Modelo | 3,000 | 718,170 | 239,390 | 3,116 | 0,026 | * |
| Error | 416,000 | 31958,887 | 76,824 | | | |
| Total corregido | 419,000 | 3267,057 | | | | |

La Tabla 28 muestra los resultados de la prueba de Tukey aplicada a las concentraciones de metano (CH₄) en las distintas etapas del compostaje. La etapa de recepción registró la mayor concentración promedio de CH₄ (1446,429 ppm), siendo estadísticamente diferente de todas las demás etapas (grupo “a”). Le siguen la etapa termófila (699,405 ppm), oreado (369,048 ppm) y finalmente zarandeo con el valor más bajo (53,571 ppm). Las etapas termófilas y oreado comparten parcialmente grupos estadísticos ("b" y "bc"), indicando similitudes entre ellas, mientras que zarandeo pertenece exclusivamente al grupo “c”, evidenciando una diferencia significativa con recepción y termófila. Además, se observa una alta variabilidad en los datos, especialmente en la recepción (desviación estándar de 1443,76), lo que refleja una amplia dispersión en las emisiones de CH₄ en esa etapa.

Tabla 27. Prueba de Tuckey con respecto al CH₄.

| Categoría | Media | S (Desviación Estándar) | Repetición | Mínimo | Máximo | Grupos |
|-----------|----------|-------------------------|------------|--------|--------|--------|
| Recepción | 1446,429 | 1443,76 | 84 | 0 | 6000 | a |
| Termófila | 699,405 | 1064,02 | 168 | 0 | 6000 | b |
| Oreado | 369,048 | 925,27 | 84 | 0 | 5500 | bc |
| Zarandeo | 53,571 | 173,86 | 84 | 0 | 1000 | c |

4.3. Propuestas de estrategias que mejoren el manejo de gases emanados en el proceso de compostaje.

Tabla 28. Estrategias de mejora en el manejo de gases en el proceso de compostaje.

| Estrategia | Descripción técnica | Riesgo que Previene | Gases que controla | Indicador de eficiencia |
|----------------------------------|--|---|---------------------------------------|--|
| Volteo aeróbico frecuente | Aireación mecánica o manual de la pila cada 2 a 3 días para mantener oxígeno adecuado. | Explosiones por acumulación de metano (CH ₄) | CH ₄ , CO, CO ₂ | Reducción del CH ₄ en 90% (Wei et al., 2020) |
| Uso de biofiltros | Paso del aire contaminado por lechos filtrantes de materiales orgánicos que atrapan gases. | Emanación de olores intensos y exposición a compuestos volátiles | CH ₄ , CO, olores | Eficiencia de captura >85% (Pagans et al., 2021) |
| Co-compostaje con material seco | Adición de aserrín o paja para mejorar la relación C/N y reducir compactación. | Producción excesiva de CH ₄ | CH ₄ , CO | Disminución del CH ₄ en 60% (Zhou et al., 2022) |
| Monitoreo con sensores | Uso de dispositivos electrónicos para controlar concentración de O ₂ y temperatura. | Acumulación peligrosa de CO (Riesgo ante intoxicaciones) | CO, CH ₄ | Mejora en aireación y reducción de gases críticos (Jiang et al., 2023) |
| Inoculación microbiana selectiva | Aplicación de cepas bacterianas metanotróficas y oxidantes de CO. | Emisión constante de CH ₄ al ambiente | CH ₄ , CO | Reducción de CH ₄ hasta en 75% (Choi et al., 2021) |
| Cubierta semipermeable | Uso de lonas permeables al vapor pero impermeables a gases para evitar emisiones. | Previene emisiones directas de CH ₄ y CO al ambiente laboral y poblaciones colindantes | CH ₄ , CO | Hasta 70% de retención de CH ₄ (Singh et al., 2023) |

– Etapa de recepción, pesado y picado

En esta etapa se registraron concentraciones de CH₄ de 1,446.429 ppm y de CO de 243.155 ppm, superando los límites permisibles establecidos por la normativa. Asimismo, la humedad alcanzó un 50.890 %, superando el máximo establecido en la NTP 201.208:2021. Estas condiciones reflejan un ambiente con alta humedad y una relación carbono/nitrógeno

(C/N) inicial baja, lo que favorece la formación de zonas anaeróbicas y la generación de gases nocivos.

Las estrategias sugeridas son:

- Adición de material seco (co-compostaje). Incorporar restos vegetales secos, paja o aserrín permite disminuir la humedad, aumentar la aireación y elevar la proporción de carbono. Esta técnica mejora la relación C/N y evita la compactación del sustrato. Según Zhou et al. (2022), esta práctica puede reducir hasta un 60 % de las emisiones de metano en etapas iniciales.
- Volteo aeróbico frecuente. Realizar volteos cada 2 a 3 días en los primeros 7 a 10 días del proceso permite aumentar la oxigenación y homogenizar los niveles de temperatura y humedad. Wei et al. (2020) reportan que esta práctica puede reducir hasta un 90 % las emisiones de metano.
- Cubiertas semipermeables. Utilizar lonas micro porosas que retienen gases como CH₄ y CO, pero permiten la salida de vapor de agua. Singh et al. (2023) indican que este tipo de cobertura puede disminuir hasta un 70 % de las emisiones gaseosas y conservar la temperatura interna.
- Instalación de sensores. Implementar sensores de monitoreo continuo de temperatura, humedad y gases en puntos críticos permite ajustar las prácticas operativas en tiempo real. Tal como señala Jiang et al. (2023), que esta medida mejora significativamente el control del proceso y disminuye la generación de gases contaminantes.

– **Etapa termófila**

En esta fase, la temperatura alcanzó los 57.609 °C y la humedad fue de 54.585 %. Estas condiciones promueven una intensa actividad microbiana, pero también elevan la generación de gases si no se garantiza una aireación adecuada.

Se sugieren las siguientes estrategias:

- Volteo aeróbico frecuente. Mantener esta práctica para evitar acumulación de gases y zonas anaeróbicas, como indica Wei et al. (2020), destacan que esta estrategia es clave para mantener el metabolismo aeróbico predominante.
- Monitoreo con sensores. Controlar en tiempo real la temperatura, humedad y oxígeno en las pilas mediante sensores electrónicos, como señala Jiang et al. (2023), subrayan que esta acción permite mantener condiciones óptimas durante la fase de mayor actividad microbiológica.

- Aporte adicional de material estructurante seco. En caso de que la humedad siga siendo elevada, se sugiere añadir más material seco para facilitar el drenaje y la aireación (Zhou et al., 2022).

– **Etapa de oreado**

En esta fase, aunque la actividad biológica y la generación de gases disminuyen, aún pueden emitirse olores y residuos gaseosos.

Las estrategias sugeridas son:

- Implementación de biofiltros. Dirigir el aire de las pilas hacia sistemas de filtración biológica, compuestos por compost maduro, corteza o fibra vegetal. Pagans et al. (2021) afirman que esta tecnología puede captar más del 85 % de los gases residuales y compuestos volátiles.
- Cubiertas semipermeables. En ausencia de infraestructura para canalizar gases hacia biofiltros, se sugiere el uso de cubiertas micro porosas para reducir emisiones difusas y proteger al entorno, tal como afirma (Singh et al., 2023).

– **Etapa de zarandeo, pesaje y encostalado**

Durante esta fase final, se detectó un pH de 8.322, el más elevado del proceso, así como una densidad aparente que, aunque se mantiene dentro del rango normativo, requiere control para evitar emisiones residuales.

Se sugieren:

- Uso de cubiertas semipermeables. Durante el zarandeo y almacenamiento final, estas ayudan a contener emisiones residuales (Singh et al., 2023).
- Volteo previo al tamizado. Remover las pilas antes del zarandeo permite liberar gases acumulados de forma controlada (Wei et al., 2020).

V. CONCLUSIONES

1. Se comprobó la existencia de gases como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) y metano (CH_4) en las diferentes etapas del proceso de compostaje, específicamente en las pilas ubicadas en el área de recepción, pesado y picado; área termófila; área de oreado; y área de zarandeo, pesaje y encostalado. Estos resultados evidencian que el proceso de compostaje, aunque controlado, conlleva emisiones que deben ser monitoreadas para mitigar su impacto ambiental.
2. Se determinaron los parámetros de humedad, temperatura, pH, densidad aparente y relación C/N en las pilas de compost. La humedad superó los límites de la NTP 201.208:2021 en las etapas de recepción (50,890 %) y termófila (54,585 %). La temperatura más alta se registró en la etapa termófila con 57,609 °C, mientras que el pH más elevado se observó en la etapa de zarandeo (8,322), encontrándose dentro de los límites normativos. La densidad aparente también fue mayor en zarandeo, cumpliendo con la normativa, y la relación C/N más alta se presentó en esa misma etapa, aunque por debajo del límite inferior permitido.
3. Los resultados evidenciaron que, en la etapa de recepción, los niveles de CH_4 y CO superaron los límites permisibles establecidos por la normativa vigente, registrando valores de 1446.429 ppm y 243.155 ppm, respectivamente.
4. Se propusieron estrategias específicas para cada etapa del proceso de compostaje, orientadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En el área de recepción, se sugiere incorporar material seco y sensores de monitoreo ambiental, debido a la alta humedad y los niveles críticos detectados de CH_4 y CO. Durante la etapa termófila, el volteo aeróbico frecuente resulta fundamental para evitar la acumulación de gases provocada por las elevadas temperaturas y humedad. En la fase de oreado, el uso de biofiltros se plantea como una medida eficaz para controlar las emisiones residuales. Finalmente, en la etapa de zarandeo, se sugiere implementar cubiertas semipermeables, con el fin de retener posibles emisiones gaseosas y proteger el entorno cercano

VI. PROPUESTA A FUTURO

1. En una futura investigación se recomienda evaluar el efecto del volteo aeróbico con diferentes frecuencias y profundidades sobre la reducción de emisiones gaseosas, a fin de identificar el régimen de manejo más eficiente para mantener condiciones aeróbicas estables durante todo el proceso de compostaje.
2. Se sugiere analizar la incorporación de materiales estructurantes alternativos (como cáscara de arroz, bagazo o viruta vegetal) para mejorar la relación C/N inicial y su efecto sobre la dinámica de gases como CH₄ y CO, considerando su disponibilidad local y compatibilidad con los residuos orgánicos valorizados.
3. Se plantea como línea de investigación la comparación entre sistemas de compostaje abiertos (pilas tradicionales) y semicerrados (con cubiertas semipermeables), para determinar su impacto diferencial en la emisión de gases y en la calidad final del compost producido.
4. Se propone integrar sensores electrónicos de bajo costo en el monitoreo de gases y variables fisicoquímicas, lo cual permitiría el desarrollo de modelos predictivos para anticipar zonas críticas del proceso y tomar decisiones preventivas en tiempo real.
5. Finalmente, se sugiere estudiar el comportamiento del compost resultante como enmienda orgánica aplicada en suelos agrícolas o urbanos, evaluando su efecto sobre la fertilidad, estructura y actividad biológica del suelo, así como su capacidad de reducir el uso de fertilizantes sintéticos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Cava, G., & Cubas Bravo, K. N. (2020). Efectividad del compost mediante métodos de pilas dinámicas y compostera giratoria, obtenidas de los residuos orgánicos de la Universidad Peruana Unión. *Universidad Peruana Unión*. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3378>
- Aguirre Illatopa, J. (2023). *Calidad de compost de residuos orgánicos urbanos producido en la planta de valorización de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2445>
- Alcalde Alvarado, K. L. (2021). Evaluación de las técnicas de compostaje para la producción de compost a partir de residuos orgánicos. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/70303>
- Ali, S. R. (2021). An overview on greenhouse effect. *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal*, 11(11), 994–1000. <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:aca&volume=11&issue=11&article=169>
- Apaza Palacios, Y. (2022). *Evaluación de la biodegradación de residuos orgánicos urbanos en compostaje bajo diferentes frecuencias de oxigenación en la ciudad de La Paz*. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/30148>
- Arangua Jiménez, V. E. (2023). *Sistema de mezcla y aireado de compost para huerta comunitaria enfocada en el adulto mayor*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/197724>
- Arely, J. M., & Vásquez, O. (2019). *Evaluación de la concentración de N, P, K de cuatro sustratos obtenidos por compostaje aerobio en la Provincia y Región de San Martín 2018*.
- Ayilara, M., Olanrewaju, O., Babalola, O., & Odeyemi, O. (2020). Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. *Sustainability*, 12(11), 4456. <https://doi.org/10.3390/su12114456>
- Awasthi, M. K., Pandey, A. K., Khan, J., Bundela, P. S., & Wong, J. W. C. (2020). Evaluation of thermophilic microbial consortia for organic municipal solid waste composting. *Bioresource Technology*, 310, 123456. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123456>

- Awasthi, M. K., Wang, Q., Pandey, A., & Chen, H. (2020). Greenhouse gas emissions during composting and mitigation strategies: Recent advances and future perspectives. *Bioresource Technology*, 303, 122952. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122952>
- Awasthi, M. K., Wang, Q., Pandey, A., & Chen, H. (2022). Recent insights into greenhouse gas emissions and their mitigation during organic waste composting. *Bioresource Technology*, 358, 127367. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127367>
- Barreira, L., Abad, I., Molina, M. J., & Sánchez-Monedero, M. A. (2023). Influence of compost maturity on its agronomic performance and environmental impact. *Waste Management*, 165, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.01.004>
- Benítez Arellano, X. (2022). *Dinámica de reproducción de Eisenia fetida L. alimentada con compost de estiércol equino y de estiércol bovino*. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/137189>
- Bernal, M. P., Paredes, C., & Moral, R. (2021). Compost quality standards for agricultural use: Physicochemical and biological indicators. *Waste Management*, 124, 226–234. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.01.007>
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2021). Composting as a sustainable strategy for organic waste management: Key aspects and evaluation of compost quality. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(2), 85–115. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1658787>
- Bohórquez, W. (2019). *El proceso de compostaje* (Ediciones Unisalle, Ed.; Primera, Vol. 1).
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Universitaria Digital*, 8(10). <http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/int78.htm>
- Cabral, F., Fernandes, A. R., & Bezerra, R. M. (2023). Physical quality of composts derived from urban organic waste: Relevance of density and porosity in field applications. *Journal of Environmental Management*, 326, 116456. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116456>
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, y. B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. Unam.mx. https://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/oct_art78.pdf
- Chen, L. (2016, septiembre 12). Achieve maturity at the end of the manure composting process. Ag Proud. <https://www.agproud.com/articles/28462-achieve-maturity-at-the-end-of-the-manure-composting-process>

- Chen, L., de Haro Marti, M., Moore, A., & Falen, C. (2011). The composting process. *Dairy Composting*, 1(1). <http://www.cias.wisc.edu/wp-content/uploads/2008/07/artofcompost.pdf>
- Cai, L., Liu, Z., & Li, W. (2022). Emission patterns and control of CO and other gases during aerobic composting of kitchen waste. *Environmental Pollution*, 310, 119794. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119794>
- Choi, H., Son, H., & Kim, D. (2021). Role of methanotrophs in methane oxidation during composting: Environmental and microbial factors. *Waste Management*, 120, 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.11.034>
- Cumpa Monteza, J. F. (2021). *Propuesta de diseño de una planta de compostaje para disminuir el impacto ambiental en el distrito de Chiclayo* [Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <https://orcid.org/0000-0002-1787-9758>
- D.S N° 105-2005-SA Valores Límite Permisibles Para Agentes Químicos En El Ambiente de Trabajo (2005).
- Dume, Bayu & Hanc, Ales & Švehla, Pavel & Michal, Pavel & Abraham, Chane & Nigussie, Abebe. (2021). Carbon Dioxide and Methane Emissions during the Composting and Vermicomposting of Sewage Sludge under the Effect of Different Proportions of Straw Pellets. *Atmosphere*. 12. 10.3390/atmos12111380.
- Espinoza, R. (2023). Concentración de CH₄, CO₂, H₂S Y CO emitidos por los canales pluviales de la ciudad de Tingo María, Huánuco – 2022. In *Universidad Nacional Agraria de la Selva*. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/2465>
- Feijoo, V. D., & Villacreses, D. C. (2020). Generacion gas metano medinate la codigestion anaerobia de residuos solidos urbanos y biomasa de la ciudad de Machala[tesis de grado, Universidad Tecnica de Machala]. repositorio instiutcional. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15658>
- García Rández, A., Orden, L., Blay Miralles, V. R., Torres, M., Bustamante Muñoz, M. Á., Sáez Tovar, J. A., Pérez Murcia, M. D., Barber Valles, J. X., Andréu Rodríguez, F. J., & Moral Herrero, R. (2022). Emisiones de gases de efecto invernadero en procesos de co-compostaje de alperujo: influencia del material estructurante y de la fuente de nitrógeno. *Compostaje: Objetivo de Desarrollo Sostenible, 2022, ISBN 978-84-09-44506-6, Págs. 260-263*, 260–263. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9253353>
- García Raurich, J., Torres Lerma, J. A., Monagas Asensio, P., Martínez Vimbert, R., Arañó Loyo, M., & Martínez Roldán, T. (2023). Stoichiometry and kinetics of hydroxyl radicals

- in air quality. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 9(6), 26–49. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8094725>
- Georgieva, K., & Veretenenko, S. (2023). Solar influences on the Earth's atmosphere: solved and unsolved questions. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 10, 1244402. <https://doi.org/10.3389/fspas.2023.1244402>
- Gómez-López, M. D., Carrasco, F., & Gil, A. (2021). Organic waste composting: A sustainable approach for environmental protection and resource recovery. *Journal of Environmental Management*, 286, 112224. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112224>
- Guirola Fuentes, J., Pérez Barly, L., García González, Y., O'Rellys Noda, D., Guedes Díaz, R., Guirola Fuentes, J., Pérez Barly, L., García González, Y., O'Rellys Noda, D., & Guedes Díaz, R. (2019). Intoxicación por monóxido de carbono. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 48(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0138-65572019000200012&script=sci_arttext
- Hashimoto, K. (2019). *Global Temperature and Atmospheric Carbon Dioxide Concentration* (pp. 5–17). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8584-1_3
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2019). Metodología de la investigación. In *Ratio Formationis prenoviciado* (pp. 79–84). Ediciones USTA. <https://doi.org/10.2307/j.ctvr43hvc.8>
- INSST. (2021). *Límites de exposición profesional para agentes químicos en España*. <http://cpage.mpr.gob.es>
- Jiang, S., Li, X., & Li, Y. (2023). Mitigation of methane emission in food waste composting: Effect of aeration and microbial dynamics. *Bioresource Technology*, 370, 128550. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128550>
- Jindo, K., Sánchez-Monedero, M. A., Hernández, T., García, C., Furukawa, T., Matsumoto, K., & Sonoki, T. (2020). Composting process optimization based on carbon/nitrogen ratio and carbon biodegradability. *Waste Management*, 102, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.035>
- Lal Meena, A., Karwal, M., Dutta, D., & Mishra, R. (2021). Composting: Phases and factors responsible for efficient and improved composting. *Agriculture & Food E-Newsletter*, 3(1), 21–25. <https://agrifoodmagazine.co.in/>
- Li, D., Yuan, J., Ding, J., Wang, H., Shen, Y., & Li, G. (2022). Effects of carbon/nitrogen ratio and aeration rate on the sheep manure composting process and associated gaseous emissions. *Journal of Environmental Management*, 323, 116093. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116093>

- Liang, C., Das, K. C., & McClendon, R. W. (2021). The influence of temperature and aeration rate on greenhouse gas emissions during composting. *Bioresource Technology*, 339, 125603. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125603>
- Liu, L., Ji, H., Lü, X., Wang, T., Zhi, S., Pei, F., & Quan, D. (2021). Mitigation of greenhouse gases released from mining activities: A review. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 28(4), 513–521. <https://doi.org/10.1007/s12613-020-2155-4>
- López-Cano, I., López, M. J., & Suárez-Estrella, F. (2022). Monitoring compost maturity with physicochemical and microbial indicators. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(5), 107241. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107241>
- Lucas, R. M., Yazar, S., Young, A. R., Norval, M., de Gruijl, F. R., Takizawa, Y., Rhodes, L. E., Sinclair, C. A., & Neale, R. E. (2019). Human health in relation to exposure to solar ultraviolet radiation under changing stratospheric ozone and climate. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 18(3), 641–680. <https://doi.org/10.1039/c8pp90060d>
- Luo, Z., Su, B., Cheng, F., Wang, T., Shu, C., & Li, Y. (2018). Influences of ethane on the flammable limits and explosive oxygen concentration of methane with nitrogen dilution. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 56, 478–485. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.10.010>
- Maroušek, J., Strunecký, O., & Wanner, L. (2021). Stabilizing pH during composting through controlled addition of biochar and microbial inoculants. *Scientific Reports*, 11, 11709. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91163-9>
- Martínez-Blanco, J., Muñoz, P., & Antón, A. (2021). Carbon to nitrogen ratio as a key indicator in composting systems. *Environmental Science & Policy*, 118, 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.01.008>
- Maza, D. (2023). *Propuesta para la producción de abono orgánico mediante compostaje de residuos sólidos orgánicos para árboles frutales de la finca “Don Luchito”*. <http://dspace.tecnologicosudamericano.edu.ec/jspui/handle/123456789/687>
- Mejía Hidalgo, E. F., & Ramos Romero, S. S. (2019). *Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos de la Empresa Pública Municipal mancomunada de aseo de los cantones Colta, Alausi y Guamote, mediante tratamientos biológicos. compostaje, co-compostaje, vermicompostaje y takakura*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10799>
- Mena Torres, K. A. (2023). “Composición química y transformación de la biomasa vegetal en abono orgánico”. <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11469>

- Mikhaylov, A., Moiseev, N., Aleshin, K., & Burkhardt, T. (2020). Global climate change and greenhouse effect. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(4), 2897–2913. [https://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.4\(21\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.4(21))
- Molina Durango, Y., & Oviedo Zumaque, L. (2019). Evaluación de un consorcio de microorganismos celulolíticos y amilolíticos en el compostaje de residuos agropecuarios del departamento de Sucre. In *Biotecnología aplicada al sector agropecuario en el departamento de Sucre*. Editorial CECAR. <https://doi.org/10.21892/9789585547063.9>
- Naushin Y. et, al., (2022). “Emission of greenhouse gases (GHGs) during composting and vermicomposting: Measurement, mitigation, and perspectives, Volume 7, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100092>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772427122000547>
- Nordahl, S. L., Preble, C. V., Kirchstetter, T. W., & Scown, C. D. (2023). Greenhouse Gas and Air Pollutant Emissions from Composting. In *Environmental Science and Technology* (Vol. 57, Issue 6, pp. 2235–2247). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05846>
- OMM. (2021). *Boletín de la OMM sobre los gases de efecto invernadero*. 17. <https://ig3is.wmo.int/>,
- Oshins, C., Michel, F., Louis, P., Richard, T. L., & Rynk, R. (2022). The composting process. In *The Composting Handbook* (pp. 51–101). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85602-7.00008-X>
- Paccini Sánchez, A. L. (2019). Determinación de la fitotoxicidad del compost de la planta de tratamiento de residuos sólidos municipales de Carhuaz, utilizando el cultivo de trigo como indicador, Carhuaz - Ancash, 2017. *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*. <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3426>
- Pagans, E., Barrena, R., & Sánchez, A. (2021). Gaseous emissions from composting of different organic wastes: Impact of anaerobic pockets. *Journal of Environmental Management*, 288, 112434. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112434>
- Paredes, C., Martínez, C., & Moral, R. (2022). Physical, chemical, and biological parameters as quality indicators of compost. *Bioresource Technology Reports*, 17, 100857. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100857>
- Pastor Fernández, C. (2019). *Proyecto de Diseño de un Biorreactor para la Producción de Compost a partir de Biorresiduos*. <https://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/183933>

- Pedraza, K. N. (2018). Modelación de la concentración de monóxido de carbono en la atmósfera de la ZMVM mediante información. Unam.mx:8080. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/16189/1/Tesis.pdf>
- Peralta-Antonio, N., Bernardo de Freitas, G., Watthier, M., Silva Santos, R. H., Peralta-Antonio, N., Bernardo de Freitas, G., Watthier, M., & Silva Santos, R. H. (2019). Compost, bokashi y microorganismos eficientes: sus beneficios en cultivos sucesivos de brócolis. *Idesia (Arica)*, 37(2), 59–66. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000200059>
- Pérez Mendoza, G. E. (2023). Calidad y grupos funcionales microbianos del compost de residuos agropecuarios por efecto de dos biofermentos (montaña y bambusal). *Universidad Nacional Agraria de La Selva*. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/2410>
- Pillco, K. (2020). Evaluación del proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces. *Universidad Nacional Del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14508>
- Ravindran, B., Jaiswal, A. K., & Lee, S. R. (2020). Influence of pH on microbial dynamics and compost quality during food waste composting. *Environmental Research*, 182, 109114. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109114>
- Restrepo, A. P., Quintero, J. A., & Vallejo, M. A. (2021). Efecto del manejo en la estabilidad física y densidad aparente de compostajes urbanos. *Revista Iberoamericana de Ciencias Ambientales*, 12(1), 99–112. <https://doi.org/10.24102/rca.v12i1.2130>
- Rivero, F. A. (2014). Caracterización físico-química de compost obtenido a partir de residuos orgánicos alimenticios y de poda de la facultad de ciencias y tecnología de la universidad estadual paulista “júlio de mesquita filho”, presidente prudente, são paulo, brasil. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/16895/tesis-completa-final-final-florencia-rivero.pdf
- Sahar, A., Ali, I., & Rasheed, T. (2022). Formation and fate of carbon monoxide during composting of food and agricultural waste: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(5), 3137–3150. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01385-6>
- Singh, A., Kalamdhad, A. S., & Kazmi, A. A. (2023). Microbial and gas emission dynamics during composting of nitrogen-rich substrates. *Science of the Total Environment*, 857, 159654. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159654>

- Sánchez-Rodríguez, L., Medina-Rodríguez, M., & Guerra, G. (2022). CO₂ emissions as a biological indicator of compost stability in open windrow systems. *Environmental Technology & Innovation*, 27, 102512. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102512>
- Schlesinger, W. H., & Bernhardt, E. S. (2020). The Atmosphere. In *Biogeochemistry* (pp. 51–97). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814608-8.00003-7>
- Shi, D., Wang, Z., Zhang, Y., & Zhao, H. (2022). Role of pH in shaping microbial communities during aerobic composting of food waste. *Bioresource Technology*, 344, 126192. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126192>
- Teixeira, D., Andrade, R., & Mendes, M. (2020). Assessment of physical properties of compost produced from municipal solid waste. *Compost Science & Utilization*, 28(3), 190–199. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2020.1756565>
- Tiquia, S. M. (2022). Evaluation of compost maturity: Role of C/N ratio and nitrogen transformations. *Journal of Environmental Management*, 303, 114100. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114100>
- Trespalacios, J., Blanquicett, C., & Carrillo, P. (2018). Gases y efecto invernadero. *Instituto de Desarrollo Sostenible*.
- Tuckett, R. (2019). Greenhouse gases. In *Encyclopedia of Analytical Science* (pp. 362–372). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.14031-4>
- Villafuerte (2021). “INFLUENCIA DE LOS GASES DE METANO EN LA SEGURIDAD INDUSTRIAL Y EL AMBIENTE DEL TRABAJADOR EN LA PLANTA DE COMPOSTAJE/VERMICOMPOST EN EL EX FUNDO OQUENDO DEL CALLAO, Lima-2021. Universidad Nacional Federico Villarreal. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/5393>
- Vélez Chang, D. J. (2022). *Propuesta de mitigación de impacto ambiental en los mercados de la ciudad de Huacho por compostaje de sus residuos orgánicos*. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/7330>
- Wei, Y., Zhao, Y., Wang, H., & Lu, Q. (2020). Influence of aeration frequency on gas emissions and compost quality during the composting of dairy manure. *Waste Management*, 102, 408–416. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.040>
- Yuan, J., Zhai, L., Zhang, C., & Qiu, R. (2021). Carbon and nitrogen dynamics and greenhouse gas emissions during composting of vegetable waste under different initial C/N ratios. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123996. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123996>

- Zhang, Y., Wang, W., & Sun, Q. (2022). Monitoring greenhouse gas emissions in large-scale composting plants: CH₄ dynamics and control strategies. *Environmental Pollution*, 299, 118889. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118889>
- Zhou, Y., Selvam, A., & Wong, J. W. C. (2022). Influence of substrate composition on the C/N ratio, greenhouse gas emissions and maturity during composting. *Science of the Total Environment*, 832, 155038. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155038>

VIII. ANEXOS

Tabla 29. Ficha de Registro de Pilas de estudio



|  | UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL FICHA DE REGISTRO | | | |  |
|---|---|-----------|-----------|----------|--|
| N° | Código de Pila | Largo (m) | Ancho (m) | Alto (m) | Observación |
| 1 | P1 | 12.5 | 10 | 3.5 | La pila lleva acopiada un mes (area de recepcion) |
| 2 | P2 | 11.4 | 5 | 2.4 | La pila lleva acopiada 3 semanas (area termofila) la pila lleva acopiada 3 semanas (area termofila) |
| 3 | P3 | 8.8 | 6 | 3 | La pila lleva acopiado 3 semanas (area termofila) |
| 4 | P4 | 8.1 | 5 | 3 | La pila lleva acopiado 2 semanas (area de oreado) |
| 5 | P5 | 8.5 | 4.5 | 3 | La pila lleva acopiado 2 semanas (area de oreado) |

Tabla 30. Base de datos de las concentraciones de Gases

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | CO (ppm) | CO2 (ppm) | CH4 (ppm) |
|----------|------------|--------|--------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 13 | 1140 | 1500 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 10 | 2320 | 500 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 20 | 3340 | 500 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 20 | 8000 | 0 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 3 | 2400 | 0 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 330 | 2840 | 0 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 7 | 520 | 0 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 16 | 1280 | 0 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 0 | 2440 | 0 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 3 | 580 | 0 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 0 | 300 | 0 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 2 | 1420 | 0 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 0 | 1080 | 0 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 0 | 1260 | 0 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 0 | 1040 | 0 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 0 | 1220 | 0 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 900 | 0 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 2 | 1050 | 0 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 1240 | 0 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 0 | 800 | 0 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 10 | 380 | 500 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 2 | 906 | 4000 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 8 | 2500 | 1000 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 16 | 1520 | 2000 |

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | CO (ppm) | CO2 (ppm) | CH4 (ppm) |
|----------|------------|-----------|--------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 8 | 2500 | 500 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 2 | 580 | 1500 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 0 | 1340 | 1000 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 20 | 2140 | 1000 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 0 | 2500 | 1000 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 0 | 300 | 0 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 0 | 900 | 0 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 4 | 780 | 500 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 0 | 40 | 0 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 0 | 1100 | 0 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 0 | 1900 | 0 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 0 | 1050 | 0 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 820 | 0 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 4 | 1420 | 0 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 1180 | 0 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 0 | 1120 | 0 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 13 | 1320 | 4500 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 30 | 900 | 2000 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 16 | 1500 | 4500 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 33 | 2480 | 0 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 0 | 420 | 0 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 0 | 1240 | 2500 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 0 | 950 | 0 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 3 | 720 | 0 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 0 | 360 | 0 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 0 | 660 | 0 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 0 | 640 | 0 |

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | CO (ppm) | CO2 (ppm) | CH4 (ppm) |
|----------|------------|-----------|--------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 1 | 360 | 500 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 2 | 260 | 0 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 5 | 2400 | 1500 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 60 | 0 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 0 | 100 | 0 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 20 | 0 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 30 | 2420 | 1000 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 11 | 1010 | 500 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 22 | 1820 | 0 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 5 | 910 | 500 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 5 | 950 | 0 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 0 | 420 | 0 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 0 | 1240 | 2500 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 0 | 950 | 0 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 3 | 720 | 0 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 0 | 420 | 0 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 0 | 720 | 0 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 0 | 540 | 0 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 0 | 920 | 0 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 0 | 260 | 5500 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 0 | 220 | 1500 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 0 | 360 | 4000 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 0 | 520 | 1000 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 100 | 0 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 0 | 320 | 0 |

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | CO (ppm) | CO2 (ppm) | CH4 (ppm) |
|----------|------------|---------|--------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 400 | 0 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 5 | 420 | 0 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 3 | 260 | 4500 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 0 | 500 | 2000 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 5 | 540 | 4500 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 10 | 2560 | 4000 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 0 | 740 | 0 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 3 | 1320 | 2500 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 0 | 800 | 0 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 3 | 520 | 0 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 0 | 360 | 0 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 0 | 660 | 0 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 0 | 640 | 0 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 0 | 840 | 0 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 0 | 540 | 0 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 0 | 400 | 0 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 0 | 900 | 0 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 0 | 1080 | 0 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 260 | 0 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 0 | 400 | 0 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 400 | 0 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 5 | 1120 | 500 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 0 | 280 | 500 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 0 | 400 | 0 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 3 | 420 | 500 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 0 | 850 | 0 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 0 | 650 | 0 |

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | CO (ppm) | CO2 (ppm) | CH4 (ppm) |
|----------|------------|---------|--------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 0 | 940 | 2000 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 0 | 760 | 0 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 3 | 520 | 0 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 0 | 280 | 500 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 0 | 560 | 0 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 0 | 540 | 500 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 0 | 820 | 0 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 0 | 450 | 0 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 0 | 520 | 0 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 0 | 860 | 0 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 0 | 920 | 0 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 250 | 0 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 0 | 420 | 0 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 400 | 0 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 0 | 820 | 0 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 2 | 240 | 3000 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 5 | 520 | 2000 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 0 | 320 | 1500 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 2 | 840 | 2500 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 7 | 1200 | 500 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 2 | 480 | 1500 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 0 | 750 | 1000 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 5 | 700 | 1000 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 0 | 280 | 500 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 0 | 560 | 0 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 0 | 460 | 500 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 0 | 720 | 0 |

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | CO (ppm) | CO2 (ppm) | CH4 (ppm) |
|----------|------------|---------|--------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 0 | 510 | 0 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 0 | 860 | 0 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 0 | 400 | 0 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 0 | 1250 | 0 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 700 | 0 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 0 | 950 | 0 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 1140 | 0 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 0 | 750 | 0 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 54 | 2220 | 2500 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 36 | 3440 | 1500 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 76 | 1920 | 3000 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 73 | 1300 | 3500 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 160 | 7720 | 1500 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 35 | 8840 | 500 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 83 | 6320 | 500 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 159 | 6140 | 2500 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 8 | 2868 | 1500 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 6 | 1740 | 500 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 73 | 9520 | 2000 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 158 | 9800 | 5000 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 0 | 1980 | 0 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 2 | 660 | 1500 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 11 | 3000 | 2500 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 2 | 380 | 2500 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 180 | 0 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 0 | 100 | 500 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 100 | 0 |

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | CO (ppm) | CO2 (ppm) | CH4 (ppm) |
|----------|------------|-----------|--------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 34 | 9928 | 0 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 5 | 520 | 6000 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 52 | 6980 | 0 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 142 | 1980 | 1000 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 25 | 2280 | 1000 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 33 | 1660 | 1500 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 40 | 8720 | 1000 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 8 | 500 | 0 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 53 | 1580 | 0 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 19 | 3980 | 500 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 15 | 5920 | 0 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 73 | 6340 | 1000 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 62 | 5860 | 2500 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 0 | 920 | 0 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 0 | 1940 | 0 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 15 | 3040 | 0 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 20 | 9420 | 3500 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 120 | 0 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 0 | 300 | 0 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 40 | 0 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 52 | 5440 | 0 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 10 | 1820 | 1000 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 50 | 2850 | 1500 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 230 | 3430 | 2000 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 420 | 4820 | 3000 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 19 | 850 | 0 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 80 | 960 | 0 |

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | CO (ppm) | CO2 (ppm) | CH4 (ppm) |
|----------|------------|-----------|--------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 22 | 450 | 500 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 59 | 3340 | 1500 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 120 | 4280 | 0 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 38 | 1250 | 500 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 30 | 1360 | 0 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 130 | 4440 | 0 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 0 | 490 | 0 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 10 | 2240 | 0 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 8 | 1960 | 0 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 8 | 3850 | 0 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 150 | 0 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 12 | 220 | 0 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 50 | 0 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 9 | 120 | 0 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 5 | 2820 | 1500 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 326 | 3520 | 2000 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 7920 | 6800 | 3000 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 9520 | 9780 | 4500 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 19 | 960 | 0 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 101 | 1020 | 0 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 0 | 280 | 0 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 102 | 4420 | 1500 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 110 | 8620 | 2000 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 49 | 1460 | 1000 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 32 | 1500 | 500 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 236 | 8100 | 2500 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 0 | 230 | 0 |

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | CO (ppm) | CO2 (ppm) | CH4 (ppm) |
|----------|------------|---------|--------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 7 | 1020 | 500 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 10 | 980 | 0 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 5 | 2250 | 0 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 4 | 120 | 0 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 9 | 210 | 0 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 80 | 0 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 9 | 90 | 0 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 54 | 8760 | 1000 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 73 | 2570 | 1500 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 84 | 5380 | 1000 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 120 | 8420 | 500 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 16 | 1520 | 500 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 27 | 2920 | 500 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 65 | 8860 | 500 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 20 | 5230 | 500 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 13 | 2060 | 0 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 32 | 6140 | 1000 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 42 | 3720 | 500 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 22 | 2280 | 0 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 0 | 520 | 0 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 40 | 3180 | 500 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 20 | 1940 | 500 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 0 | 2100 | 0 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 460 | 0 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 8 | 300 | 0 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 6 | 150 | 0 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 0 | 60 | 0 |

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | CO (ppm) | CO2 (ppm) | CH4 (ppm) |
|----------|------------|---------|--------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 51 | 4260 | 1000 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 37 | 740 | 500 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 108 | 9940 | 500 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 40 | 8260 | 0 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 80 | 940 | 1000 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 35 | 1560 | 500 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 83 | 1380 | 500 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 110 | 1220 | 500 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 30 | 8150 | 1000 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 10 | 2800 | 500 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 13 | 1860 | 1000 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 8 | 2450 | 500 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 1 | 3120 | 0 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 50 | 3880 | 500 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 10 | 2440 | 500 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 4 | 1980 | 500 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 200 | 0 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 0 | 220 | 500 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 220 | 0 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 0 | 820 | 0 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 28 | 1250 | 0 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 30 | 500 | 500 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 40 | 4230 | 500 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 15 | 4120 | 0 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 8 | 420 | 500 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 10 | 850 | 0 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 8 | 520 | 1000 |

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | CO (ppm) | CO2 (ppm) | CH4 (ppm) |
|----------|------------|---------|--------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 7 | 440 | 1000 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 12 | 1120 | 0 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 8 | 980 | 0 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 12 | 1250 | 500 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 8 | 1840 | 0 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 3 | 2110 | 0 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 12 | 2248 | 0 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 7 | 2120 | 500 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 4 | 1460 | 0 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 180 | 0 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 0 | 150 | 0 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 120 | 0 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 0 | 360 | 0 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 0 | 620 | 0 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 22 | 8320 | 2500 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 14 | 380 | 1500 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 18 | 1840 | 500 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 6 | 300 | 500 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 0 | 3980 | 1000 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 6 | 4380 | 500 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 110 | 7020 | 6000 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 0 | 430 | 500 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 0 | 220 | 0 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 8 | 510 | 500 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 22 | 6440 | 3500 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 0 | 210 | 0 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 0 | 120 | 0 |

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | CO (ppm) | CO2 (ppm) | CH4 (ppm) |
|----------|------------|-----------|--------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 7 | 320 | 0 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 21 | 6640 | 0 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 360 | 0 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 8 | 620 | 0 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 710 | 0 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 13 | 2040 | 0 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 0 | 220 | 0 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 20 | 7320 | 2500 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 13 | 380 | 1500 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 18 | 1840 | 500 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 6 | 300 | 500 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 0 | 3480 | 1000 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 8 | 4380 | 500 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 90 | 7020 | 4000 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 0 | 438 | 500 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 0 | 220 | 0 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 6 | 2220 | 500 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 22 | 6440 | 3500 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 0 | 280 | 0 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 0 | 640 | 0 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 0 | 680 | 0 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 21 | 6640 | 0 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 840 | 0 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 6 | 1260 | 500 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 980 | 0 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 30 | 4100 | 0 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 0 | 120 | 0 |

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | CO (ppm) | CO2 (ppm) | CH4 (ppm) |
|----------|------------|-----------|--------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 15 | 510 | 0 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 6 | 900 | 0 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 14 | 8020 | 5000 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 0 | 240 | 500 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 1 | 2000 | 0 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 0 | 200 | 0 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 20 | 7010 | 2500 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 0 | 150 | 0 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 0 | 600 | 0 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 0 | 900 | 0 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 24 | 5040 | 2000 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 0 | 310 | 0 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 8 | 200 | 0 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 0 | 310 | 0 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 0 | 2040 | 0 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 120 | 0 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 0 | 180 | 0 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 11 | 250 | 0 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 0 | 2010 | 0 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 43 | 1360 | 2500 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 52 | 4440 | 1000 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 1 | 1040 | 1000 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 10 | 1020 | 3000 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 0 | 340 | 500 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 1 | 4000 | 500 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 0 | 300 | 1000 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 56 | 7090 | 3000 |

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | CO (ppm) | CO2 (ppm) | CH4 (ppm) |
|----------|------------|---------|--------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 0 | 140 | 0 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 0 | 900 | 0 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 0 | 1080 | 0 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 36 | 9040 | 6000 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 0 | 5720 | 0 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 0 | 5220 | 500 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 16 | 4210 | 0 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 8 | 6040 | 0 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 4400 | 0 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 0 | 8800 | 0 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 11 | 6680 | 500 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 0 | 8020 | 0 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 77 | 720 | 1500 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 80 | 7940 | 1500 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 15 | 2050 | 1000 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 40 | 4020 | 1000 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 4 | 450 | 500 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 4 | 3100 | 2000 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 2 | 260 | 500 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 8 | 1080 | 500 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 0 | 200 | 3000 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 0 | 1200 | 1000 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 0 | 920 | 1000 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 8 | 2040 | 500 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 10 | 7400 | 500 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 10 | 2720 | 0 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 74 | 9340 | 0 |

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | CO (ppm) | CO2 (ppm) | CH4 (ppm) |
|----------|------------|---------|--------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 44 | 7020 | 500 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 860 | 500 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 10 | 980 | 0 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 540 | 0 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 0 | 720 | 0 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 22 | 410 | 500 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 8 | 2880 | 500 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 4 | 3020 | 500 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 12 | 4010 | 0 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 11 | 520 | 500 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 8 | 3120 | 0 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 22 | 455 | 500 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 4 | 2230 | 0 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 0 | 240 | 2000 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 0 | 1100 | 1000 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 0 | 810 | 1000 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 2 | 950 | 500 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 8 | 2120 | 500 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 8 | 1080 | 0 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 10 | 2720 | 500 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 12 | 4050 | 0 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 10 | 520 | 500 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 5 | 280 | 0 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 6 | 220 | 0 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 2 | 750 | 0 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 8 | 120 | 500 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 10 | 510 | 2000 |

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | CO (ppm) | CO2 (ppm) | CH4 (ppm) |
|----------|------------|---------|--------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 11 | 380 | 0 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 4 | 460 | 0 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 8 | 300 | 500 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 0 | 1030 | 0 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 8 | 2120 | 0 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 20 | 610 | 0 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 1 | 438 | 0 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 0 | 410 | 0 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 1 | 220 | 0 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 1 | 1020 | 0 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 8 | 320 | 500 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 22 | 750 | 0 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 10 | 210 | 0 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 0 | 720 | 0 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 0 | 120 | 0 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 0 | 260 | 0 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 0 | 220 | 0 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 0 | 410 | 0 |

Tabla 31. Base de datos de los parámetros Fisicoquímicos

| Semana | Pila | Área | Puntos de Medición | Humedad Promedio (%) | Densidad |
|----------|--------|-----------|--------------------|----------------------|----------|
| Semana 1 | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 46.6 | 409.8 |
| Semana 1 | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 45.0 | 500.0 |
| Semana 1 | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 36.4 | 500.0 |
| Semana 1 | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 39.9 | 500.0 |

| | | | | | |
|----------|--------|-----------|---------|------|-------|
| Semana 1 | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 49.9 | 454.5 |
| Semana 1 | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 40.8 | 500.0 |
| Semana 1 | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 49.2 | 500.0 |
| Semana 1 | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 57.4 | 500.0 |
| Semana 1 | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 39.8 | 463.0 |
| Semana 1 | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 51.9 | 500.0 |
| Semana 1 | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 58.9 | 500.0 |
| Semana 1 | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 56.2 | 500.0 |
| Semana 1 | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 45.1 | 500.0 |
| Semana 1 | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 65.0 | 500.0 |
| Semana 1 | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 63.0 | 500.0 |
| Semana 1 | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 54.8 | 500.0 |
| Semana 1 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 25.7 | 463.0 |
| Semana 1 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 22.0 | 500.0 |
| Semana 1 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 22.6 | 500.0 |
| Semana 1 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 24.5 | 500.0 |
| Semana 2 | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 48.0 | 500.0 |
| Semana 2 | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 35.1 | 500.0 |
| Semana 2 | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 41.9 | 500.0 |
| Semana 2 | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 53.5 | 500.0 |
| Semana 2 | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 69.2 | 454.5 |
| Semana 2 | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 49.2 | 500.0 |
| Semana 2 | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 68.2 | 500.0 |
| Semana 2 | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 66.8 | 500.0 |
| Semana 2 | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 40.1 | 463.0 |
| Semana 2 | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 50.8 | 500.0 |
| Semana 2 | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 54.0 | 500.0 |
| Semana 2 | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 51.6 | 500.0 |
| Semana 2 | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 32.3 | 500.0 |
| Semana 2 | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 34.7 | 500.0 |

| | | | | | |
|----------|--------|-----------|---------|------|-------|
| Semana 2 | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 37.5 | 500.0 |
| Semana 2 | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 37.7 | 500.0 |
| Semana 2 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 25.9 | 463.0 |
| Semana 2 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 21.3 | 500.0 |
| Semana 2 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 22.2 | 471.7 |
| Semana 2 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 23.4 | 500.0 |
| Semana 3 | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 64.0 | 781.3 |
| Semana 3 | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 70.6 | 714.3 |
| Semana 3 | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 61.3 | 714.3 |
| Semana 3 | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 68.4 | 781.3 |
| Semana 3 | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 78.2 | 714.3 |
| Semana 3 | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 78.4 | 694.4 |
| Semana 3 | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 66.3 | 675.7 |
| Semana 3 | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 78.2 | 675.7 |
| Semana 3 | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 34.9 | 781.3 |
| Semana 3 | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 39.2 | 757.6 |
| Semana 3 | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 39.6 | 757.6 |
| Semana 3 | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 41.0 | 666.7 |
| Semana 3 | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 29.5 | 781.3 |
| Semana 3 | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 29.2 | 781.3 |
| Semana 3 | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 29.7 | 757.6 |
| Semana 3 | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 30.7 | 714.3 |
| Semana 3 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 19.6 | 833.3 |
| Semana 3 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 23.0 | 806.5 |
| Semana 3 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 21.1 | 833.3 |
| Semana 3 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 25.5 | 769.2 |

| Semana | Fecha | Día | Pila | Área | Puntos de Medición | T° |
|----------|------------|-------|--------|-----------|--------------------|------|
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 64.7 |

| | | | | | | |
|----------|------------|--------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 68 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 63.3 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 53.4 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 65.2 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 56.8 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 53.2 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 52.4 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 67.4 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 66.2 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 68.8 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 65.4 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 57.3 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 61 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 40.1 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 45.2 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 40.1 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 38.9 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 39.7 |
| Semana 1 | 20/05/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 66.4 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 63.7 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 60.4 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 59.3 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 60.7 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 46.5 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 55.8 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 46.9 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 57.8 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 30.5 |

| | | | | | | |
|----------|------------|-----------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 58 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 55 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 52.4 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 61.1 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 62.6 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 43.1 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 44.8 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 41.9 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 38.6 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 36.3 |
| Semana 1 | 21/05/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 62.4 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 65 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 66.9 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 60.4 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 62.9 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 59.7 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 52.6 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 35 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 47.4 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 54.1 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 49.8 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 62.7 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 64.8 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 54.2 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 58.4 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 45.1 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 51 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 45.2 |

| | | | | | | |
|----------|------------|-----------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 42.1 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 36.2 |
| Semana 1 | 22/05/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 65 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 61.2 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 64.3 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 63.1 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 63.4 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 48.2 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 56.3 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 60.1 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 50.2 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 61.2 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 64.4 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 69.9 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 70.2 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 51.9 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 60.4 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 54.6 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 66.2 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 45.2 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 38.6 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 40.2 |
| Semana 1 | 23/05/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 54.3 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 51.3 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 59.4 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 55.7 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 63.3 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 59.2 |

| | | | | | | |
|----------|------------|---------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 58.2 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 66.3 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 59.1 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 43.8 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 42.9 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 53.5 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 59.3 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 42 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 43.9 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 58.3 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 64.7 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 42.7 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 38.2 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 40.7 |
| Semana 1 | 24/05/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 63.1 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 52.3 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 58.6 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 55.9 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 62.3 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 64.2 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 65.3 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 52.4 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 58.7 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 45.9 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 46 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 43.2 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 55.6 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 43 |

| | | | | | | |
|----------|------------|---------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 42.9 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 56.3 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 63.8 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 44.1 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 40.4 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 38.9 |
| Semana 1 | 25/05/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 60.1 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 58.9 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 65.8 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 54.8 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 63.1 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 62.6 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 65.8 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 45.7 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 62.1 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 60.6 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 70.6 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 71.4 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 68.6 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 65.7 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 57.6 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 64 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 71.2 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 40.2 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 42.3 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 37.3 |
| Semana 1 | 26/05/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 64.3 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 58.7 |

| | | | | | | |
|----------|------------|--------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 67.1 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 51.8 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 61.8 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 63.6 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 68.7 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 46.5 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 63.1 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 67.6 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 71.1 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 68.4 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 68.7 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 66.8 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 67.8 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 70.1 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 72.4 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 38.9 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 39.7 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 37.2 |
| Semana 2 | 10/06/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 66.4 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 51.8 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 58.8 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 54.9 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 66.2 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 44.4 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 54.1 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 44.2 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 54.8 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 31.4 |

| | | | | | | |
|----------|------------|-----------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 57.2 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 54.5 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 50.5 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 60.1 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 61.4 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 42.1 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 43.5 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 42.1 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 37.2 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 35.2 |
| Semana 2 | 11/06/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 61.3 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 51.8 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 58.8 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 54.9 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 66.2 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 68.7 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 59.6 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 51.7 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 60.9 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 64.4 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 65.3 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 68.7 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 64.1 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 57.4 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 59.2 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 54.2 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 68.9 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 43.3 |

| | | | | | | |
|----------|------------|-----------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 40.8 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 58.9 |
| Semana 2 | 12/06/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 67.6 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 49.4 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 46.7 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 54.5 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 50.9 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 67.4 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 65.7 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 67.4 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 68.9 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 68.3 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 71.4 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 59.6 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 72.2 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 72.1 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 69.9 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 68.5 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 68.9 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 51.9 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 45.5 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 40.2 |
| Semana 2 | 13/06/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 62.4 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 50.1 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 52.4 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 51.7 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 60.3 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 55.4 |

| | | | | | | |
|----------|------------|---------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 54.6 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 62.1 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 54.6 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 41.2 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 40.2 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 50.3 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 52.1 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 40.1 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 40.8 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 55.9 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 61.2 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 42.1 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 36.4 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 37.8 |
| Semana 2 | 14/06/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 58.9 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 48.8 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 50.6 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 52.3 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 59.1 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 61.2 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 62.3 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 51.3 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 53.9 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 45.1 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 43.8 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 42.3 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 55.1 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 42.3 |

| | | | | | | |
|----------|------------|---------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 41.5 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 54.9 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 62.8 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 42.1 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 39.8 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 37.8 |
| Semana 2 | 15/06/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 58.8 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 57.3 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 62.7 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 53.9 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 60.2 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 60.6 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 64.1 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 44.7 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 60.8 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 59.8 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 68.7 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 69.4 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 66.1 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 64.2 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 55.2 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 62.2 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 70.2 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 41.1 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 40.3 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 36.1 |
| Semana 2 | 16/06/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 62.2 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 59.3 |

| | | | | | | |
|----------|------------|--------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 65.7 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 42.6 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 43.6 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 58.3 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 66.3 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 50.3 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 65.3 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 59.6 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 52.8 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 66.8 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 73.9 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 44.8 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 46.7 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 51.3 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 63.1 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 60.2 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 47.2 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 45.1 |
| Semana 3 | 15/07/2024 | Lunes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 69.9 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 45.5 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 47.9 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 40.8 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 44.4 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 32.9 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 64.8 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 51.9 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 67.1 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 61.4 |

| | | | | | | |
|----------|------------|-----------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 57.6 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 51.4 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 73.6 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 40.8 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 45.7 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 53.7 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 58.8 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 40.2 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 42.7 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 60.6 |
| Semana 3 | 16/07/2024 | Martes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 67.2 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 56.5 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 55.7 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 49.7 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 46.2 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 40.2 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 64.3 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 53.2 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 59.4 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 43.9 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 64.8 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 63.9 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 71.8 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 56.4 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 63.6 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 52.3 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 56.8 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 43.2 |

| | | | | | | |
|----------|------------|-----------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 40.6 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 57.8 |
| Semana 3 | 17/07/2024 | Miércoles | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 62.4 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 54.2 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 52 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 44.1 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 42 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 36.4 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 62.2 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 52.1 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 62.4 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 57.4 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 63.1 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 62.8 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 70.8 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 42.4 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 54.6 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 51 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 58.4 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 42.1 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 45.2 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 56.1 |
| Semana 3 | 18/07/2024 | Jueves | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 60 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 56 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 61 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 46.7 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 45.1 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 37.4 |

| | | | | | | |
|----------|------------|---------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 63.5 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 50.9 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 64.5 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 44.8 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 55.7 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 64.1 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 71.1 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 45.6 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 57.1 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 54.2 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 62.1 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 40.2 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 42.3 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 56.2 |
| Semana 3 | 19/07/2024 | Viernes | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 59.9 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 54.2 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 52.1 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 46 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 44.2 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 39.9 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 60 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 51.1 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 61.2 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 42.1 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 54.4 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 61.2 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 66.4 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 44.1 |

| | | | | | | |
|----------|------------|---------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 58.5 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 52.2 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 54.3 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 42.4 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 41.2 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 54.2 |
| Semana 3 | 20/07/2024 | Sábado | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 59.4 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 52.2 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 52.4 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 49.4 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 44.1 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 36.8 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 62.1 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 49.9 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 63.7 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 45.2 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 59.9 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 58.8 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 72.2 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 42.6 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 60.1 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 51.3 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 62.1 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 43.5 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 40.1 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 52.1 |
| Semana 3 | 21/07/2024 | Domingo | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 58.7 |

| Semana | Pila | Área | Puntos de Medición | pH |
|----------|--------|-----------|--------------------|------|
| Semana 1 | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 8.69 |
| Semana 1 | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 8.27 |
| Semana 1 | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 8.53 |
| Semana 1 | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 8.12 |
| Semana 1 | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 8.39 |
| Semana 1 | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 8.49 |
| Semana 1 | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 8.25 |
| Semana 1 | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 8.16 |
| Semana 1 | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 8.41 |
| Semana 1 | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 8.38 |
| Semana 1 | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 8.24 |
| Semana 1 | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 8.44 |
| Semana 1 | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 8.44 |
| Semana 1 | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 8.53 |
| Semana 1 | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 8.4 |
| Semana 1 | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 8.29 |
| Semana 1 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 8.31 |
| Semana 1 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 8.62 |
| Semana 1 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 8.61 |
| Semana 1 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 8.64 |
| Semana 1 | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 7.89 |
| Semana 1 | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 7.94 |
| Semana 1 | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 8.26 |
| Semana 1 | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 7.59 |
| Semana 1 | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 8.24 |
| Semana 1 | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 8.31 |
| Semana 1 | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 8.25 |

| | | | | |
|----------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 1 | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 7.94 |
| Semana 1 | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 8.12 |
| Semana 1 | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 7.76 |
| Semana 1 | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 8.34 |
| Semana 1 | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 8.28 |
| Semana 1 | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 8.29 |
| Semana 1 | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 7.87 |
| Semana 1 | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 7.94 |
| Semana 1 | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 8.16 |
| Semana 1 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 8.32 |
| Semana 1 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 8.19 |
| Semana 1 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 8.25 |
| Semana 1 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 8.22 |
| Semana 2 | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 6.74 |
| Semana 2 | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 7.26 |
| Semana 2 | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 7.4 |
| Semana 2 | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 7.5 |
| Semana 2 | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 8.15 |
| Semana 2 | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 8.13 |
| Semana 2 | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 7.4 |
| Semana 2 | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 7.9 |
| Semana 2 | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 8.16 |
| Semana 2 | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 8.21 |
| Semana 2 | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 8.12 |
| Semana 2 | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 8.17 |
| Semana 2 | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 8.24 |
| Semana 2 | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 8.6 |
| Semana 2 | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 8.45 |

| | | | | |
|----------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 2 | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 8.1 |
| Semana 2 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 8.12 |
| Semana 2 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 8.1 |
| Semana 2 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 8.24 |
| Semana 2 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 8.4 |
| Semana 2 | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 8.1 |
| Semana 2 | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 8.12 |
| Semana 2 | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 8.24 |
| Semana 2 | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 7.9 |
| Semana 2 | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 8.3 |
| Semana 2 | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 8.1 |
| Semana 2 | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 8.24 |
| Semana 2 | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 8.3 |
| Semana 2 | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 8.3 |
| Semana 2 | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 8.12 |
| Semana 2 | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 8.1 |
| Semana 2 | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 7.9 |
| Semana 2 | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 8.1 |
| Semana 2 | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 7.4 |
| Semana 2 | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 8.1 |
| Semana 2 | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 7.9 |
| Semana 2 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 8.12 |
| Semana 2 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 8.1 |
| Semana 2 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 8.12 |
| Semana 2 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 8.14 |
| Semana 3 | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 8.94 |
| Semana 3 | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 8.22 |
| Semana 3 | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 8.1 |

| | | | | |
|----------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 3 | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 8.1 |
| Semana 3 | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 9 |
| Semana 3 | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 8.76 |
| Semana 3 | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 8.2 |
| Semana 3 | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 8.1 |
| Semana 3 | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 9.02 |
| Semana 3 | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 8.36 |
| Semana 3 | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 8.41 |
| Semana 3 | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 8.2 |
| Semana 3 | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 8.89 |
| Semana 3 | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 8.7 |
| Semana 3 | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 8.51 |
| Semana 3 | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 8.2 |
| Semana 3 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 8.74 |
| Semana 3 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 8.62 |
| Semana 3 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 8.22 |
| Semana 3 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 8.1 |
| Semana 3 | Pila 1 | Recepción | Punto 1 | 8.24 |
| Semana 3 | Pila 1 | Recepción | Punto 2 | 7.9 |
| Semana 3 | Pila 1 | Recepción | Punto 3 | 8.1 |
| Semana 3 | Pila 1 | Recepción | Punto 4 | 7.8 |
| Semana 3 | Pila 2 | Termófila | Punto 1 | 8.88 |
| Semana 3 | Pila 2 | Termófila | Punto 2 | 8.56 |
| Semana 3 | Pila 2 | Termófila | Punto 3 | 8.23 |
| Semana 3 | Pila 2 | Termófila | Punto 4 | 8.2 |
| Semana 3 | Pila 3 | Termófila | Punto 1 | 9.1 |
| Semana 3 | Pila 3 | Termófila | Punto 2 | 8.2 |
| Semana 3 | Pila 3 | Termófila | Punto 3 | 8.24 |

| | | | | |
|----------|--------|-----------|---------|------|
| Semana 3 | Pila 3 | Termófila | Punto 4 | 7.8 |
| Semana 3 | Pila 4 | Oreado | Punto 1 | 8.7 |
| Semana 3 | Pila 4 | Oreado | Punto 2 | 8.68 |
| Semana 3 | Pila 4 | Oreado | Punto 3 | 8.42 |
| Semana 3 | Pila 4 | Oreado | Punto 4 | 8.4 |
| Semana 3 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 1 | 8.82 |
| Semana 3 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 2 | 8.4 |
| Semana 3 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 3 | 8.22 |
| Semana 3 | Pila 5 | Zarandeo | Punto 4 | 8.12 |

Tabla 32. Análisis de Varianza de la densidad aparente en las diferentes etapas de composta.

| Fuente | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F | Pr > F | p-valor |
|-----------------|--------|-------------------|------------------|-------|--------|---------|
| Modelo | 3.000 | 8443.588 | 2814.529 | 0.167 | 0.918 | ° |
| Error | 56.000 | 946445.646 | 16900.815 | | | |
| Total corregido | 59.000 | 954889.235 | | | | |

Tabla 33. Prueba de Tuckey con respecto a la densidad aparente

| Categoría | Media | S (Desviación Estándar) | Repetición | Mínimo | Máximo | Grupos |
|-----------|---------|-------------------------|------------|--------|--------|--------|
| Zarandeo | 594.998 | 160.64 | 12 | 462.96 | 833.33 | a |
| Oreado | 586.197 | 128.38 | 12 | 500 | 781.2 | a |
| Recepción | 575.076 | 131.61 | 12 | 409.84 | 781.25 | a |
| Termófila | 564.924 | 112.43 | 24 | 454.55 | 781.25 | a |

Tabla 34. Análisis de Varianza de la relación C/N en las diferentes etapas de composta

| Fuente | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F | Pr > F | p-valor |
|-----------------|--------|-------------------|------------------|-------|--------|---------|
| Modelo | 3.000 | 6.952 | 2.317 | 0.646 | 0.589 | ° |
| Error | 56.000 | 200.909 | 3.588 | | | |
| Total corregido | 59.000 | 207.861 | | | | |

Tabla 35. Prueba de Tuckey con respecto a la Relación C/N

| Categoría | Media | S (Desviación Estándar) | Repetición | Mínimo | Máximo | Grupos |
|-----------|-------|-------------------------|------------|--------|--------|--------|
| Termófila | 57.61 | 2.048 | 24 | 7.401 | 14.402 | a |
| Oreado | 55.59 | 1.922 | 12 | 7.456 | 13.472 | a |
| Recepción | 55.47 | 1.476 | 12 | 7.689 | 11.99 | a |
| Zarandeo | 47.81 | 1.9 | 12 | 8.543 | 13.589 | a |



Figura 15. Llegada a la planta de compostaje de la MPLP.



Figura 16. Área de recepción de Residuos Orgánicos



Figura 17.. Área Termófila



Figura 18. Área de Oreado y Zarandeo



Figura 19. Equipos de medición (Explosímetro-Termocupla con Sonda)



Figura 20. Medición del largo, ancho y alto de las pilas de composta.



Figura 21. Medición de gases y parámetros físicos en el punto 1, punto 2, punto 3 y punto 4.



Figura 22. Medición De Gases CO, CO₂, CH₄ en El Punto 1.



Figura 23. Medición De Gases CO, CO₂, CH₄ en el punto 2.



Figura 24. Medición De Gases CO, CO₂, CH₄ en el punto 3.



Figura 25. Medición De Gases CO , CO_2 , CH_4 En El Punto 4.



Figura 26. Medición de temperatura en el punto 1.



Figura 27. Medición de temperatura en el punto 2.



Figura 28. Medición de temperatura en el punto 3.



Figura 29. Medición de temperatura en el punto 4.



Figura 30. Se extrae 1kg de sustrato de cada punto de las pilas de composta para los parámetros fisicoquímicos.



Figura 31. Muestras de composta llevadas al laboratorio.

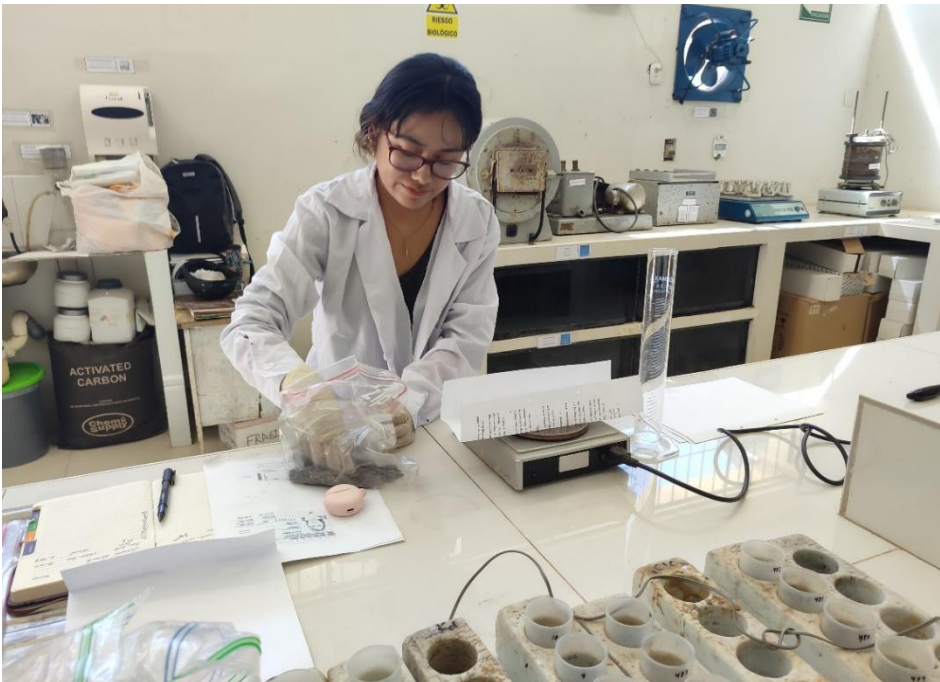


Figura 32. Pesado de compost para la humedad.

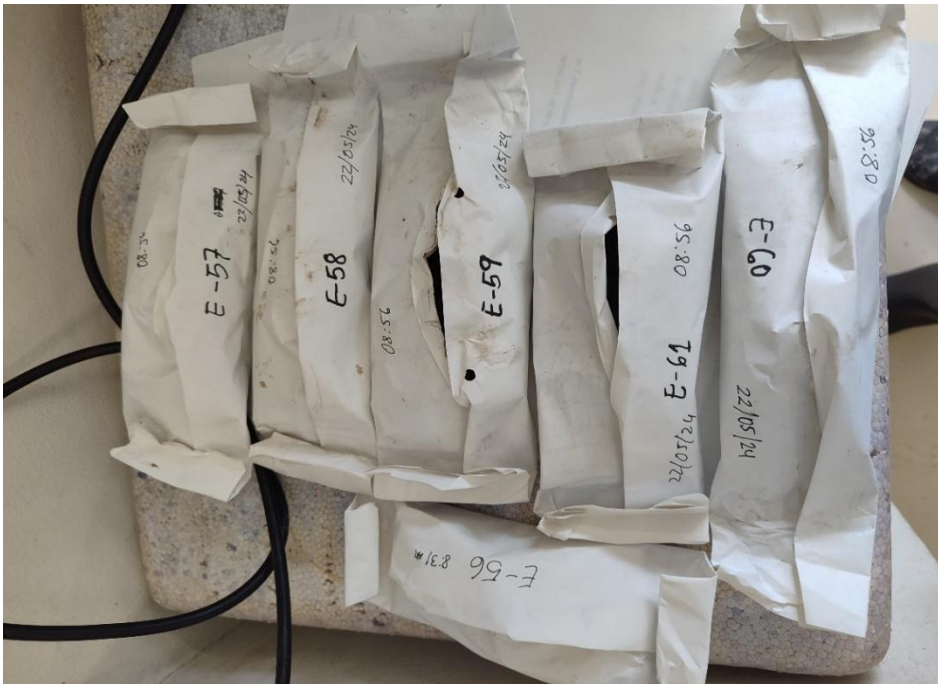


Figura 33. Muestras de 100 gr de composta.



Figura 34.. Muestras de composta colocados al horno a una temperatura de 105°C X 24h.



Figura 35. Muestras de composta después de 24 horas.



Figura 36. Muestras de 20 gr para el parámetro de pH.



Figura 37. Muestras de composta diluidas con agua oxigenada para el parámetro de pH.



Figura 38. Pesado de composta para hallar la densidad aparente.



Figura 39. Uso de probeta para el procedimiento de la densidad aparente.



Figura 40. Densidad aparente de composta.

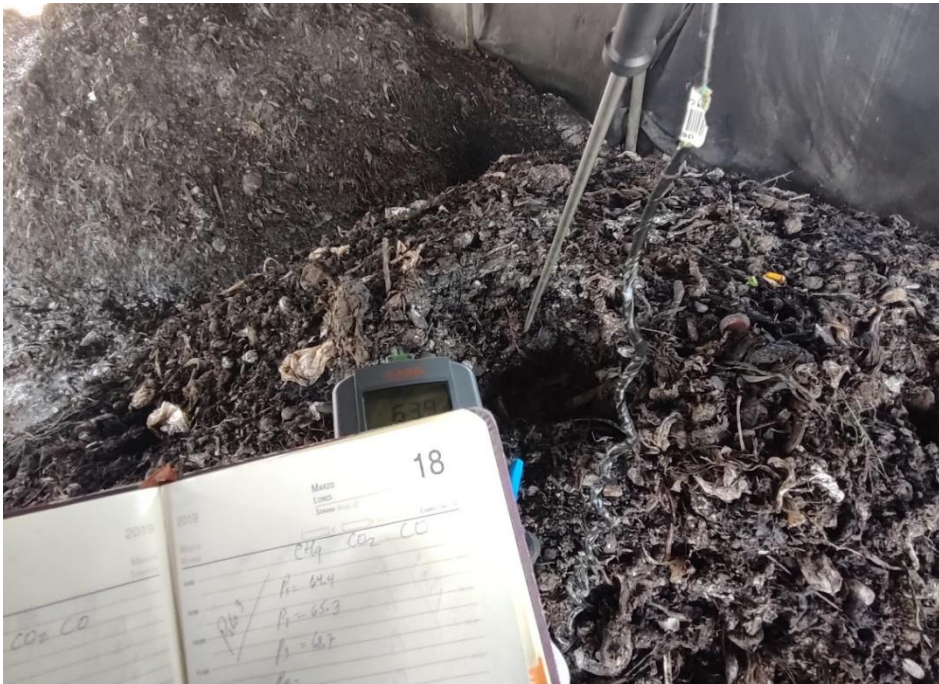


Figura 41. Toma de datos de campo.



Figura 42. Visualización de datos de gases en la pila de composta.



Figura 43. Visualización del dato de temperatura en la pila de composta.



Figura 44. Codificación de muestras para hallar la humedad.



ANÁLISIS ESPECIAL


1. DATOS

| | | | |
|---------------|---------------------------------|----------------------------|----------------|
| SOLICITANTE: | RAMOS MORALES JOICE YORELI | MUESTREADO POR: | EL SOLICITANTE |
| DEPARTAMENTO: | HUANUCO | FECHA DE RECEPCION: | 22/05/2024 |
| PROVINCIA: | LEONCIO PRADO | FECHA DE INICIO DE ENBAYO: | 22/05/2024 |
| DISTRITO: | LUYANDO | FECHA DE REPORTE: | 29/05/2024 |
| LOCALIDAD: | SHAPAJILLA | RECIBO O FACTURA: | 48198 |
| MUESTRA: | PLANTA DE COMPOSTAJE DE LA MPLP | OBSERVACION: | — |

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

| DATOS DE LA MUESTRA | | RESULTADOS | | | | | | |
|---------------------|-------|----------------|------------------|----------------------|-------------|---------|--------|---------|
| Código | Dato | Humedad Hd (%) | Materia Seca (%) | Materia Organica (%) | Cenizas (%) | C (%) | N (%) | C/N |
| E24-051-1 | P1_P1 | 24.7525 | 75.2475 | 36.1386 | 39.1089 | 18.0693 | 2.1840 | 8.2735 |
| E24-051-2 | P1_P2 | 24.8039 | 75.1961 | 31.8627 | 33.3333 | 15.9314 | 2.0720 | 7.6889 |
| E24-051-3 | P1_P3 | 18.9320 | 81.0680 | 36.8932 | 44.1748 | 18.4466 | 2.2960 | 8.0342 |
| E24-051-4 | P1_P4 | 26.2376 | 73.7624 | 37.6238 | 36.1386 | 18.8119 | 1.9600 | 9.5979 |
| E24-051-5 | P2_P1 | 25.7426 | 74.2574 | 35.6436 | 38.6139 | 17.8218 | 2.4080 | 7.4011 |
| E24-051-6 | P2_P2 | 38.6139 | 61.3861 | 29.7030 | 31.6832 | 14.8515 | 1.8480 | 8.0365 |
| E24-051-7 | P2_P3 | 35.2584 | 64.7416 | 29.5262 | 35.2154 | 14.7631 | 1.9214 | 7.6835 |
| E24-051-8 | P2_P4 | 37.9855 | 62.0145 | 31.8667 | 30.1478 | 15.9334 | 1.9562 | 8.1451 |
| E24-051-9 | P3_P1 | 38.2775 | 61.7225 | 33.9713 | 27.7512 | 16.9856 | 1.6240 | 10.4591 |
| E24-051-10 | P3_P2 | 36.4589 | 63.5411 | 31.9586 | 31.5825 | 15.9793 | 1.6895 | 9.4580 |
| E24-051-11 | P3_P3 | 35.5897 | 64.4103 | 33.7121 | 30.6982 | 16.8560 | 1.6634 | 10.1335 |
| E24-051-12 | P3_P4 | 37.2549 | 62.7451 | 32.8696 | 29.8755 | 16.4348 | 1.7025 | 9.6533 |
| E24-051-13 | P4_P1 | 31.2195 | 68.7805 | 35.1820 | 33.5985 | 17.5910 | 2.1280 | 8.2664 |
| E24-051-14 | P4_P2 | 31.2456 | 68.7544 | 35.1665 | 33.5879 | 17.5833 | 2.1025 | 8.3632 |
| E24-051-15 | P4_P3 | 31.6589 | 68.3411 | 33.7153 | 34.6258 | 16.8577 | 2.0689 | 8.1481 |
| E24-051-16 | P4_P4 | 32.1546 | 67.8454 | 34.5104 | 33.3350 | 17.2552 | 2.0145 | 8.5655 |
| E24-051-17 | P5_P1 | 29.2683 | 70.7317 | 40.9756 | 29.7561 | 20.4878 | 1.9600 | 10.4530 |
| E24-051-18 | P5_P2 | 32.0388 | 67.9612 | 36.4078 | 31.5534 | 18.2039 | 2.1280 | 8.5545 |
| E24-051-19 | P5_P3 | 33.8164 | 66.1836 | 38.1643 | 28.0193 | 19.0821 | 2.1280 | 8.9672 |
| E24-051-20 | P5_P4 | 31.5682 | 68.4318 | 34.1729 | 34.2589 | 17.0865 | 2.0000 | 8.5432 |

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.
Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María


Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María
analisisdesuelosnas@hotmail.com



CELULAR 944407531

Escaneado con CamScanner

Figura 45. Resultados de análisis.



ANÁLISIS ESPECIAL



1. DATOS

| | | | |
|---------------|---------------------------------|----------------------------|----------------|
| SOLICITANTE: | RAMOS MORALES JOICE YORELI | MUESTREADO POR: | EL SOLICITANTE |
| DEPARTAMENTO: | HUANUCO | FECHA DE RECEPCION: | 10/6/2024 |
| PROVINCIA: | LEONCIO PRADO | FECHA DE INICIO DE ENSAYO: | 10/6/2024 |
| DISTRITO: | LUYANDO | FECHA DE REPORTE: | 14/06/2024 |
| LOCALIDAD: | SHAPAJILLA | RECIBO O FACTURA: | 51459 |
| MUESTRA: | PLANTA DE COMPOSTAJE DE LA MPLP | OBSERVACION: | — |

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

| DATOS DE LA MUESTRA | | RESULTADOS | | | | | | |
|---------------------|-------|----------------|------------------|----------------------|-------------|---------|--------|---------|
| Código | Dato | Humedad Hd (%) | Materia Seca (%) | Materia Organica (%) | Cenizas (%) | C (%) | N (%) | C/N |
| E24-087-1 | P1_P1 | 44.6903 | 55.3097 | 32.7434 | 22.5664 | 16.3717 | 1.9040 | 8.5986 |
| E24-087-2 | P1_P2 | 46.2222 | 53.7778 | 41.7778 | 12.0000 | 20.8889 | 1.9600 | 10.6576 |
| E24-087-3 | P1_P3 | 19.7248 | 80.2752 | 37.6147 | 42.6606 | 18.8073 | 1.9600 | 9.5956 |
| E24-087-4 | P1_P4 | 18.1395 | 81.8605 | 30.2326 | 51.6279 | 15.1163 | 1.8760 | 8.0577 |
| E24-087-5 | P2_P1 | 15.5660 | 84.4340 | 39.6226 | 44.8113 | 19.8113 | 2.5200 | 7.8616 |
| E24-087-6 | P2_P2 | 44.3946 | 55.6054 | 27.8027 | 27.8027 | 13.9013 | 1.8480 | 7.5224 |
| E24-087-7 | P2_P3 | 38.6473 | 61.3527 | 31.4010 | 29.9517 | 15.7005 | 1.9040 | 8.2461 |
| E24-087-8 | P2_P4 | 19.1589 | 80.8411 | 35.5140 | 45.3271 | 17.7570 | 1.7920 | 9.9090 |
| E24-087-9 | P3_P1 | 18.2609 | 81.7391 | 36.5217 | 45.2174 | 18.2609 | 1.7360 | 10.5189 |
| E24-087-10 | P3_P2 | 18.5520 | 81.4480 | 42.0814 | 39.3665 | 21.0407 | 2.1840 | 9.6340 |
| E24-087-11 | P3_P3 | 36.1502 | 63.8498 | 35.6808 | 28.1690 | 17.8404 | 1.6160 | 11.0398 |
| E24-087-12 | P3_P4 | 30.0000 | 70.0000 | 36.7656 | 33.2344 | 18.3828 | 1.9898 | 9.2385 |
| E24-087-13 | P4_P1 | 19.0265 | 80.9735 | 36.7257 | 44.2478 | 18.3628 | 2.2400 | 8.1977 |
| E24-087-14 | P4_P2 | 18.3486 | 81.6514 | 30.7339 | 50.9174 | 15.3670 | 1.6800 | 9.1470 |
| E24-087-15 | P4_P3 | 15.6398 | 84.3602 | 35.0711 | 49.2891 | 17.5355 | 2.3520 | 7.4556 |
| E24-087-16 | P4_P4 | 39.2157 | 60.7843 | 37.7451 | 23.0392 | 18.8725 | 1.7360 | 10.8713 |
| E24-087-17 | P5_P1 | 32.1267 | 67.8733 | 29.4118 | 38.4615 | 14.7059 | 1.1200 | 13.1303 |
| E24-087-18 | P5_P2 | 18.2609 | 81.7391 | 32.1739 | 49.5652 | 16.0870 | 1.7920 | 8.9771 |
| E24-087-19 | P5_P3 | 17.1806 | 82.8194 | 32.5991 | 50.2203 | 16.2996 | 1.9040 | 8.5607 |
| E24-087-20 | P5_P4 | 17.9245 | 82.0755 | 39.1509 | 42.9245 | 19.5755 | 1.9600 | 9.9875 |

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.
Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

[Handwritten Signature]
Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Carretera Central Km 1.21 - Tingo María

analisisdesuelosunas@hotmail.com

CELULAR 944407531

Escaneado con CamScanner

Figura 46. Resultado de análisis.



ANÁLISIS ESPECIAL



1. DATOS

| | | | |
|---------------|---------------------------------|----------------------------|----------------|
| SOLICITANTE: | RAMOS MORALES JOICE YORELI | MUESTREADO POR: | EL SOLICITANTE |
| DEPARTAMENTO: | HUANUCO | FECHA DE RECEPCION: | 15/07/2024 |
| PROVINCIA: | LEONCIO PRADO | FECHA DE INICIO DE ENSAYO: | 15/07/2024 |
| DISTRITO: | LUYANDO | FECHA DE REPORTE: | 20/07/2024 |
| LOCALIDAD: | SHAPAJILLA | RECIBO O FACTURA: | 51459 |
| MUESTRA: | PLANTA DE COMPOSTAJE DE LA MPLP | OBSERVACION: | — |

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

| DATOS DE LA MUESTRA | | RESULTADOS | | | | | | |
|---------------------|-------|----------------|------------------|----------------------|-------------|---------|--------|---------|
| Código | Dato | Humedad Hd (%) | Materia Seca (%) | Materia Organica (%) | Cenizas (%) | C (%) | N (%) | C/N |
| E24-096-1 | P1_P1 | 37.5000 | 62.5000 | 42.0000 | 20.5000 | 21.0000 | 1.9040 | 11.0294 |
| E24-096-2 | P1_P2 | 39.5000 | 60.5000 | 47.0000 | 13.5000 | 23.5000 | 1.9600 | 11.9898 |
| E24-096-3 | P1_P3 | 36.5000 | 63.5000 | 42.0000 | 21.5000 | 21.0000 | 1.9600 | 10.7143 |
| E24-096-4 | P1_P4 | 39.0000 | 61.0000 | 45.0000 | 16.0000 | 22.5000 | 1.8760 | 11.9936 |
| E24-096-5 | P2_P1 | 25.5000 | 74.5000 | 47.0000 | 27.5000 | 23.5000 | 2.5200 | 9.3254 |
| E24-096-6 | P2_P2 | 38.0000 | 62.0000 | 50.0000 | 12.0000 | 25.0000 | 1.8480 | 13.5281 |
| E24-096-7 | P2_P3 | 36.5000 | 63.5000 | 47.0000 | 16.5000 | 23.5000 | 1.9040 | 12.3424 |
| E24-096-8 | P2_P4 | 13.5000 | 86.5000 | 50.0000 | 36.5000 | 25.0000 | 1.7920 | 13.9509 |
| E24-096-9 | P3_P1 | 38.0000 | 62.0000 | 50.0000 | 12.0000 | 25.0000 | 1.7360 | 14.4009 |
| E24-096-10 | P3_P2 | 20.5000 | 79.5000 | 33.5000 | 46.0000 | 16.7500 | 2.0180 | 8.3003 |
| E24-096-11 | P3_P3 | 32.0000 | 68.0000 | 33.0000 | 35.0000 | 16.5000 | 1.6160 | 10.2104 |
| E24-096-12 | P3_P4 | 38.5000 | 61.5000 | 34.0000 | 27.5000 | 17.0000 | 2.0584 | 8.2588 |
| E24-096-13 | P4_P1 | 36.5000 | 63.5000 | 38.5000 | 25.0000 | 19.2500 | 1.8900 | 10.1852 |
| E24-096-14 | P4_P2 | 11.0000 | 89.0000 | 41.5000 | 47.5000 | 20.7500 | 1.6800 | 12.3512 |
| E24-096-15 | P4_P3 | 11.0000 | 89.0000 | 48.5000 | 40.5000 | 24.2500 | 2.3520 | 10.3104 |
| E24-096-16 | P4_P4 | 38.0000 | 62.0000 | 48.0000 | 14.0000 | 24.0000 | 1.7360 | 13.8249 |
| E24-096-17 | P5_P1 | 21.5000 | 78.5000 | 49.5000 | 29.0000 | 24.7500 | 1.8200 | 13.5989 |
| E24-096-18 | P5_P2 | 16.0000 | 84.0000 | 44.2540 | 39.7460 | 22.1270 | 1.7920 | 12.3477 |
| E24-096-19 | P5_P3 | 16.5000 | 83.5000 | 42.5000 | 41.0000 | 21.2500 | 1.9040 | 11.1607 |
| E24-096-20 | P5_P4 | 13.0000 | 87.0000 | 50.0000 | 37.0000 | 25.0000 | 1.9600 | 12.7551 |

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Carretera Central Km 1.21 - Tingo María

analisisdesuelosunas@hotmail.com

CELULAR 944407531

Escaneado con CamScanner

Figura 47. Resultado de análisis.

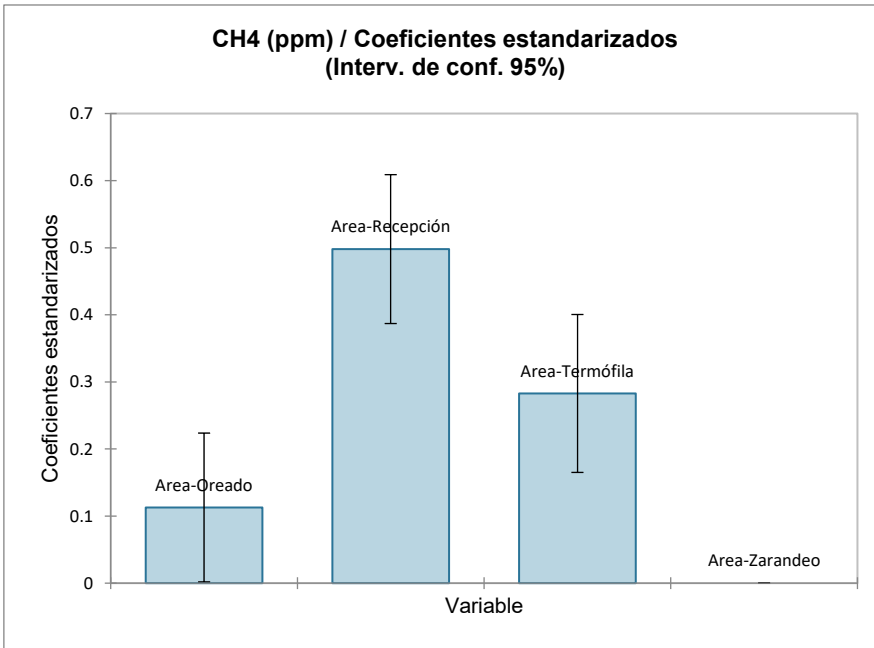


Figura 48. Coeficientes estandarizados de CH₄ (ppm).

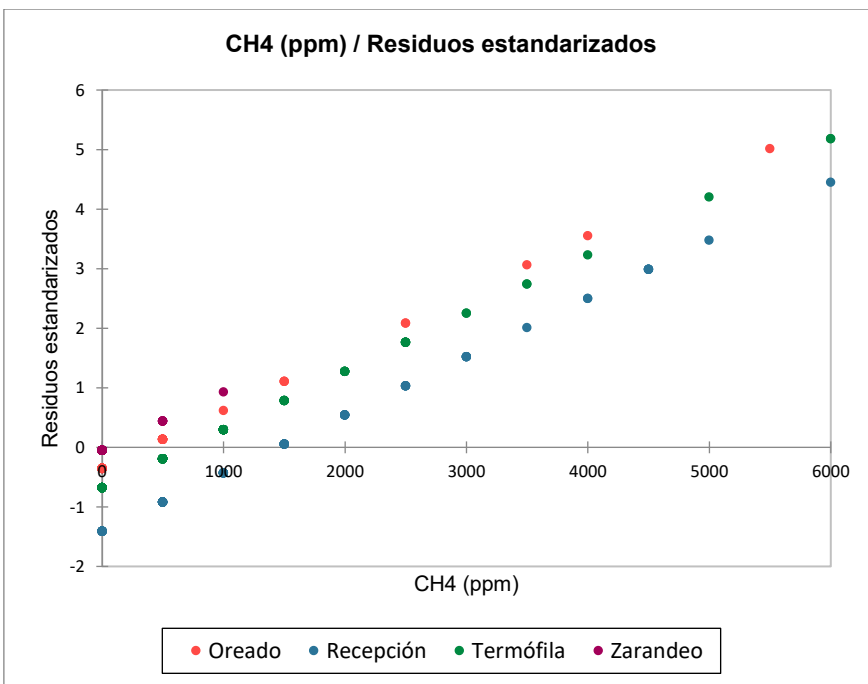


Figura 49. Residuos estandarizados CH₄ (ppm).

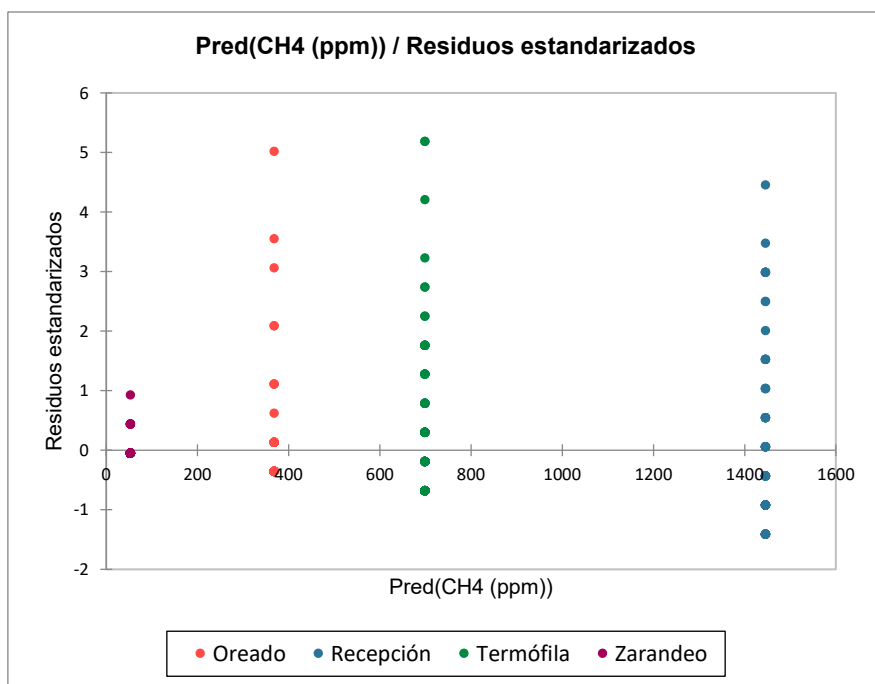


Figura 50. Pred(CH₄ (ppm)) / Residuos estandarizados.

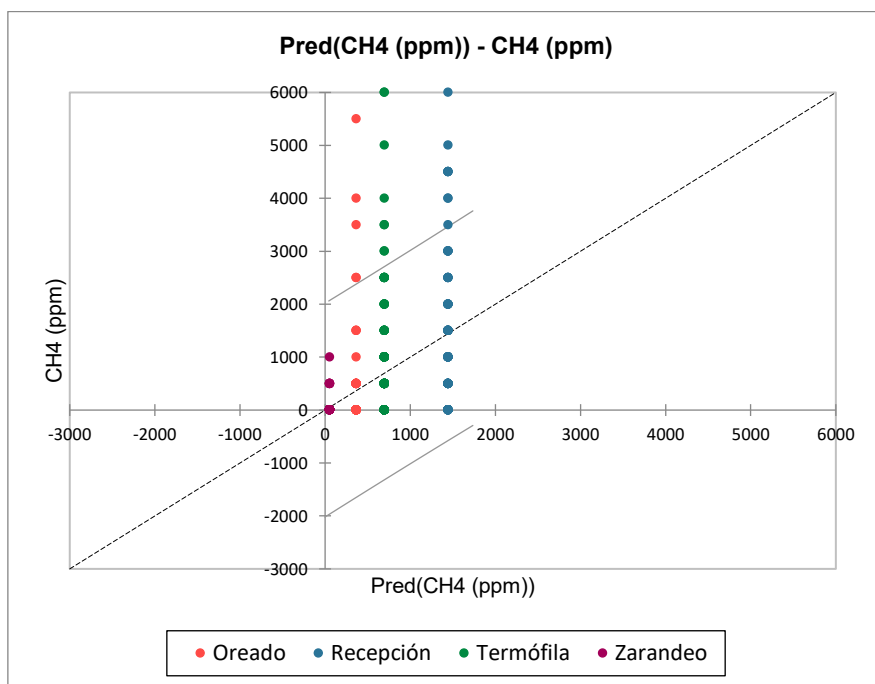


Figura 51. Pred (CH₄ (ppm)) - CH₄ (ppm).

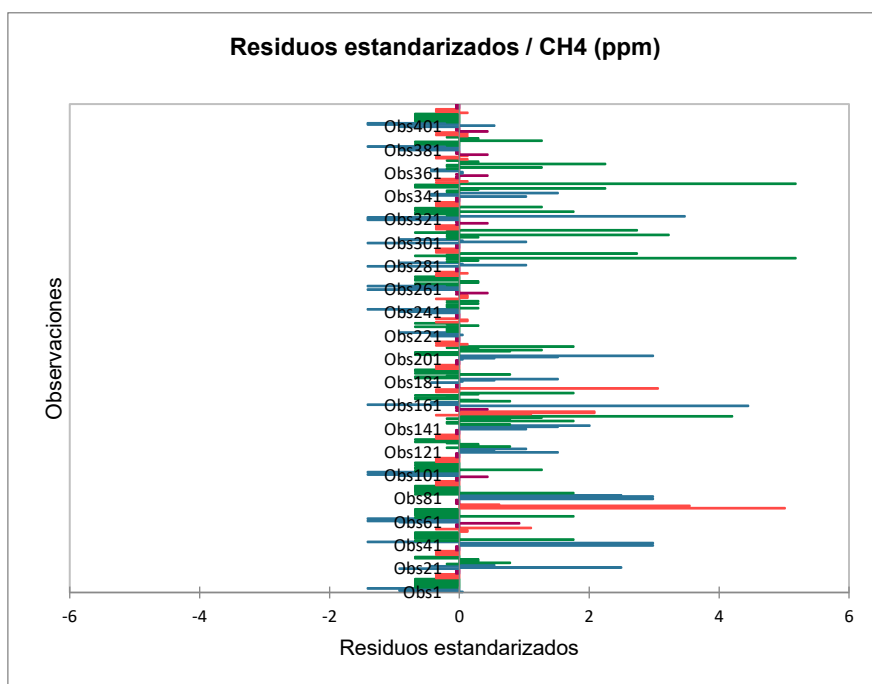


Figura 52. Residuos estandarizados / CH₄ (ppm).

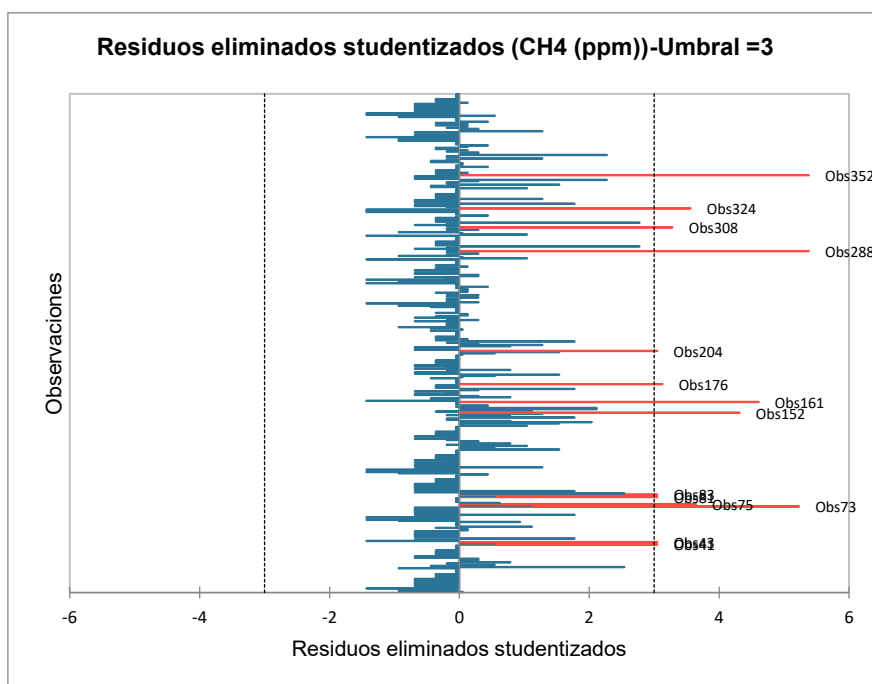


Figura 53. Residuos eliminados studentizados (CH₄ (ppm))-Umbral =3.

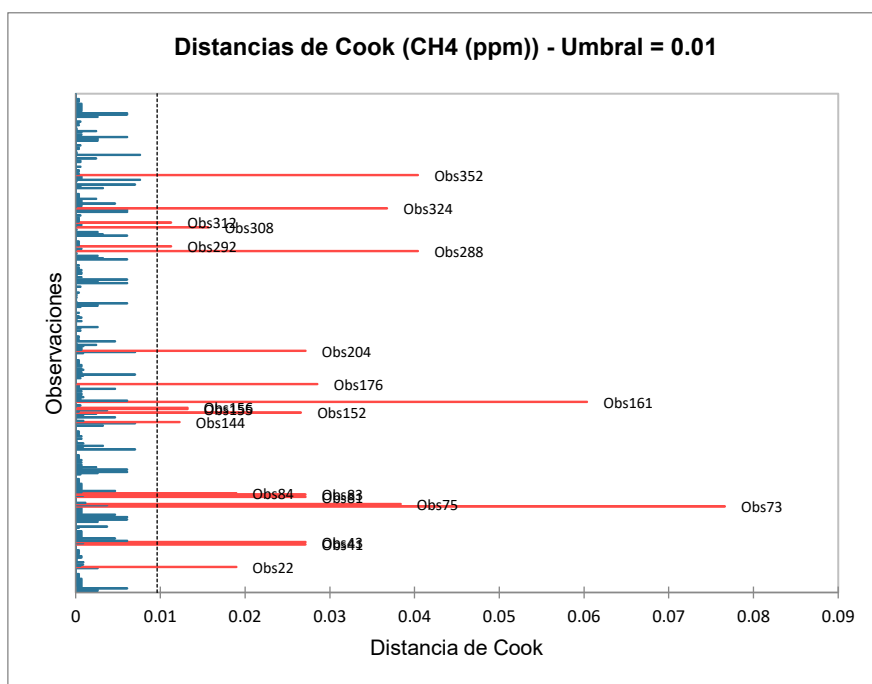


Figura 54. Distancias de Cook (CH₄ (ppm)) - Umbral = 0.01.

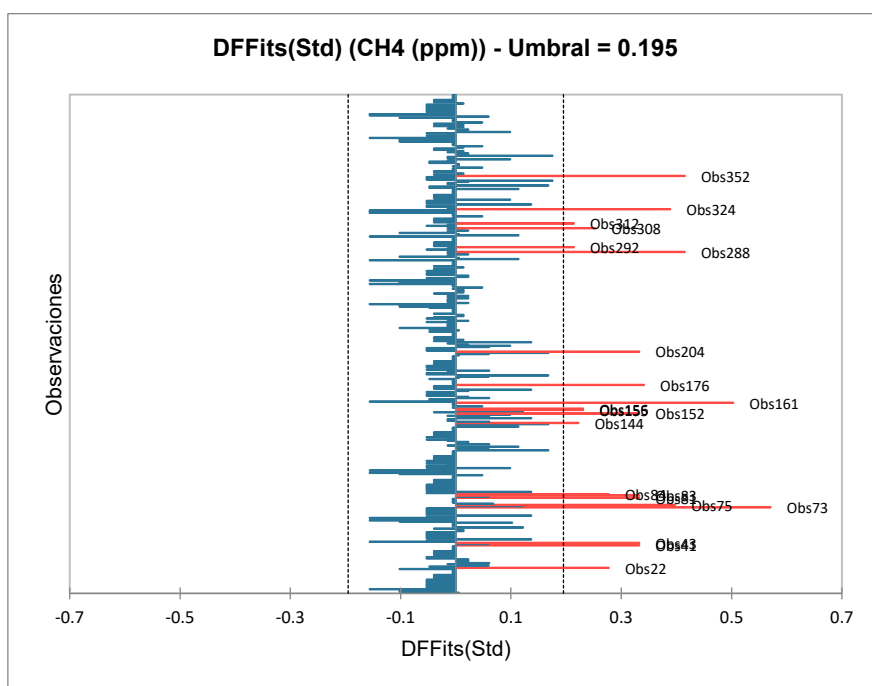


Figura 55. DFFits(Std) (CH₄ (ppm)) - Umbral = 0.195.

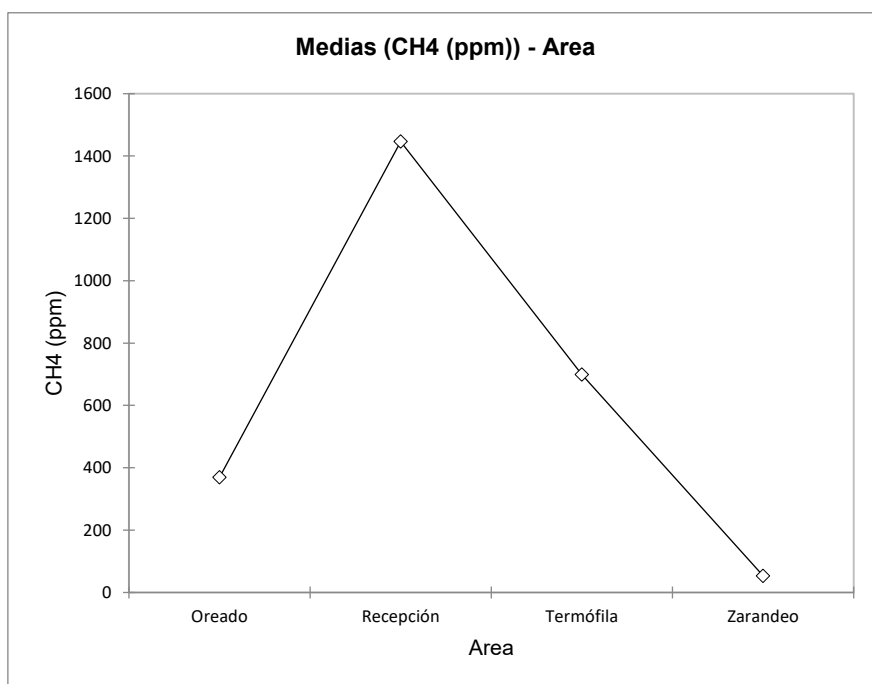


Figura 56. Medias CH₄ (ppm).

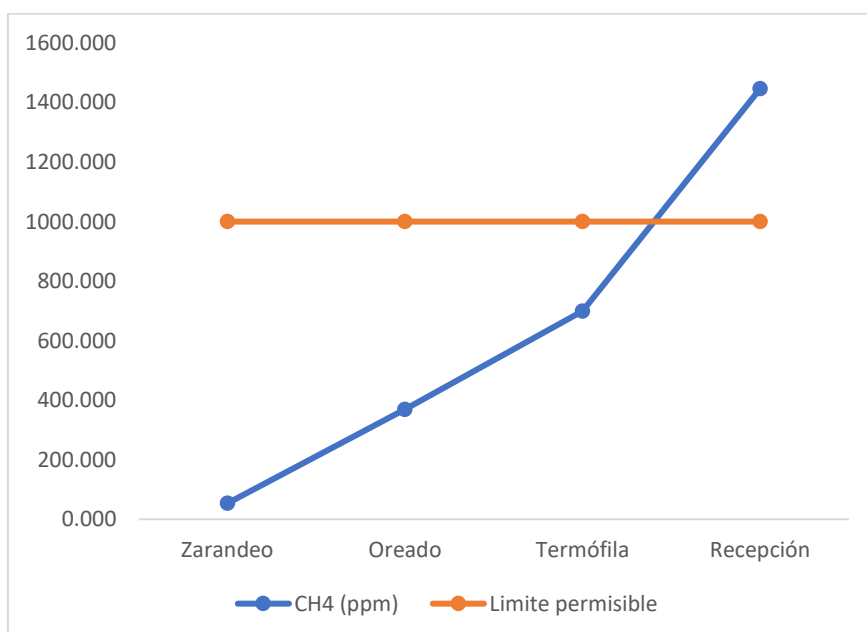


Figura 57. Gráfico comparativo de CH₄ (ppm) vs. Límite permisible.

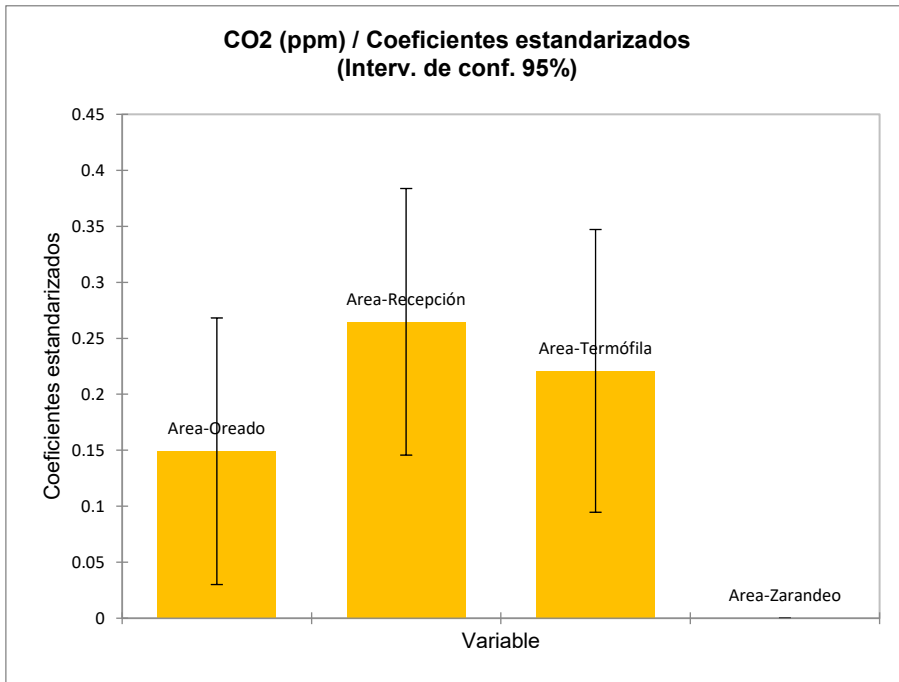


Figura 58. CO₂ (ppm) / Coeficientes estandarizados (Interv. de conf. 95%).

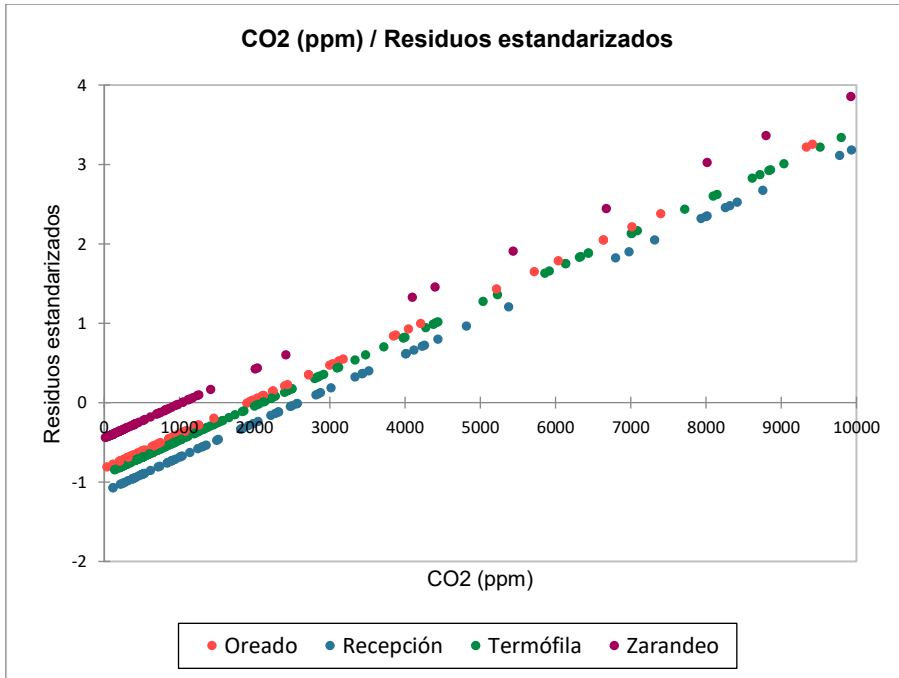


Figura 59. CO₂ (ppm) / Residuos estandarizados.

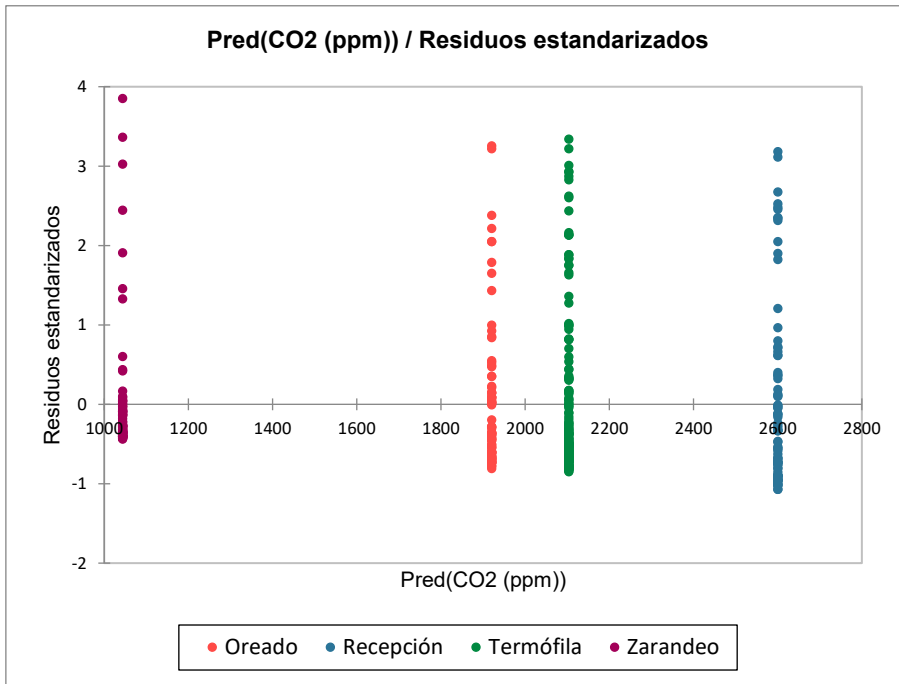


Figura 60. Pred(CO₂ (ppm)) / Residuos estandarizados.

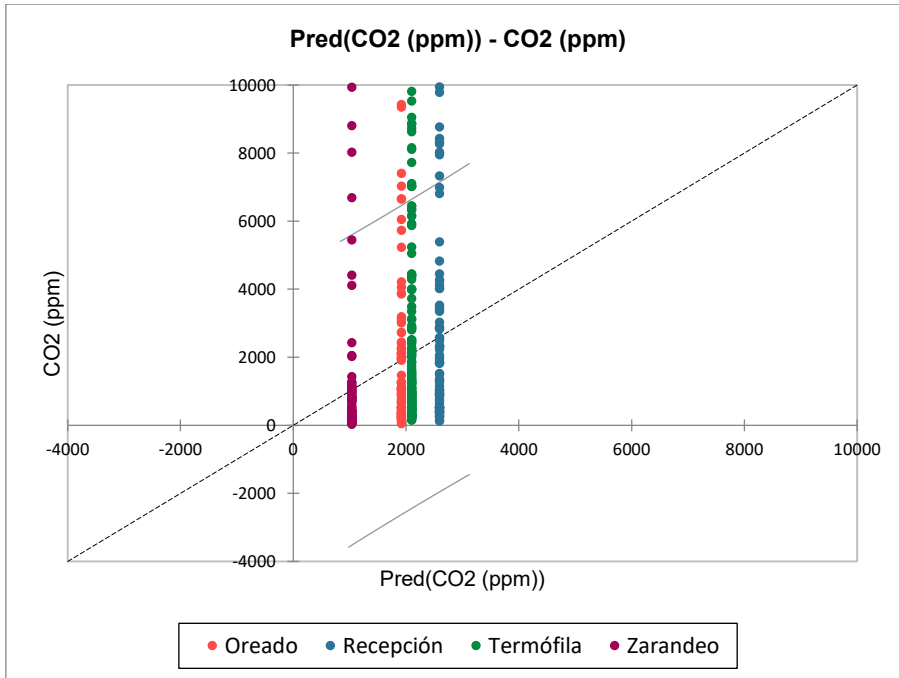


Figura 61.. Pred(CO₂ (ppm)) - CO₂ (ppm).

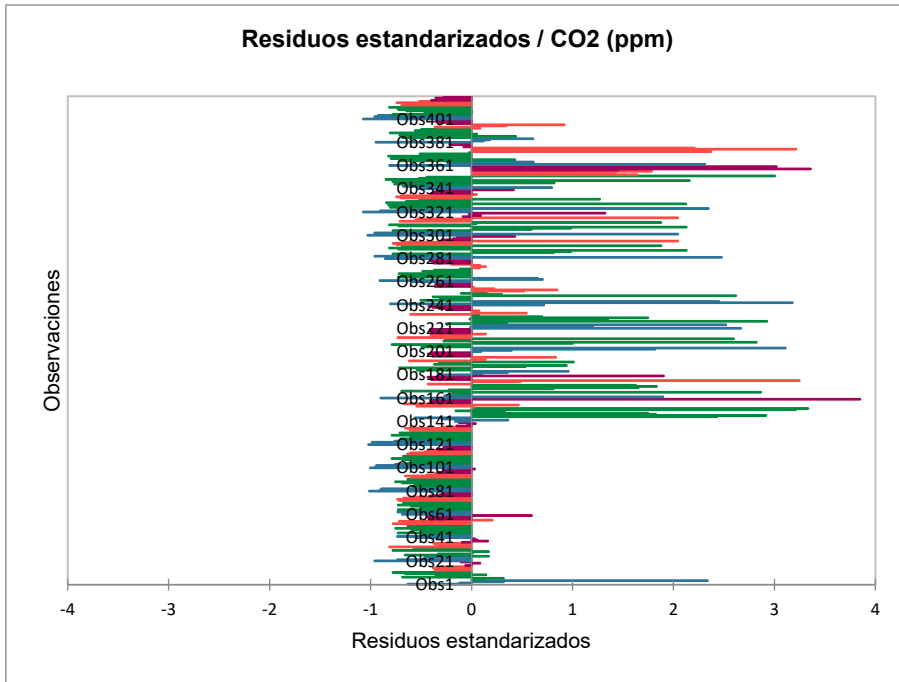


Figura 62. Residuos estandarizados / CO₂ (ppm).

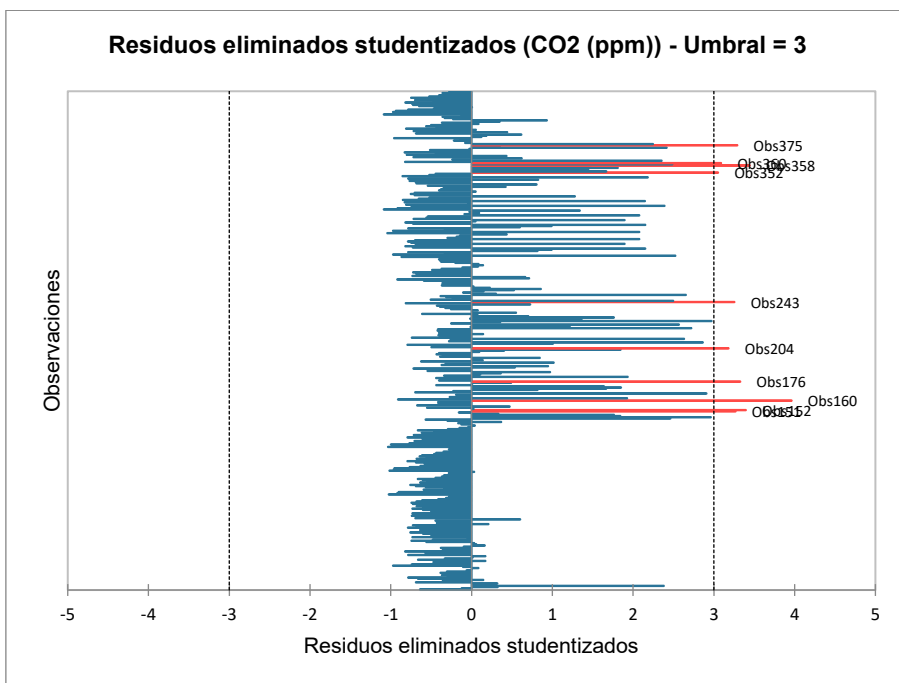


Figura 63. Residuos eliminados studentizados (CO₂ (ppm)) - Umbral = 3.

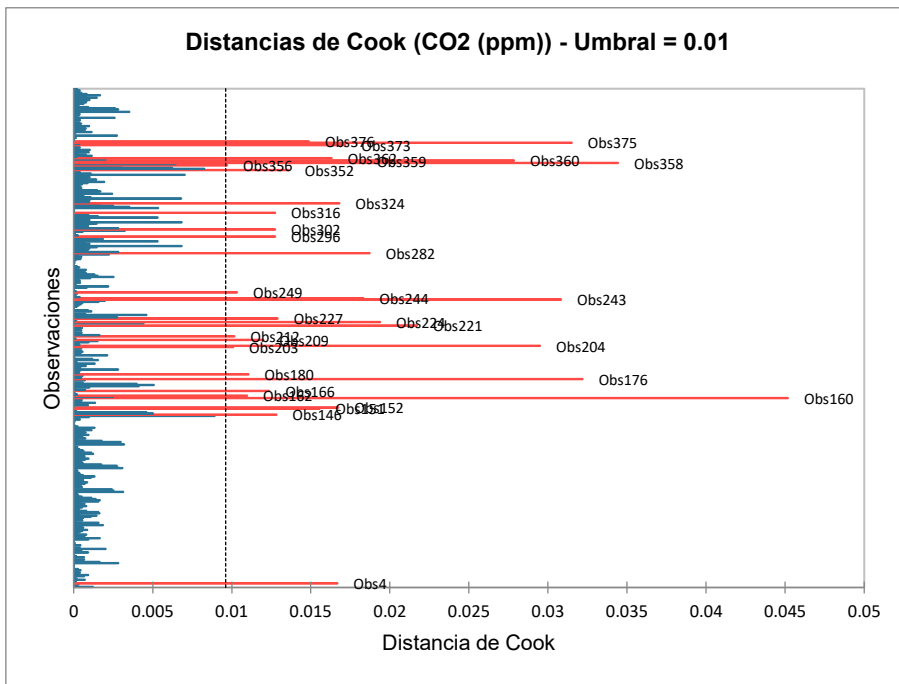


Figura 64. Distancias de Cook (CO₂ (ppm)) - Umbral = 0.01.

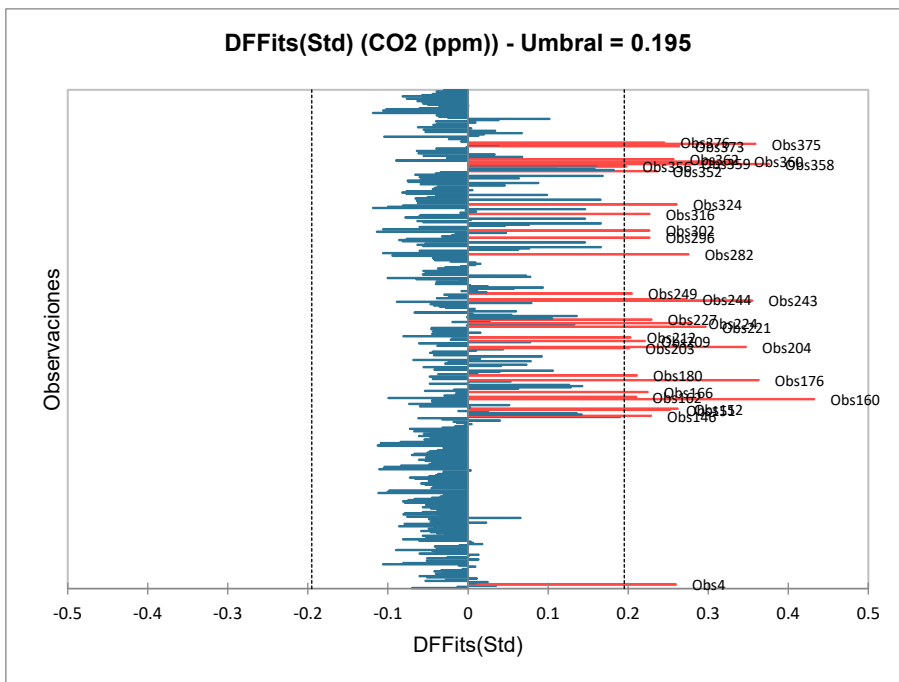


Figura 65.. DFFits(Std) (CO₂ (ppm)) - Umbral = 0.195.

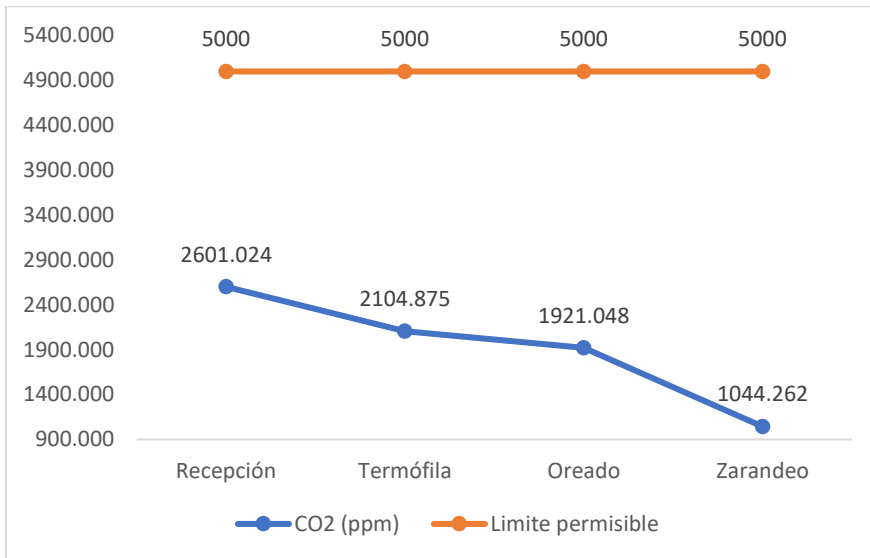


Figura 66. CO (ppm) vs Límite permisible.

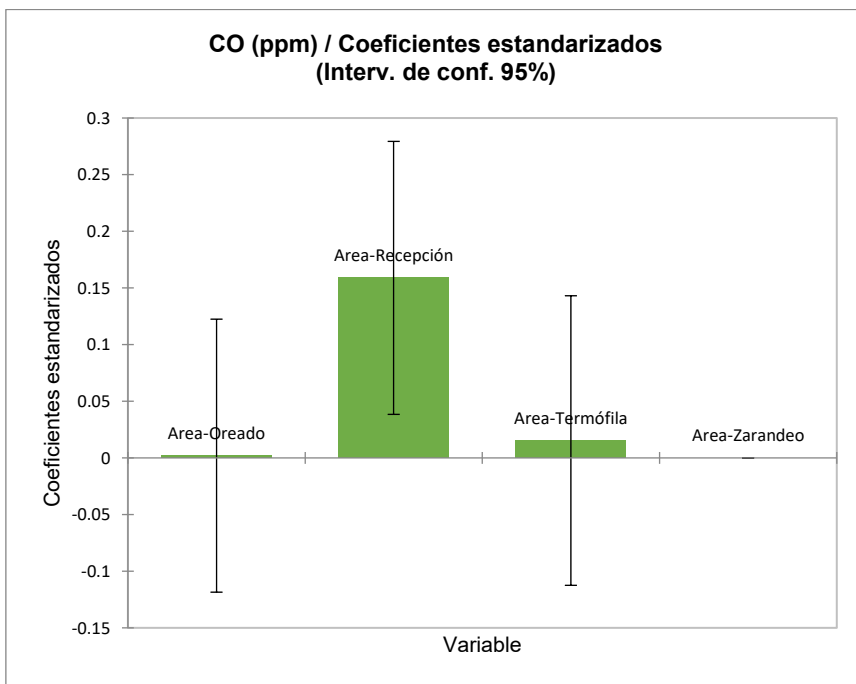


Figura 67. CO (ppm) / Coeficientes estandarizados (Interv. de conf. 95%).

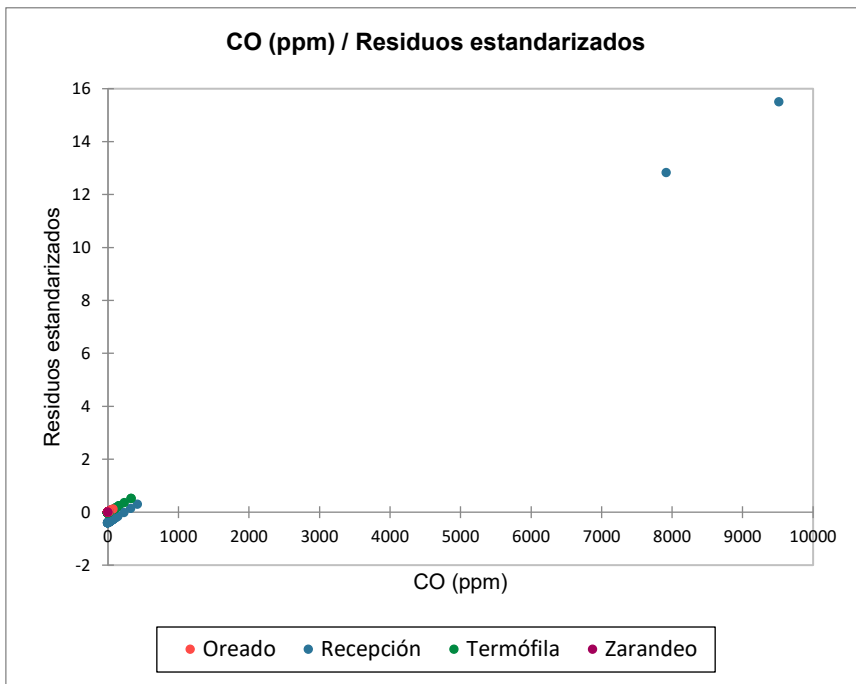


Figura 68. CO (ppm) / Residuos estandarizados.

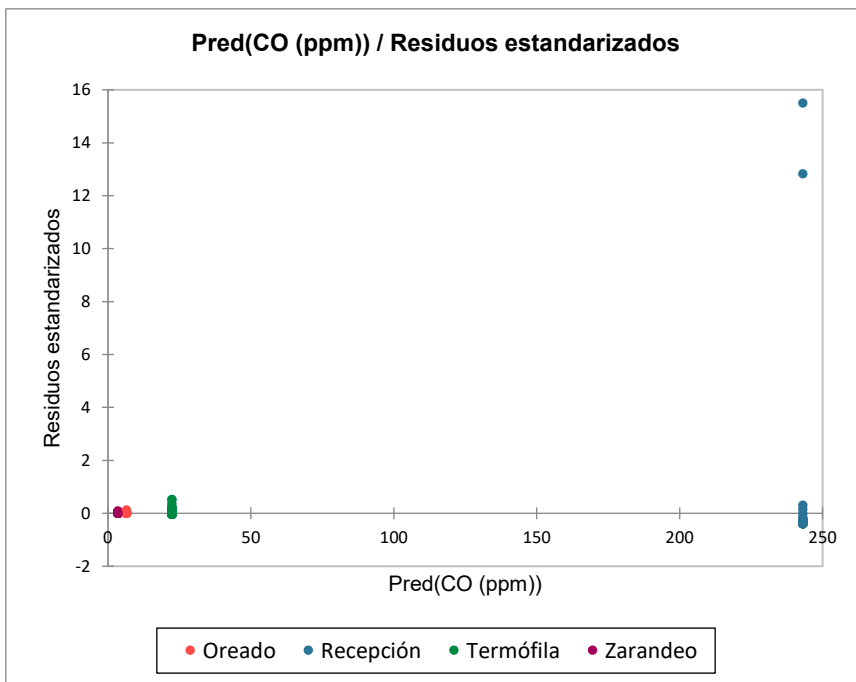


Figura 69. Pred (CO (ppm)) / Residuos estandarizados.

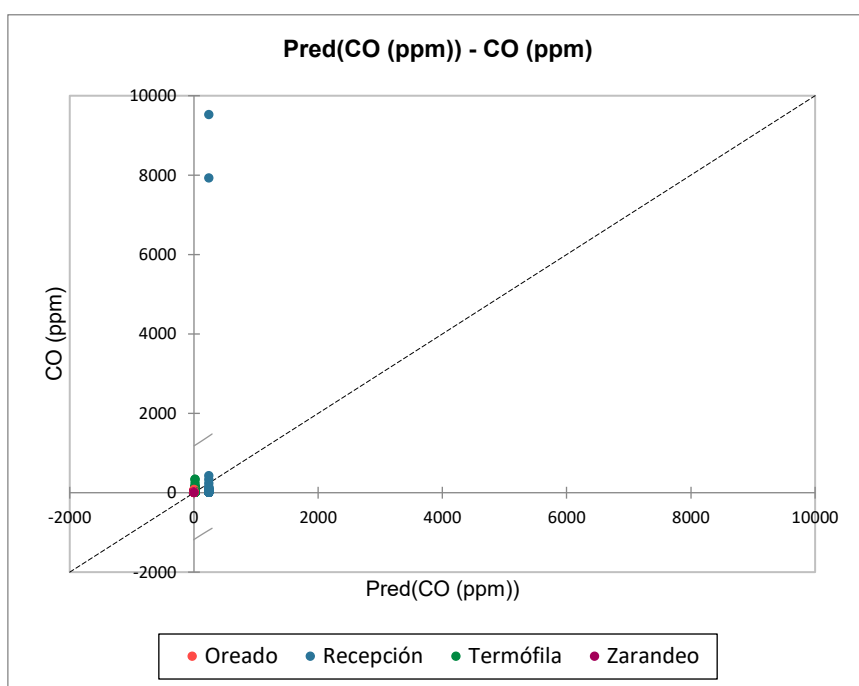


Figura 70. Pred(CO (ppm)) - CO (ppm).

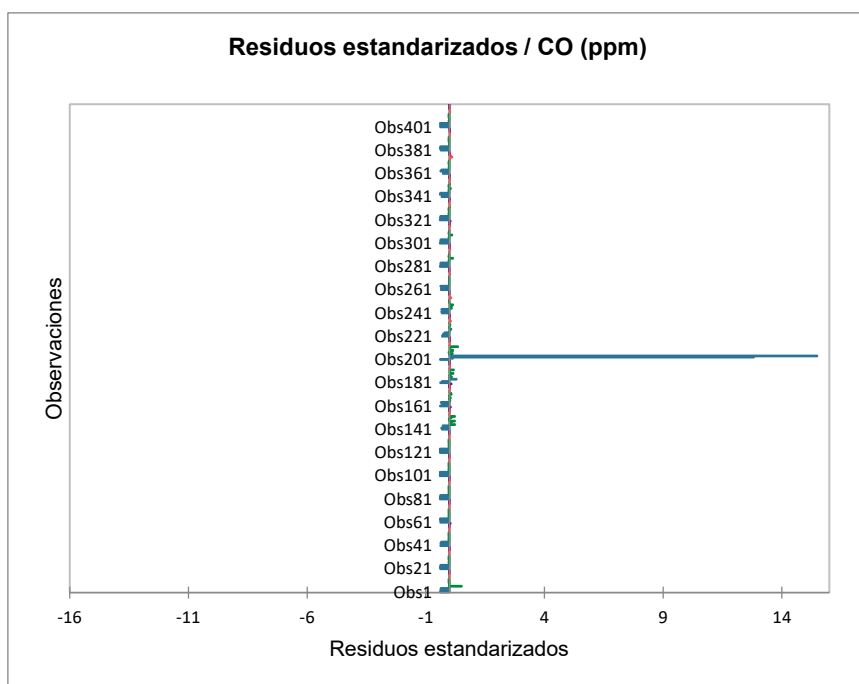


Figura 71. Residuos estandarizados CO (ppm).

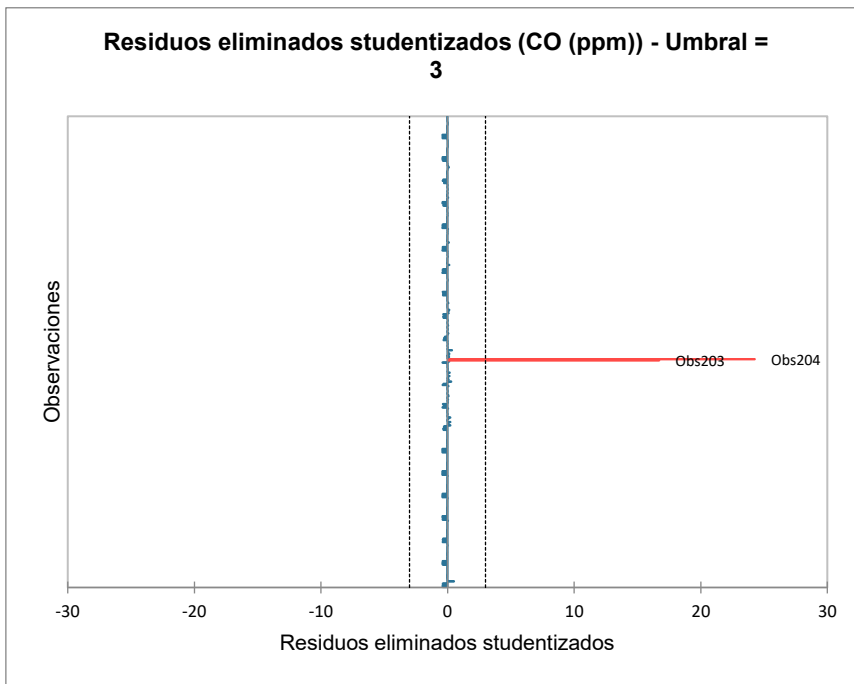


Figura 72. Residuos eliminados CO (ppm).

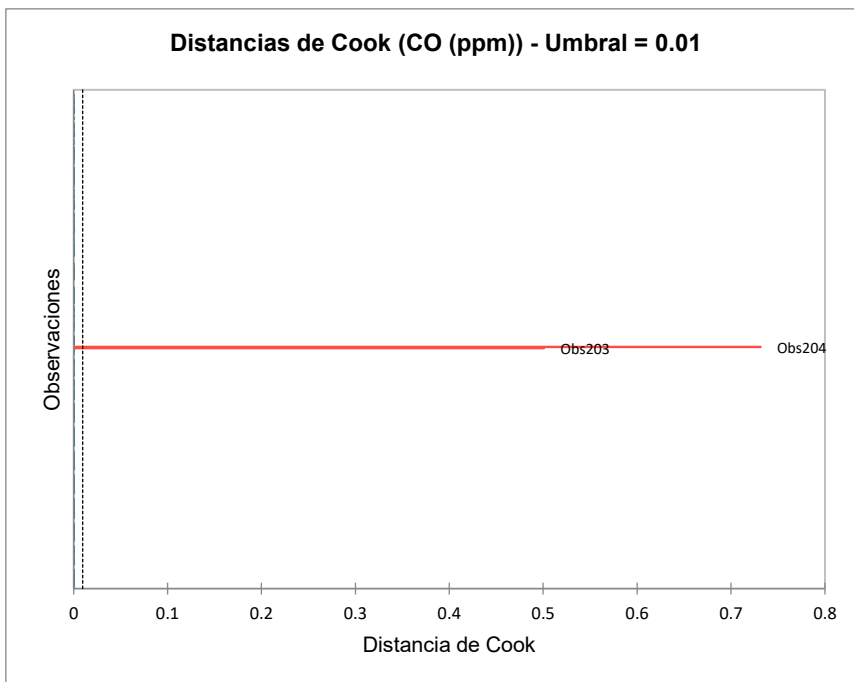


Figura 73. Distancias de Cook CO (ppm).

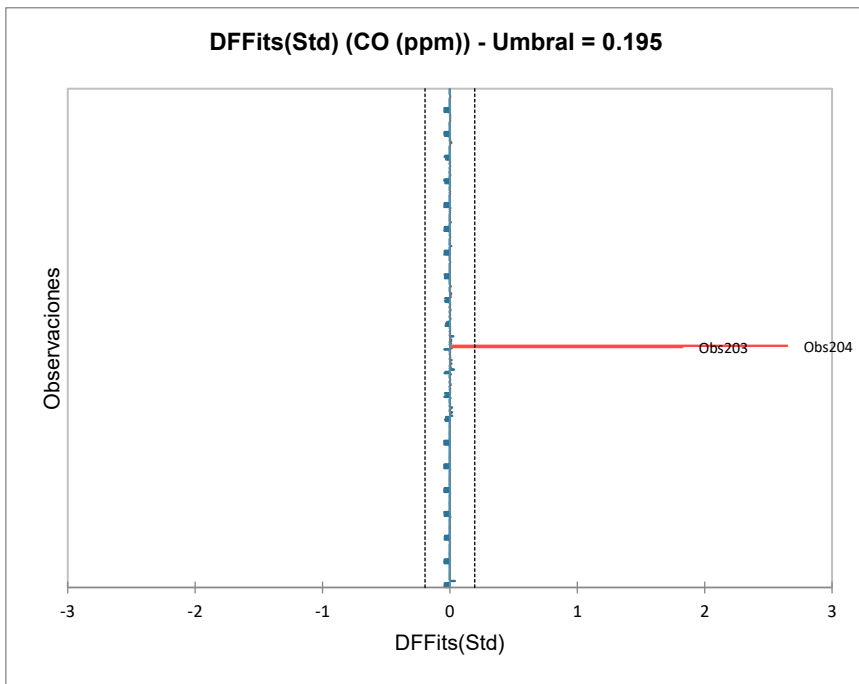


Figura 74. DFFits CO (ppm).

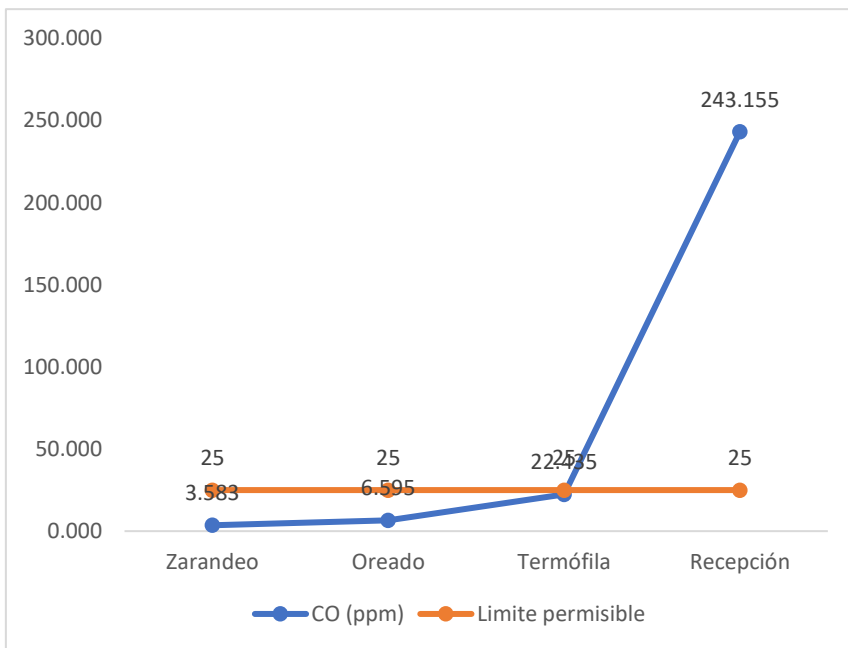


Figura 75. CO (ppm) vs Límite permisible.

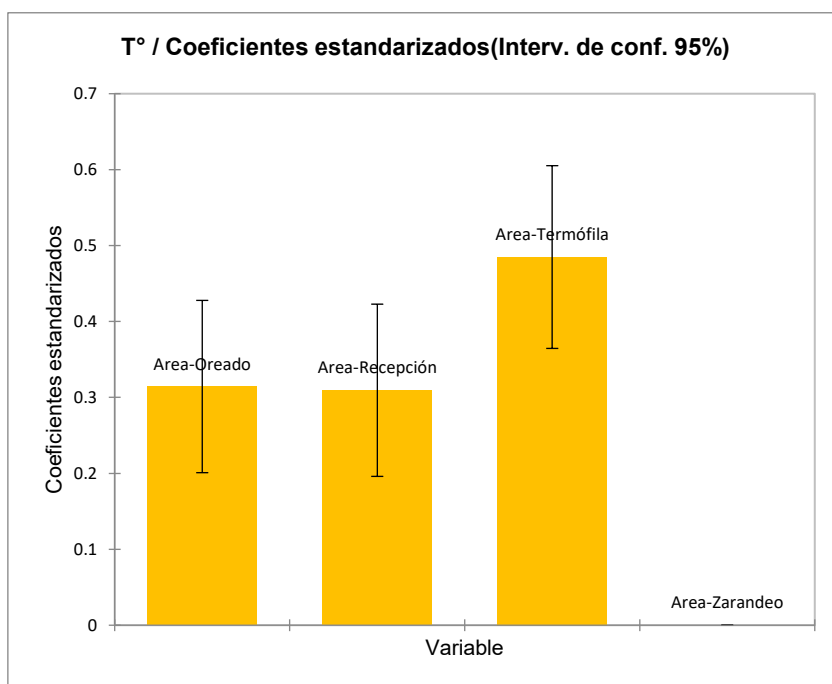


Figura 76. T° / Coeficientes estandarizados (Interv. de conf. 95%).

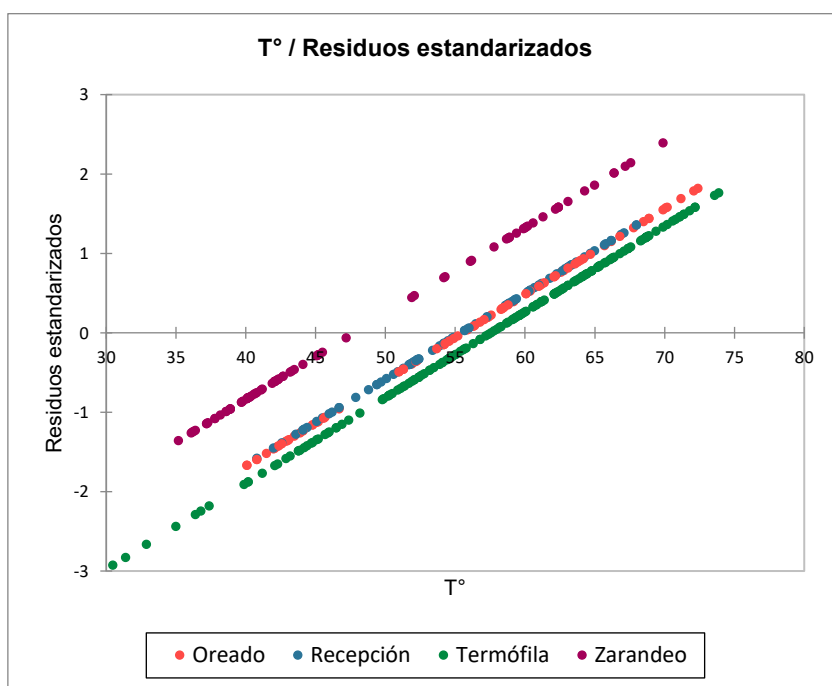


Figura 77. T° / Residuos estandarizados.

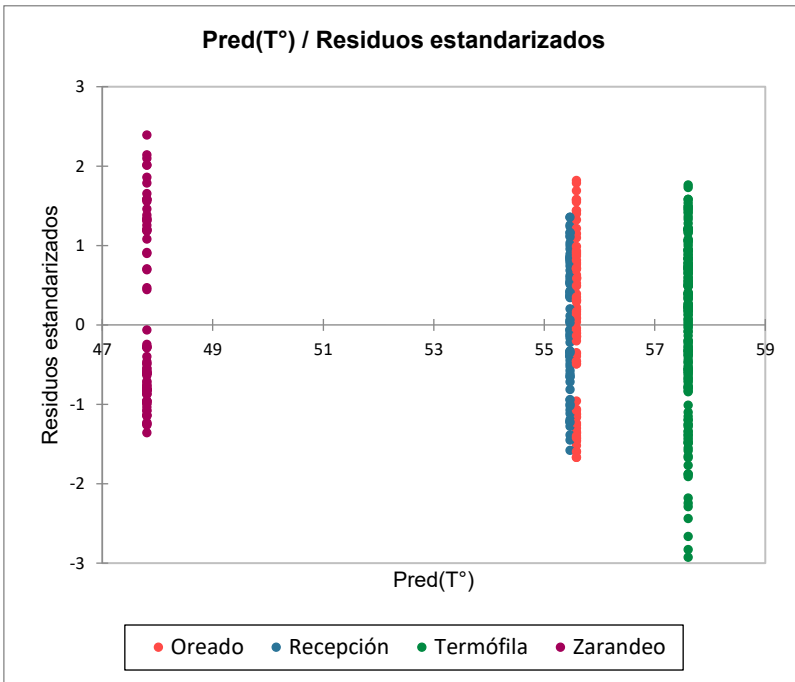


Figura 78. Pred(T°) / Residuos estandarizados(%).

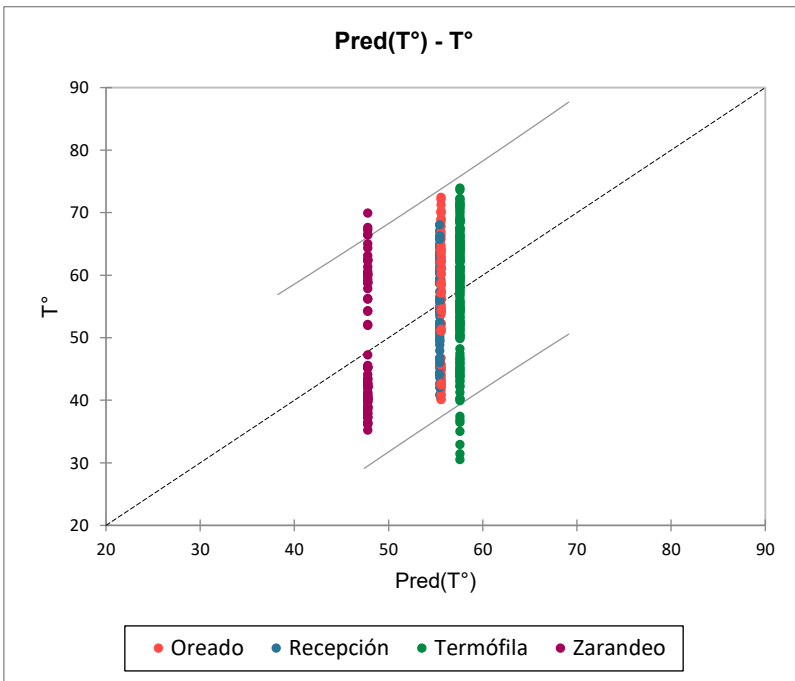


Figura 79. Pred(T°)-T°.

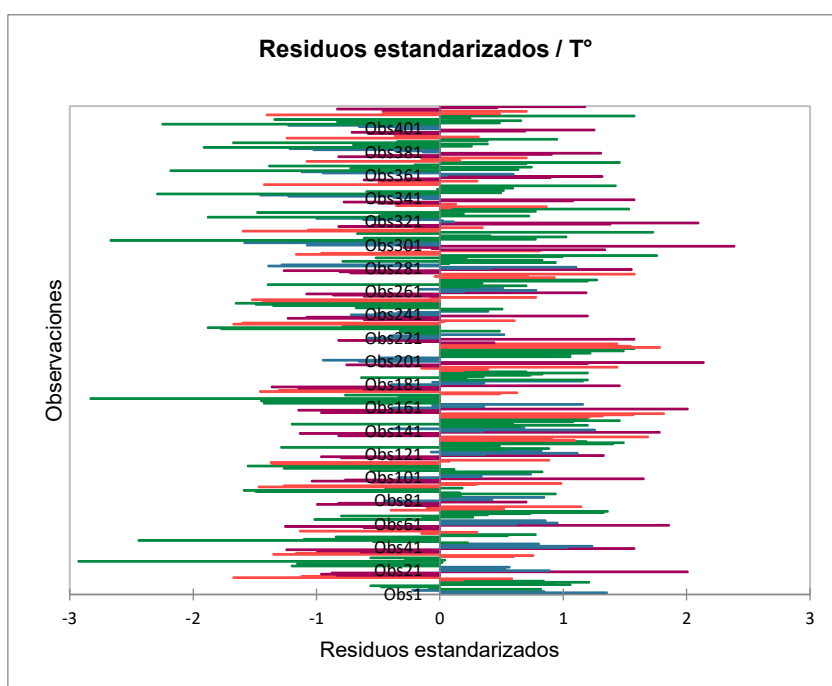


Figura 80. Residuos estandarizados de T°.

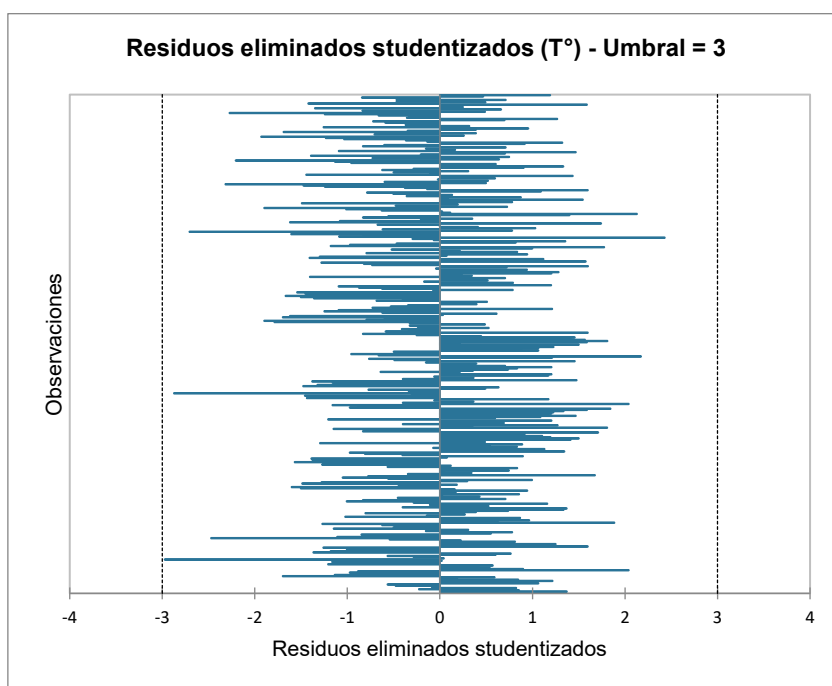


Figura 81. Residuos eliminados studentizados (T°) - Umbral = 3.

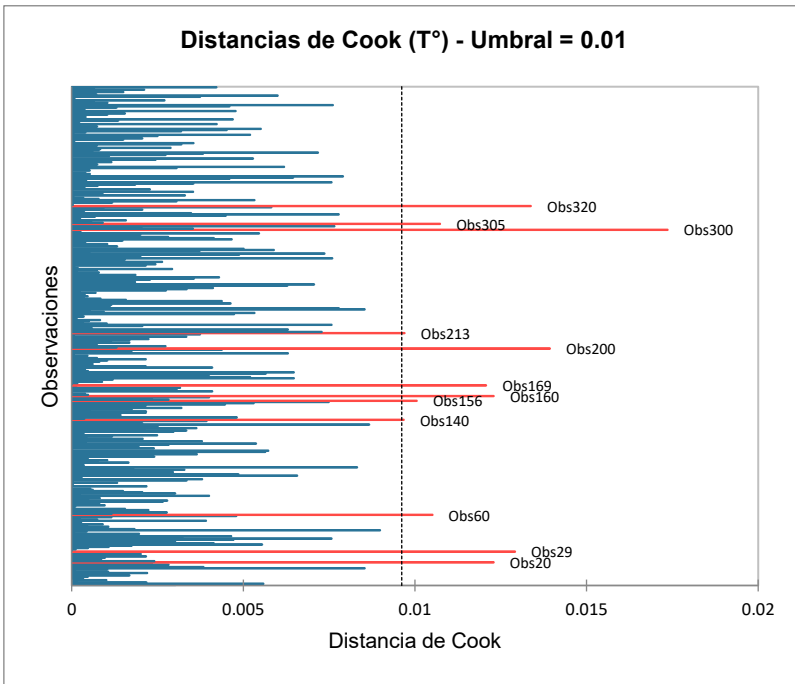


Figura 82. Distancias de Cook (T°) - Umbral = 0.01.

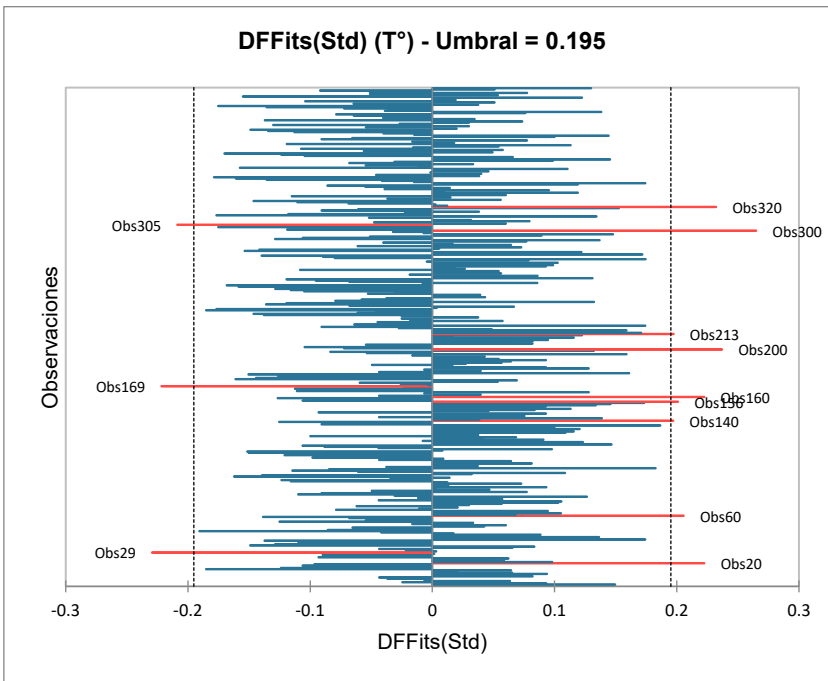


Figura 83. DFFits(Std) (T°) - Umbral = 0.195.

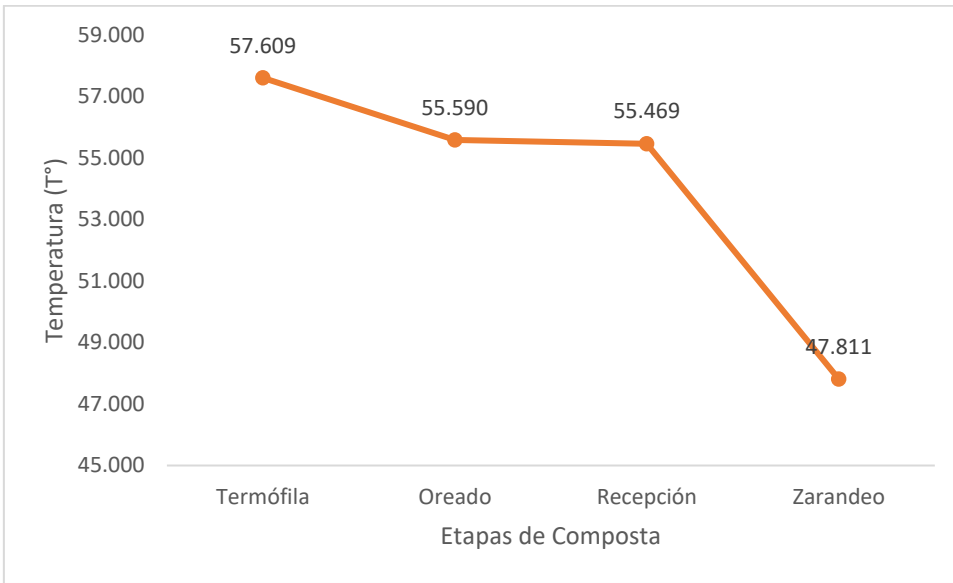


Figura 84. T° vs Etapas de composta.

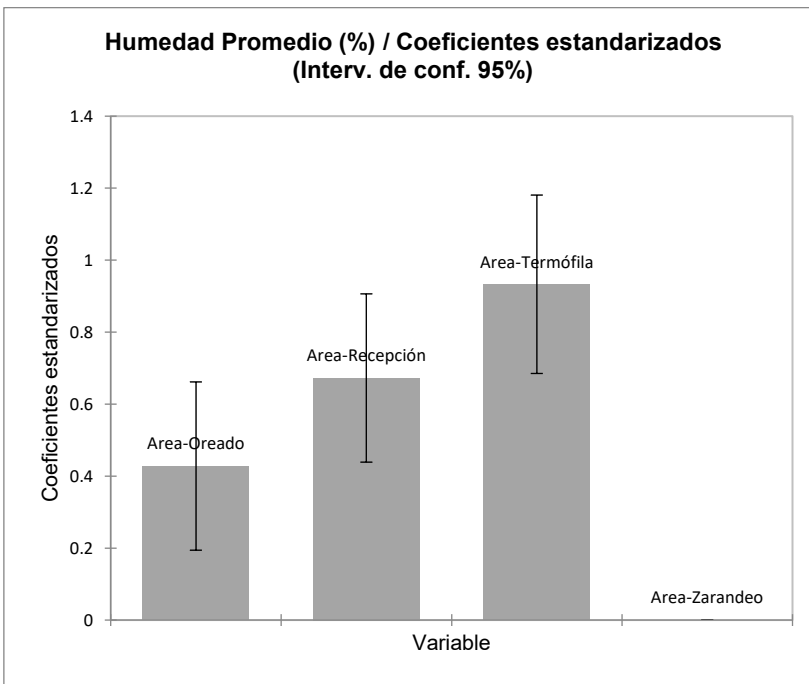


Figura 85. Humedad promedio (%) / Coeficientes estandarizados (Interv. de conf. 95%).

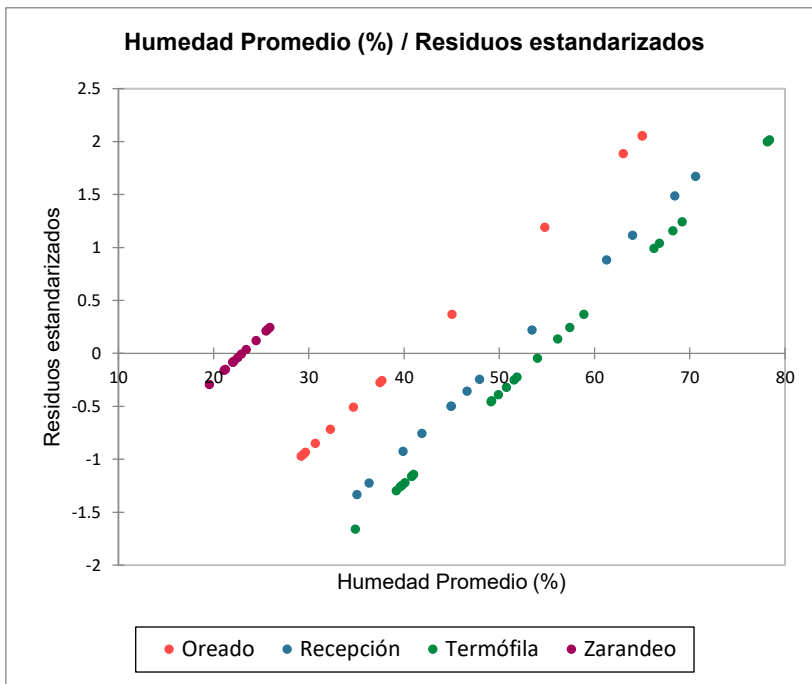


Figura 86. Humedad Promedio (%) / Residuos estandarizados.

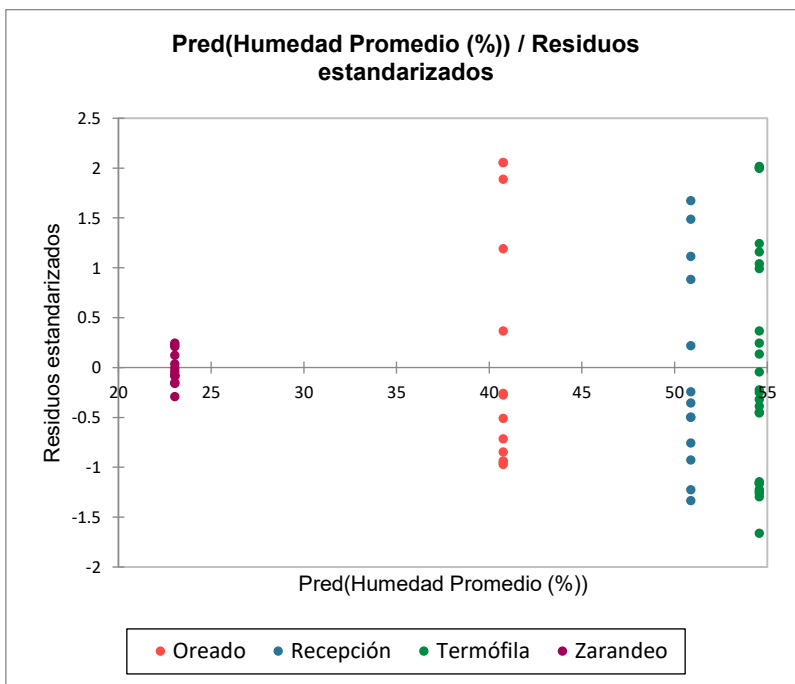


Figura 87. Pred(Humedad Promedio (%)) / Residuos estandarizados%.

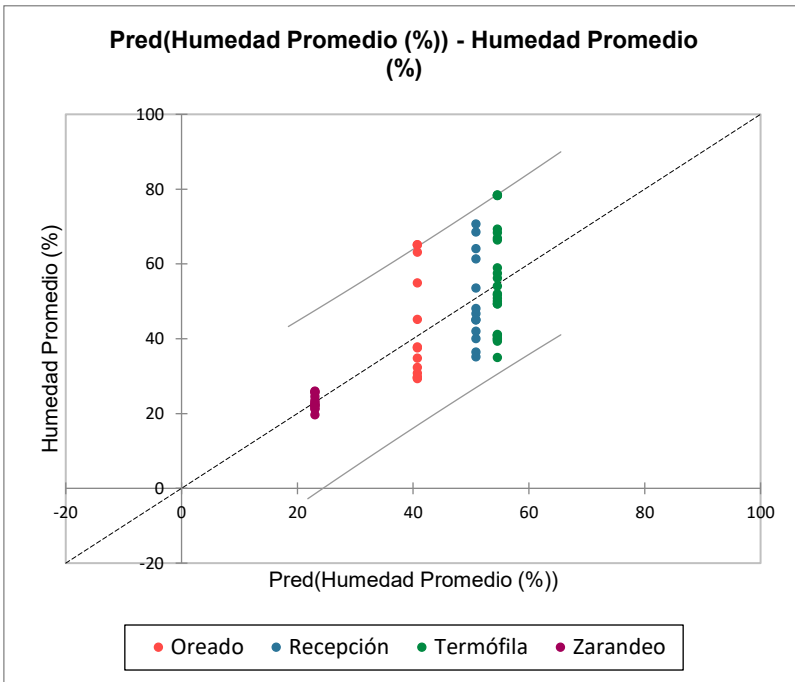


Figura 88. Pred(Humedad Promedio (%)) - Humedad Promedio (%).

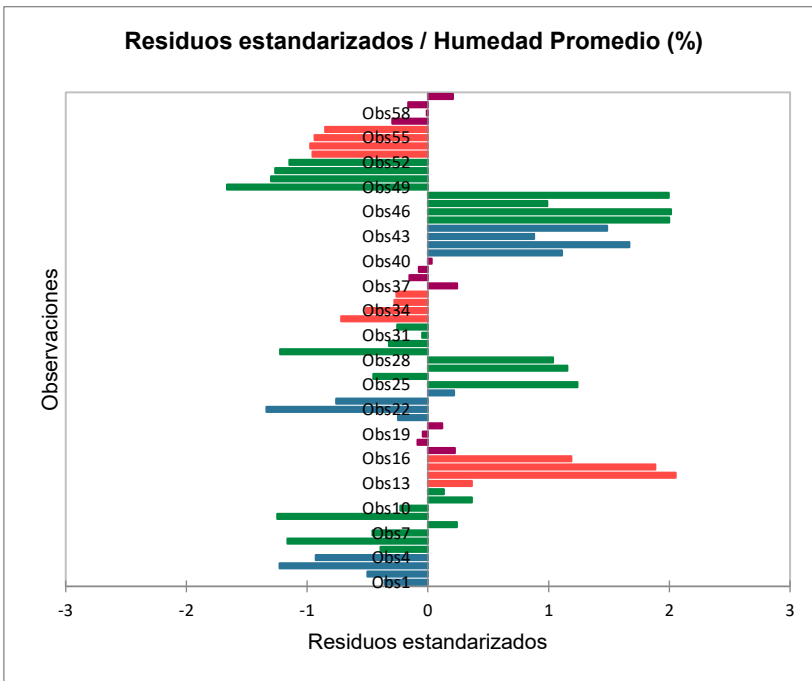


Figura 89. Residuos estandarizados / Humedad Promedio (%).

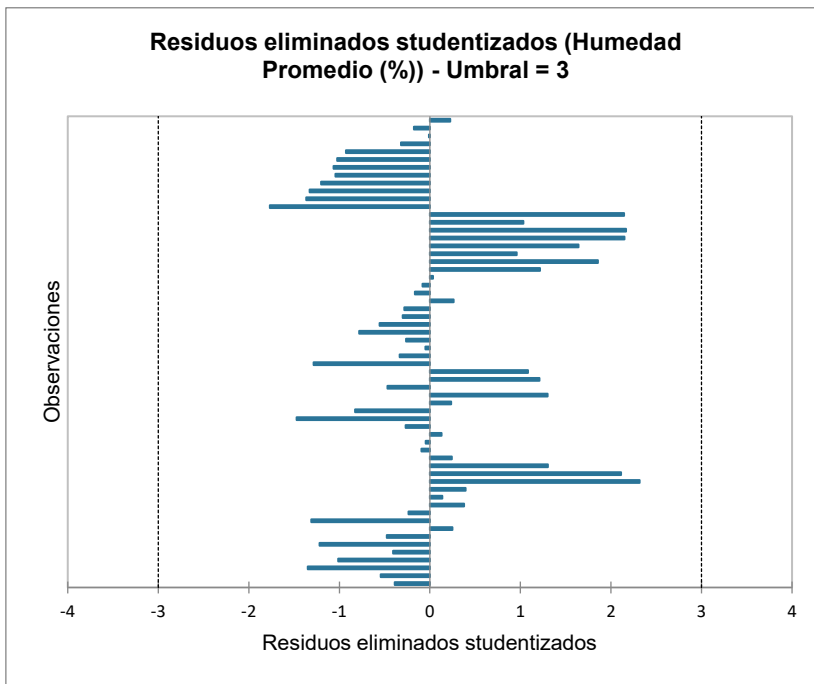


Figura 90. Residuos eliminados studentizados (Humedad Promedio (%)) - Umbral = 3%).

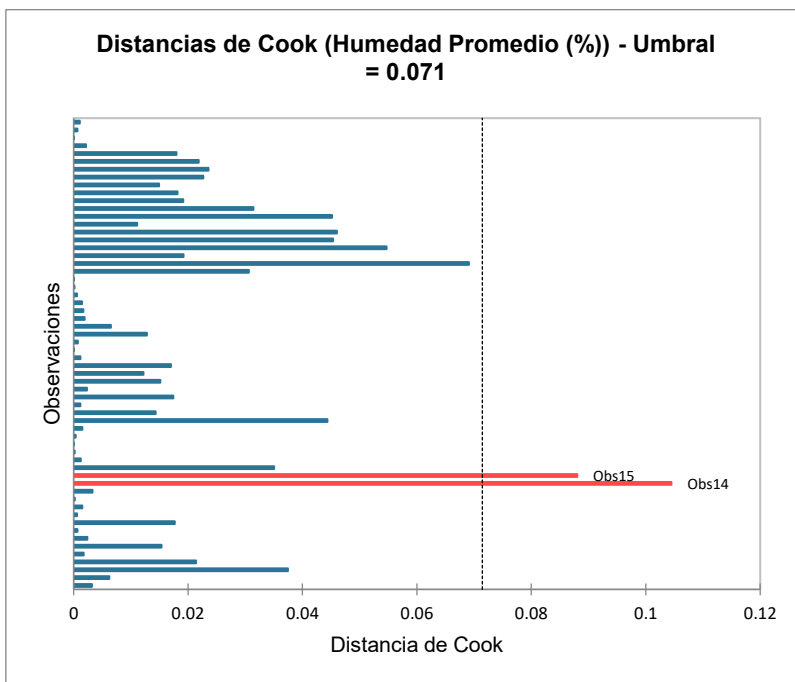


Figura 91. Distancias de Cook (Humedad Promedio (%)) - Umbral = 0.071

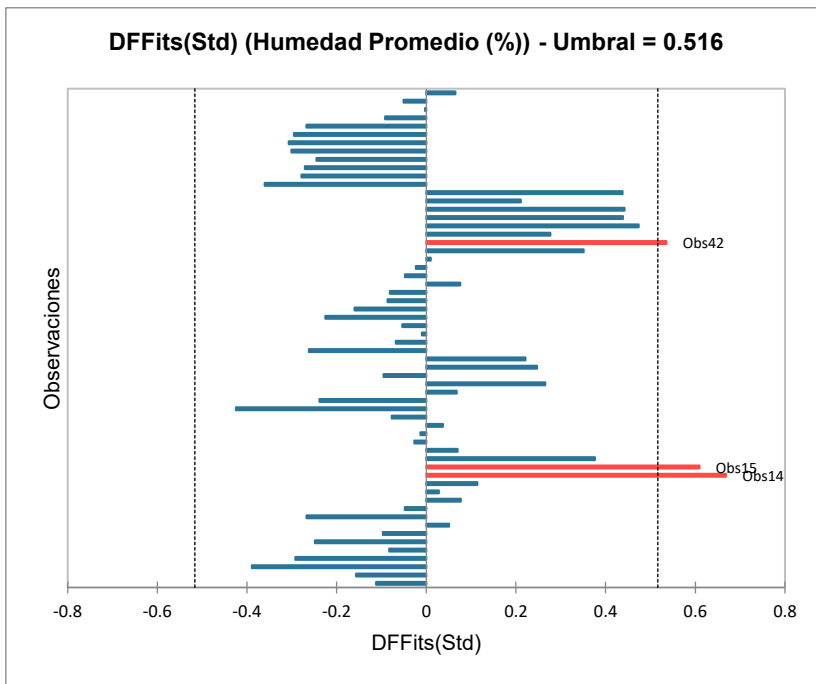


Figura 92. DFFits(Std) (Humedad Promedio (%)) - Umbral = 0.516%).

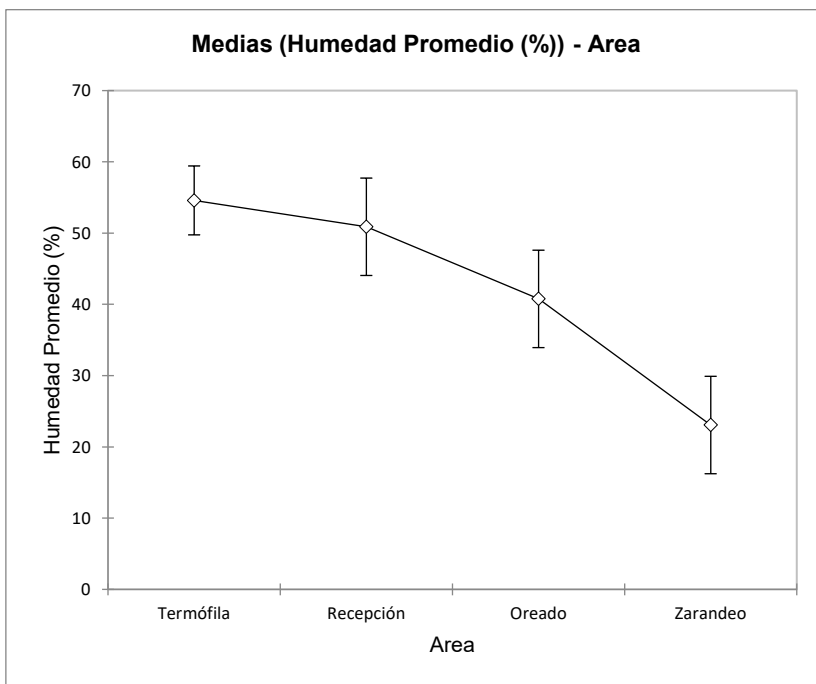


Figura 93.. Medias (Humedad Promedio (%)) – Área.

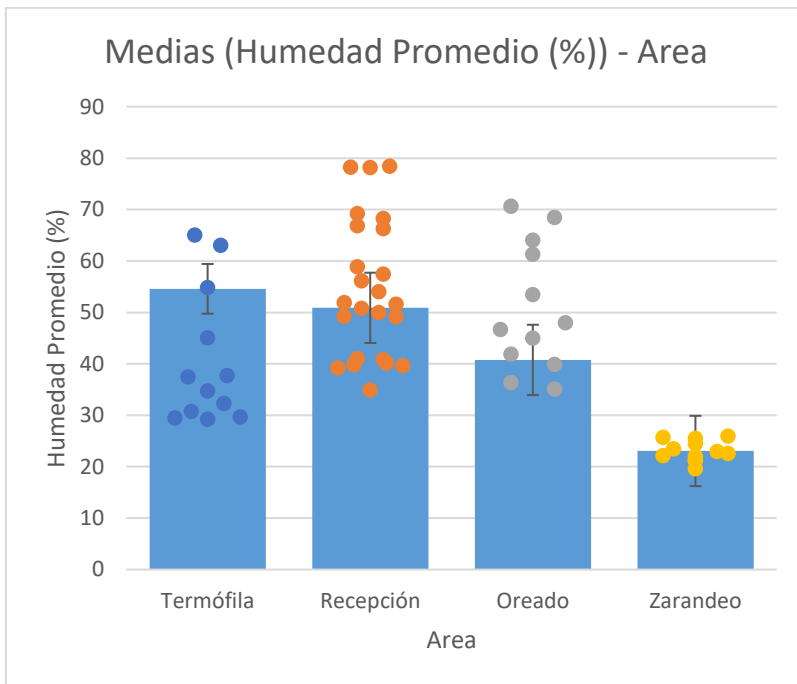


Figura 94. Medias (Humedad Promedio (%)) – Área.

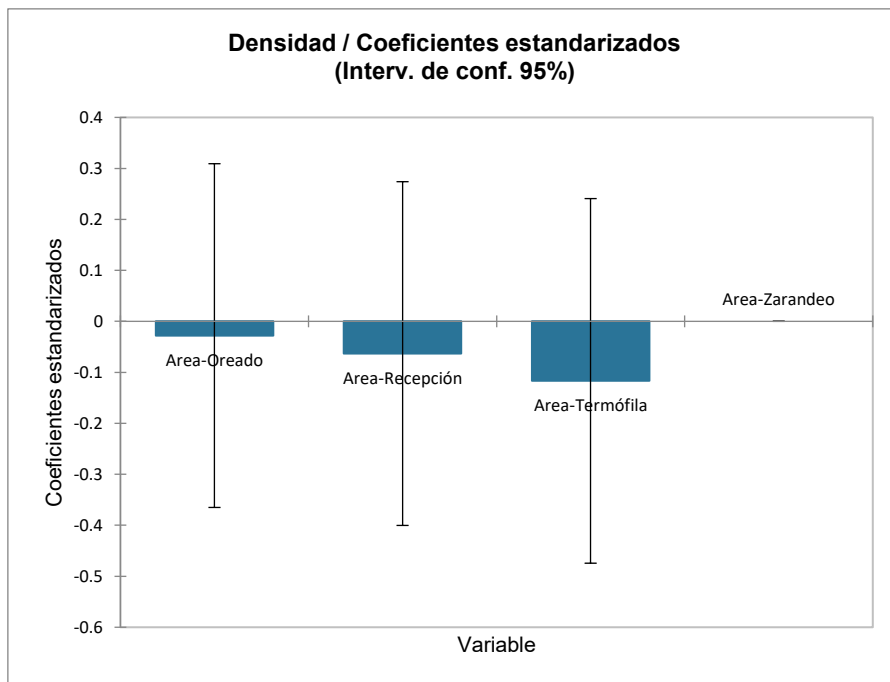


Figura 95. Densidad / Coeficientes estandarizados (Interv. de conf. 95%).

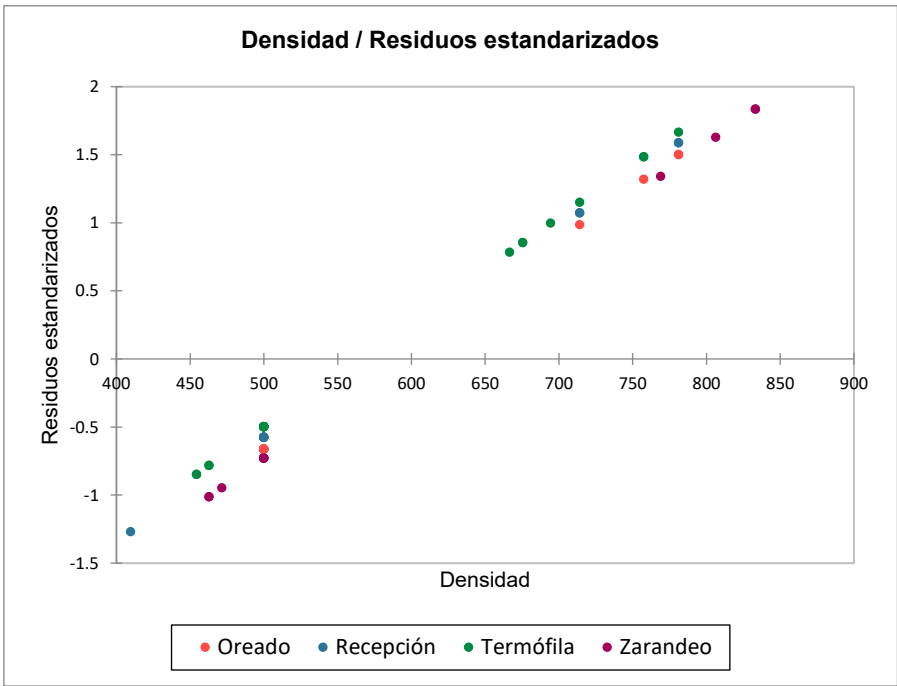


Figura 96. Densidad Residuos estandarizados.

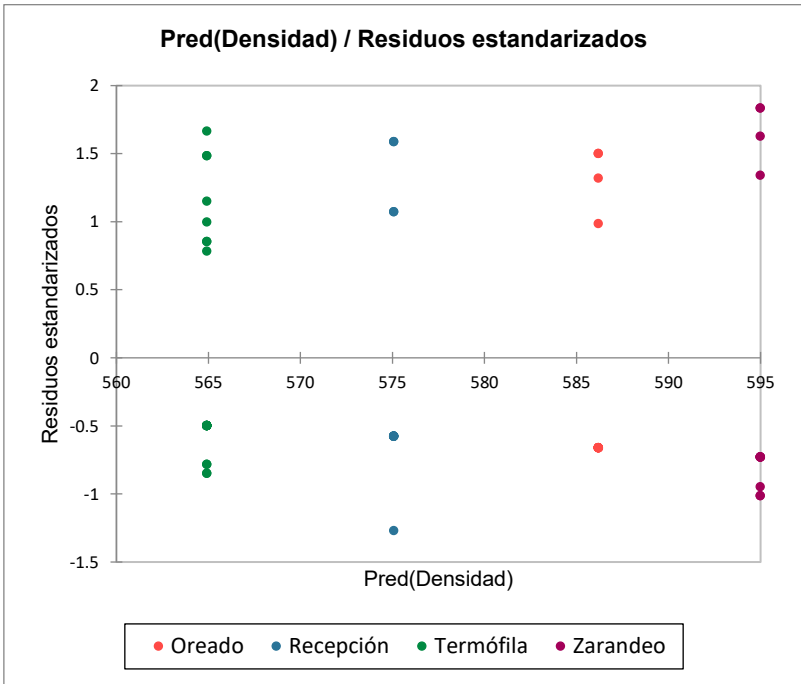


Figura 97. Pred(Densidad) / Residuos estandarizados.

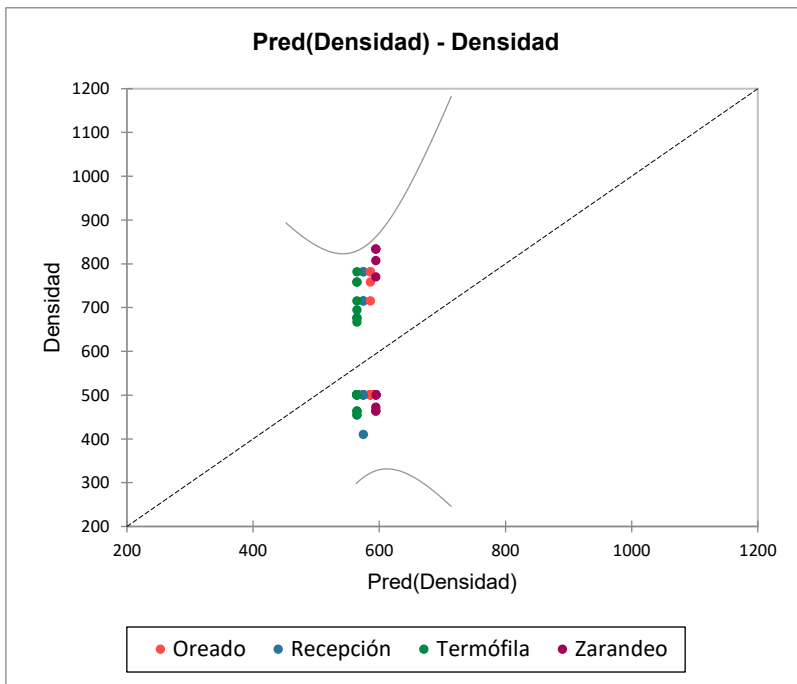


Figura 98. Pred(Densidad) – Densidad.

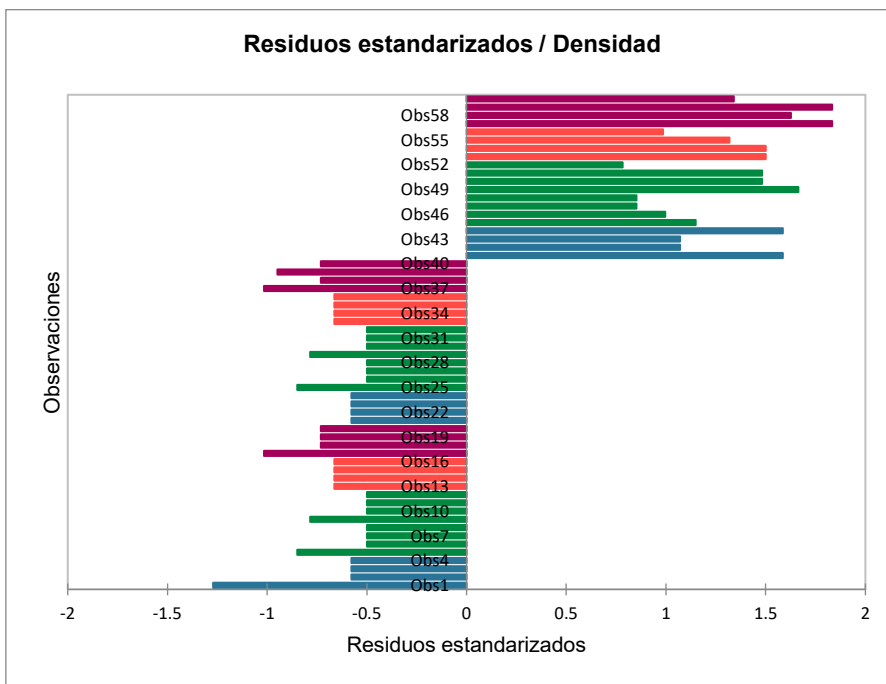


Figura 99. Residuos estandarizados / Densidad.

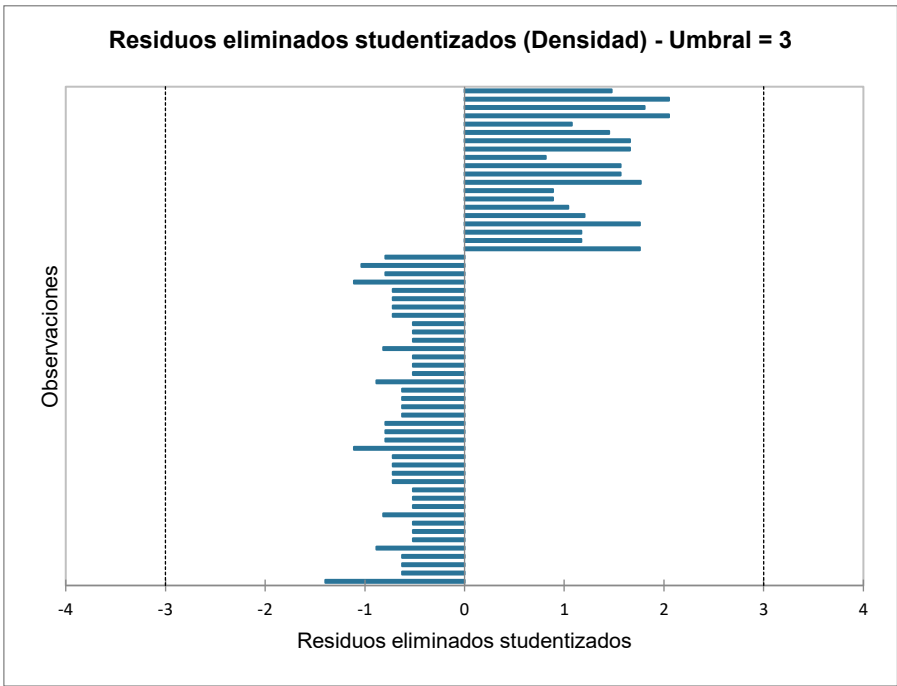


Figura 100. Residuos eliminados studentizados (Densidad) - Umbral = 3.

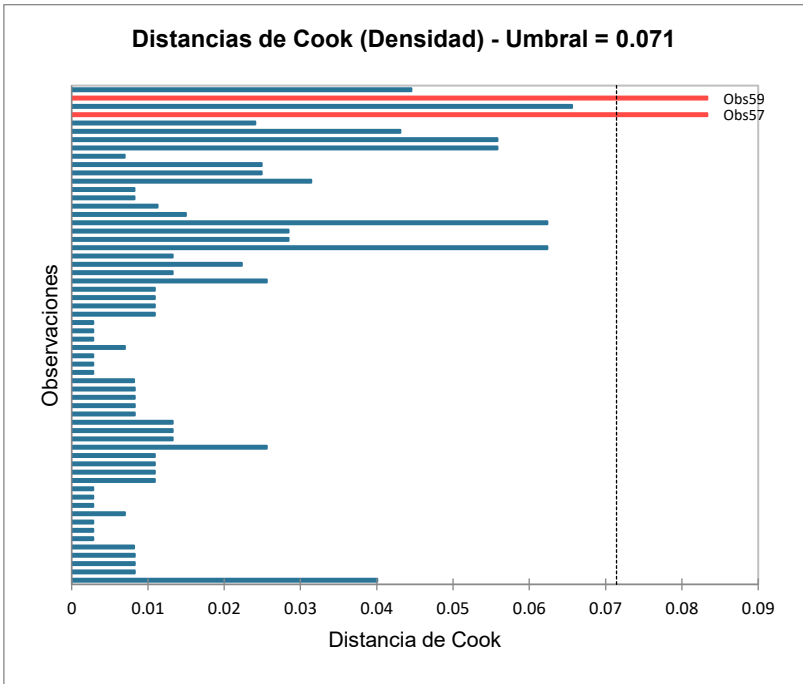


Figura 101. Distancias de Cook (Densidad) - Umbral = 0.071.

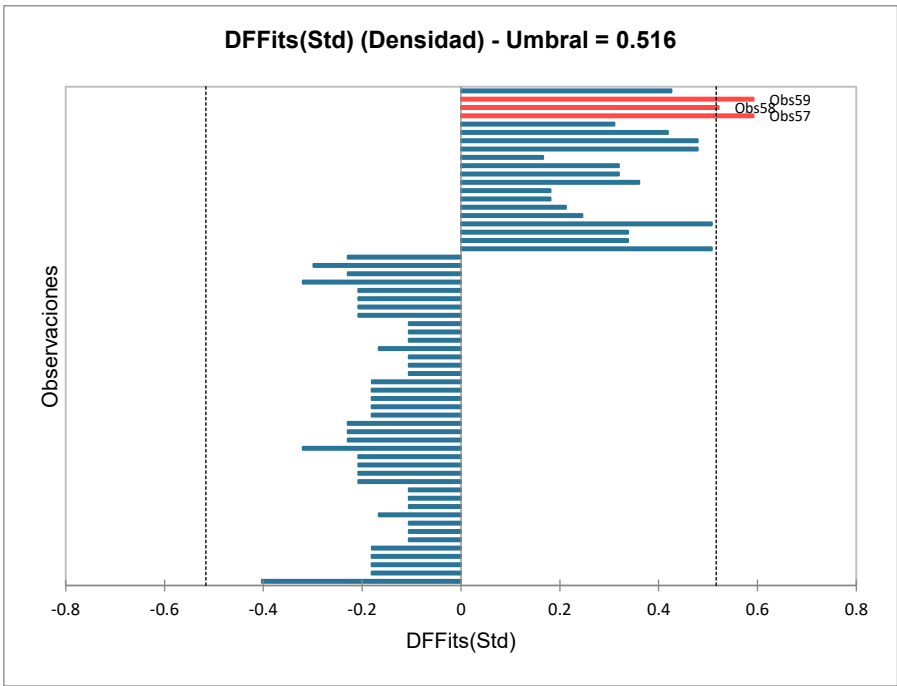


Figura 102. DFFits(Std) (Densidad) - Umbral = 0.516.

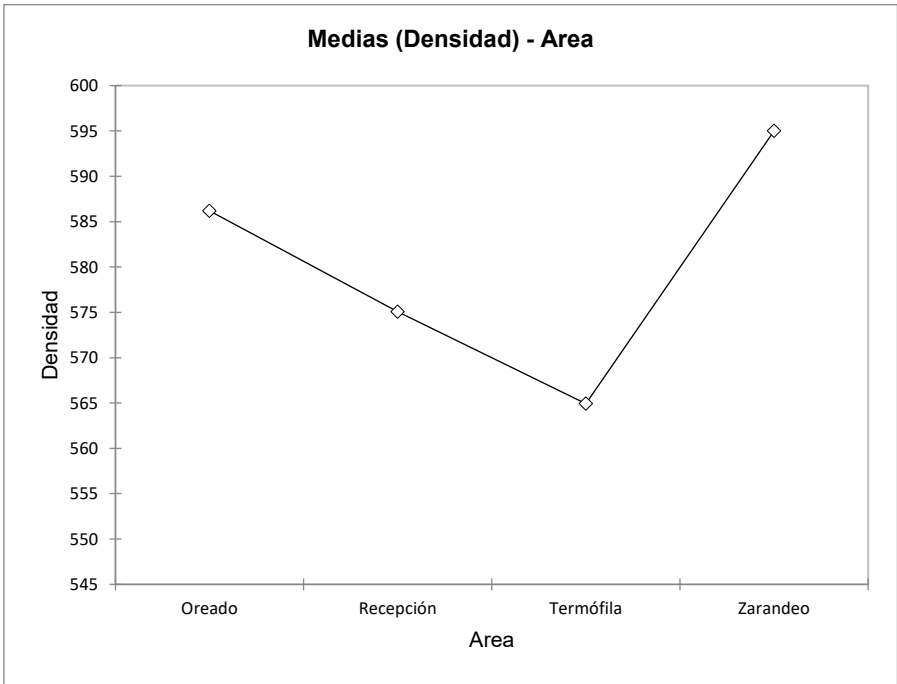


Figura 103. Medias (Densidad) - Área

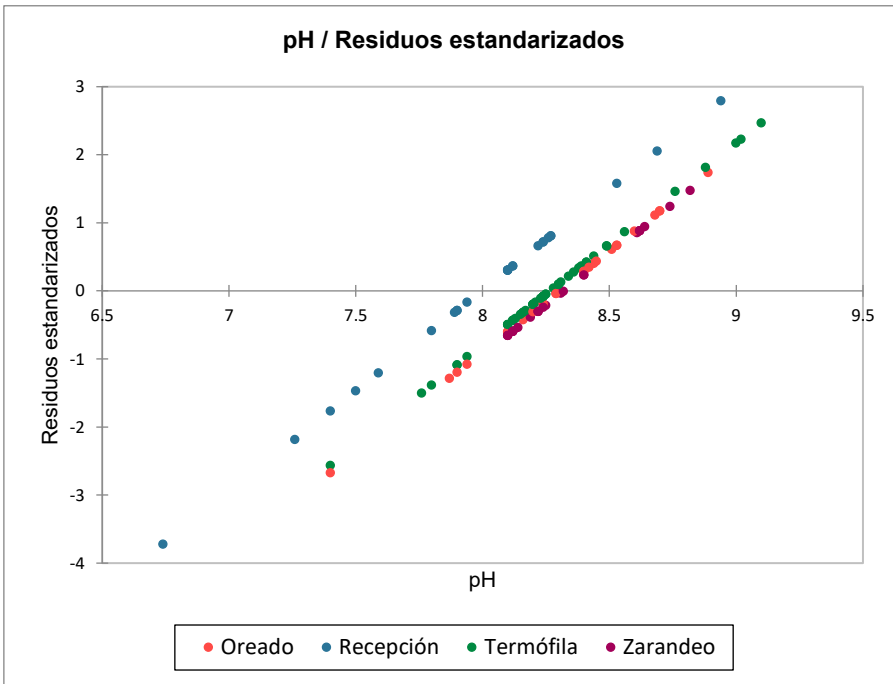


Figura 104. pH / Residuos estandarizados.

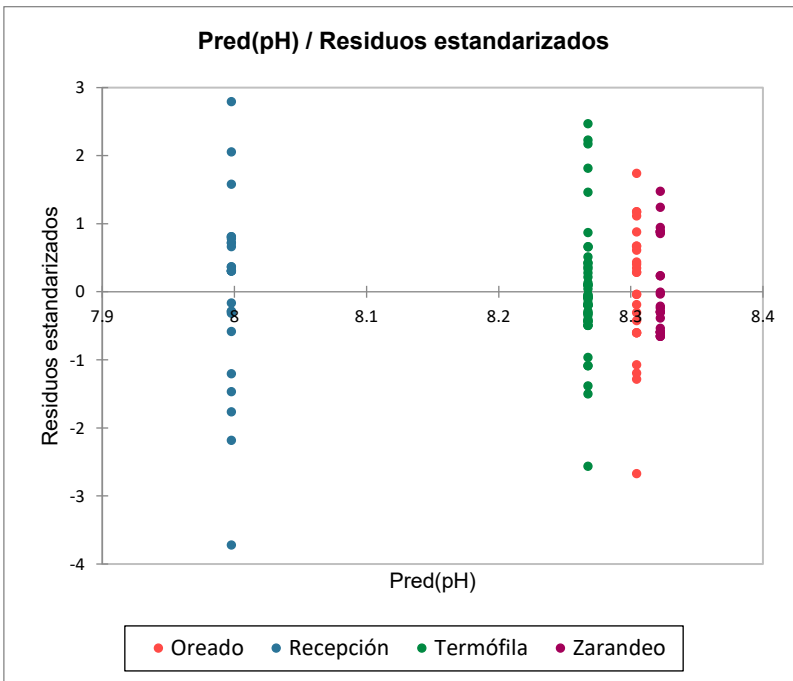


Figura 105. Pred(pH) / Residuos estandarizados.

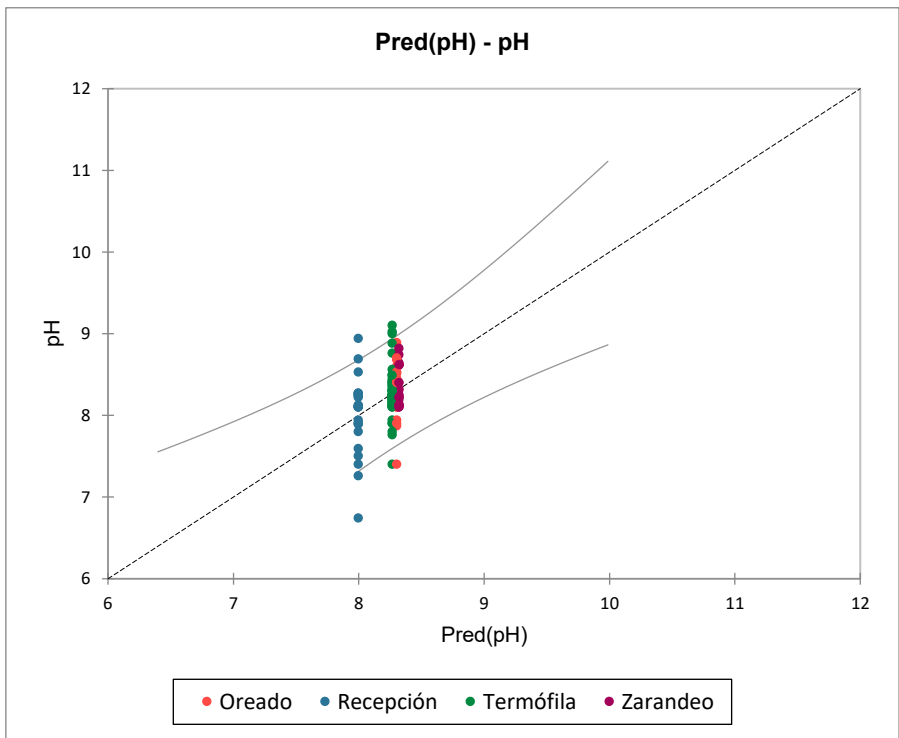


Figura 106. Pred(pH).

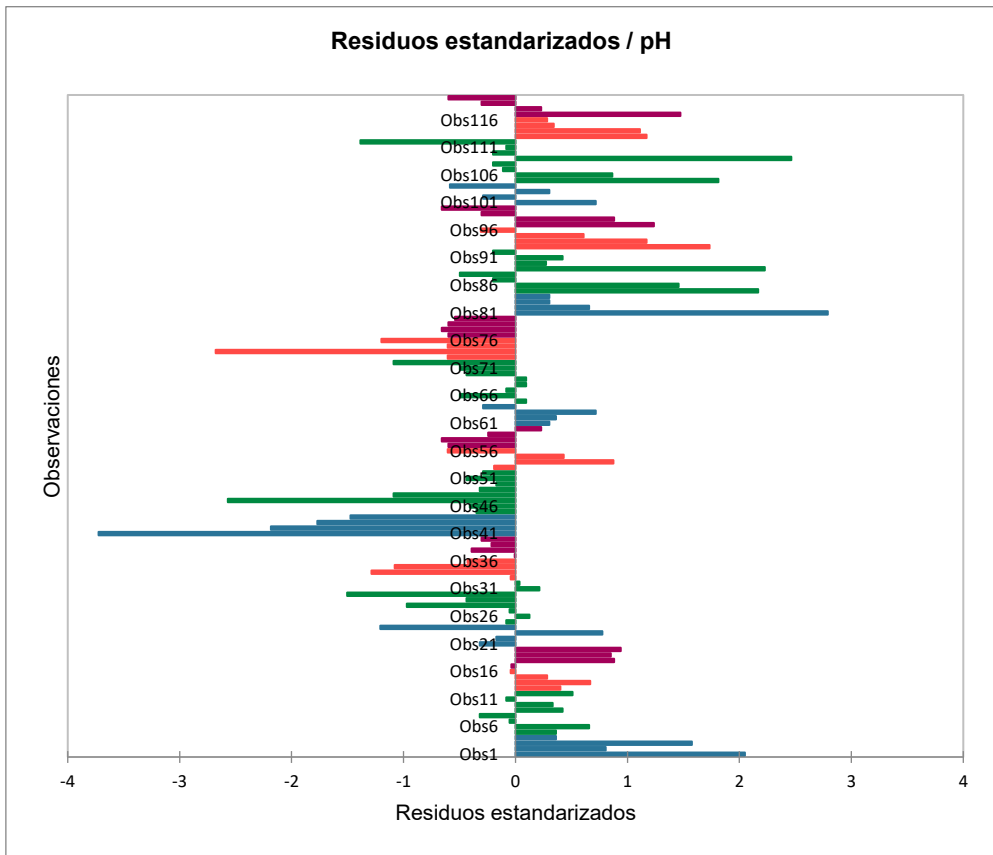


Figura 107. Residuos estandarizados / pH.

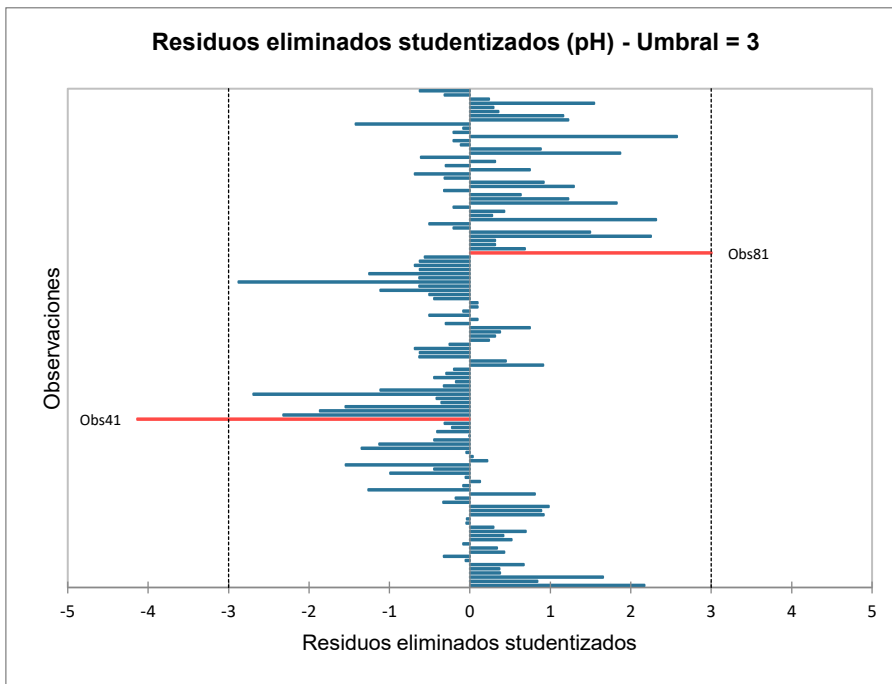


Figura 108. Residuos eliminados studentizados (pH) - Umbral = 3.

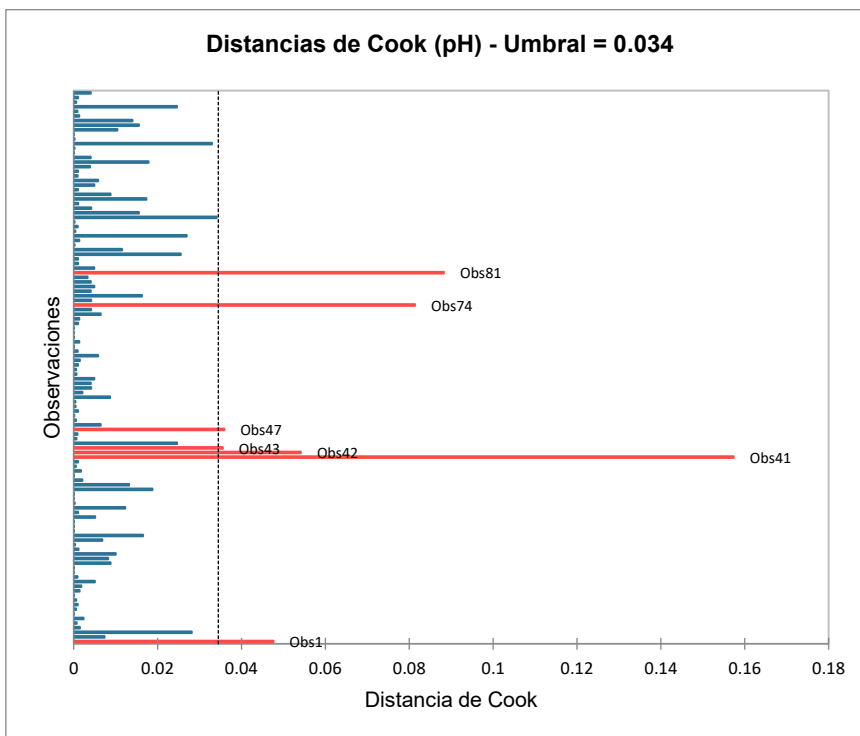


Figura 109. Distancias de Cook (pH) - Umbral = 0.034.

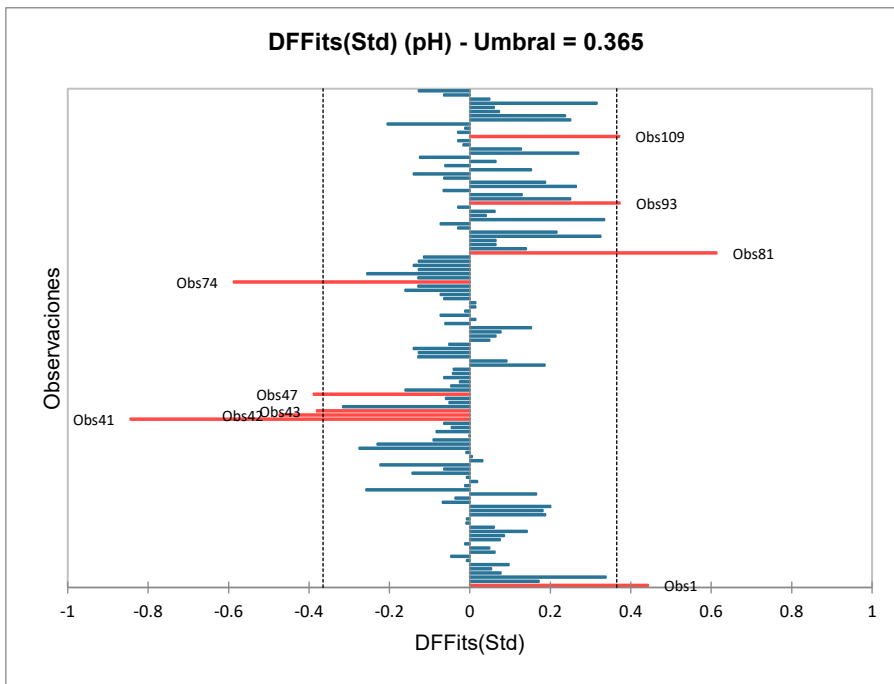


Figura 110. DFFits(Std) (pH) - Umbral = 0.365.

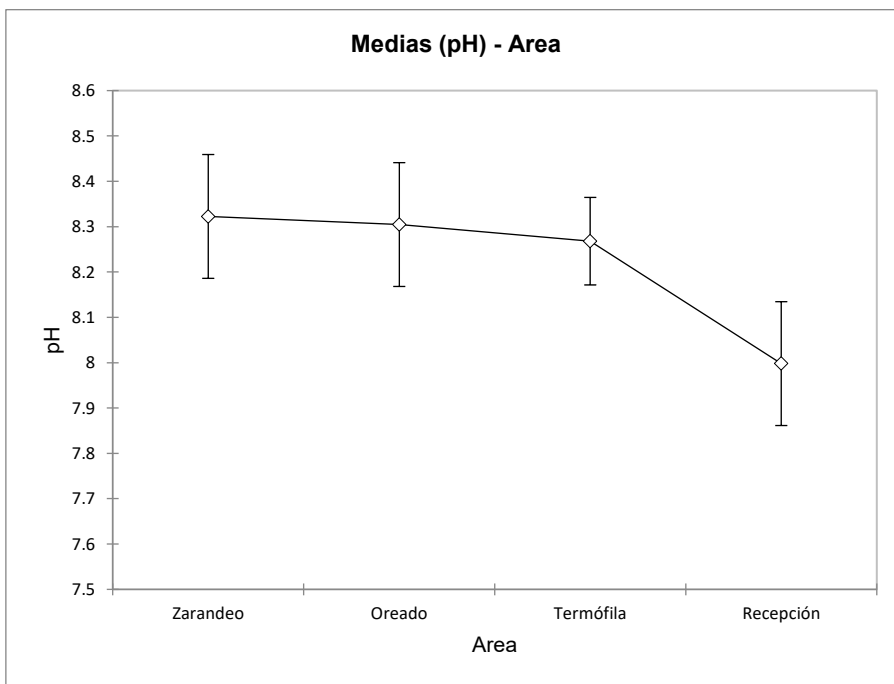


Figura 111. Medias pH - Área.

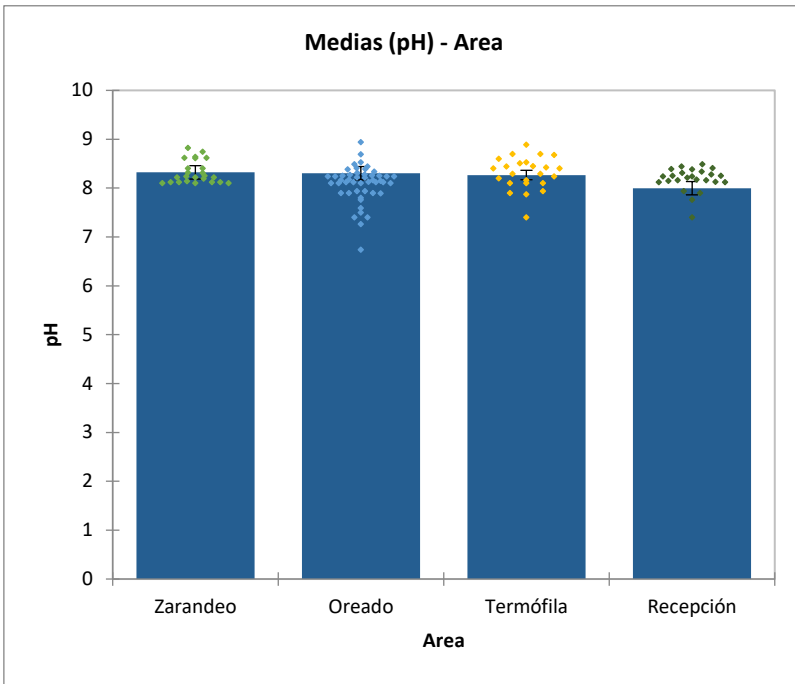


Figura 112. Medias pH-Área.

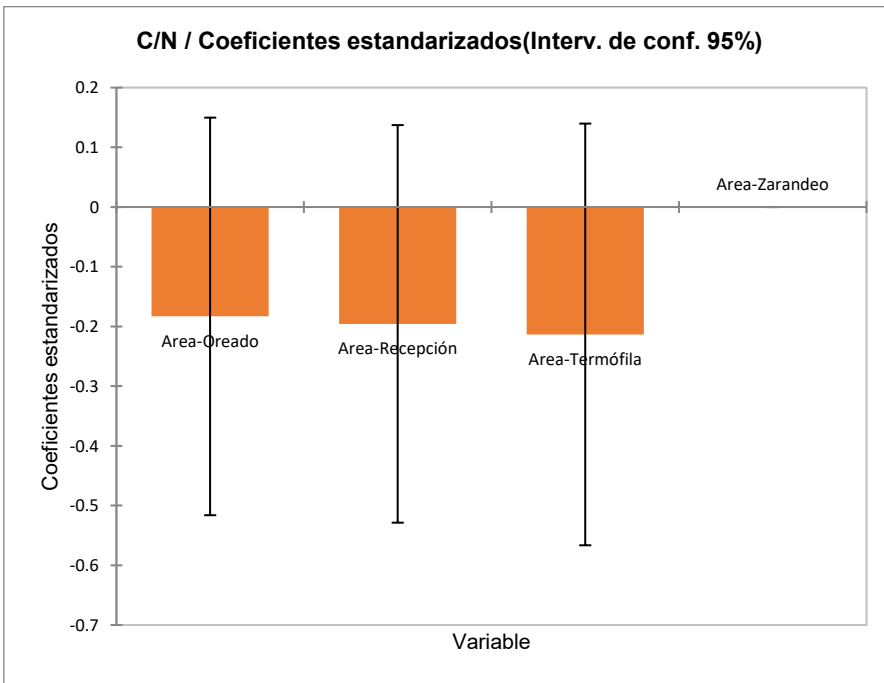


Figura 113. C/N / Coeficientes estandarizados (Interv. de conf. 95%).

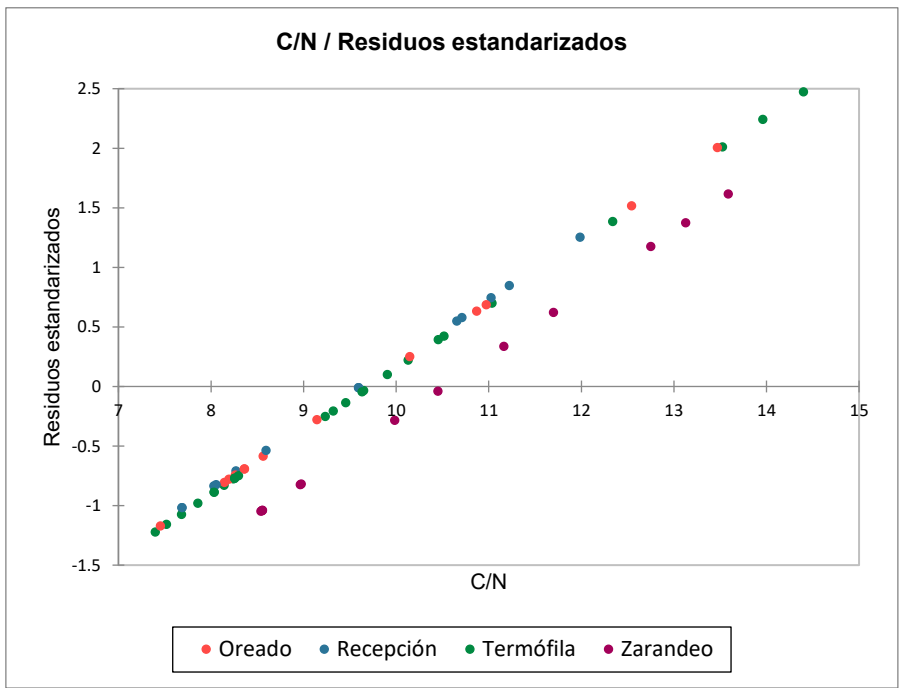


Figura 114. C/N / Residuos estandarizados.

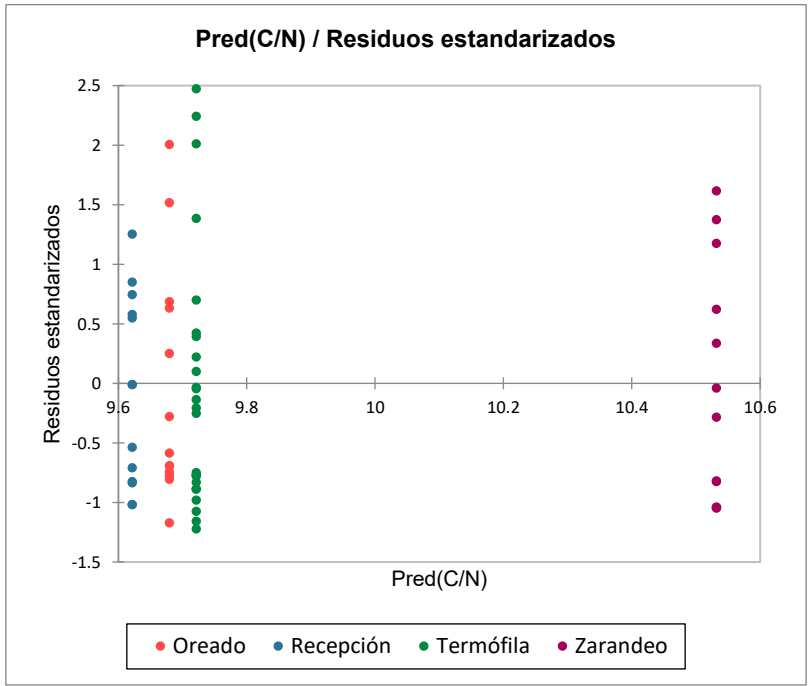


Figura 115. Pred(C/N) / Residuos estandarizados.

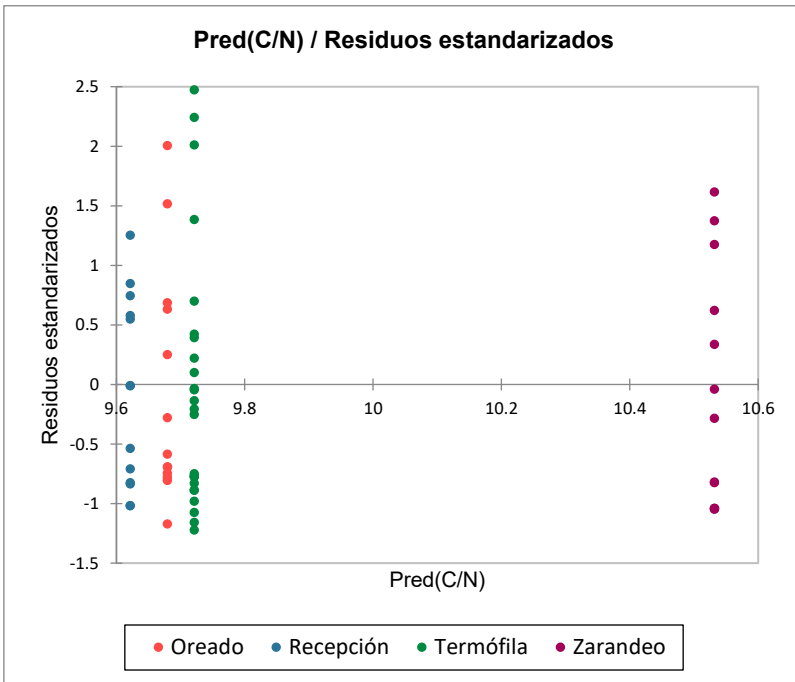


Figura 116. Pred(pH) / Residuos estandarizados.

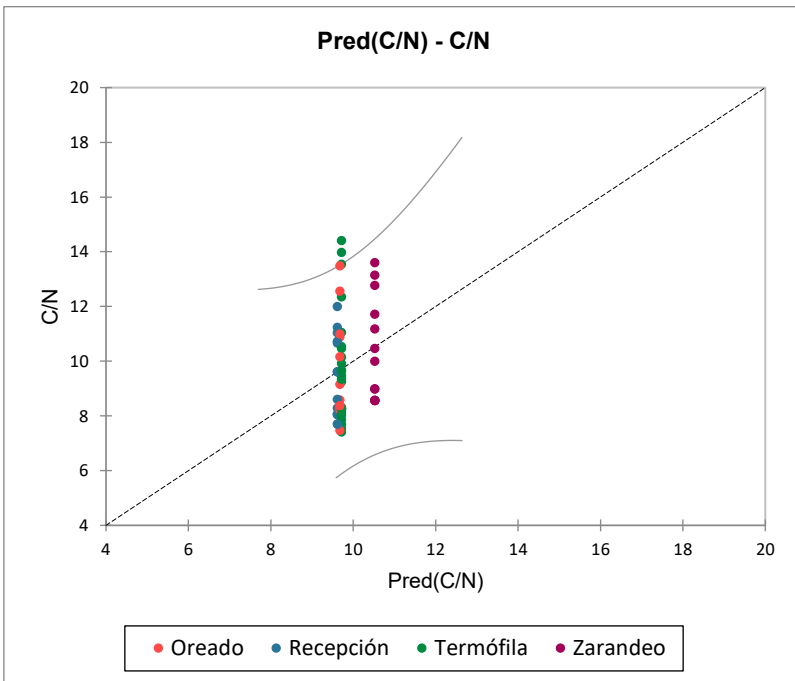


Figura 117. Pred(pH) -C/N.

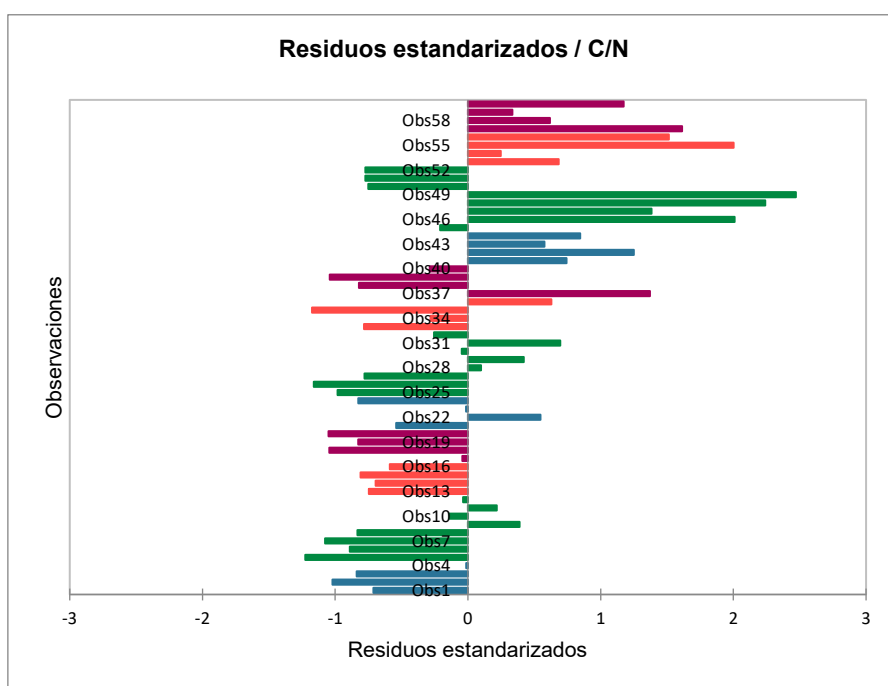


Figura 118. Residuos estandarizados / C/N.

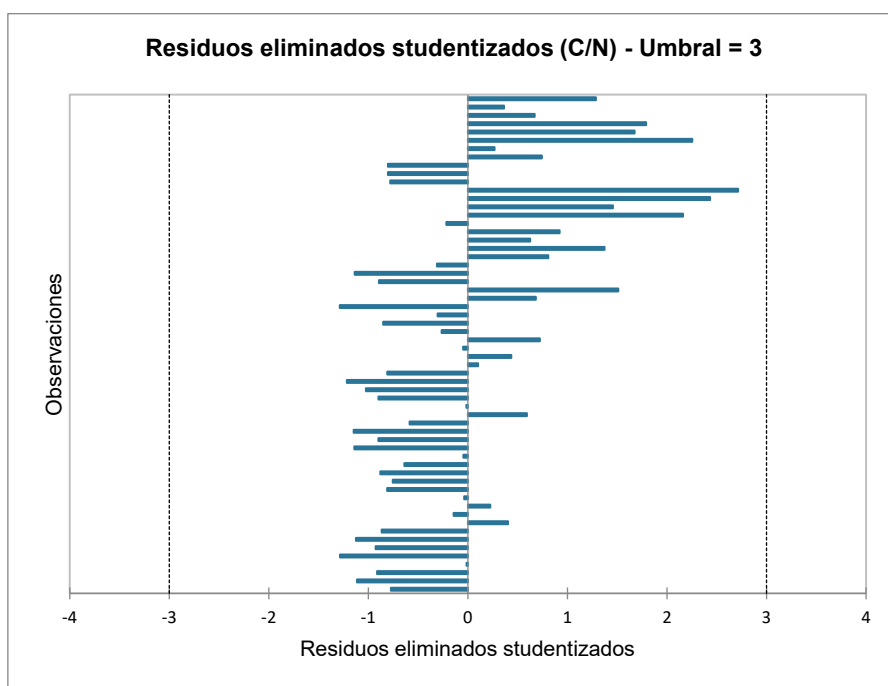


Figura 119. Residuos eliminados studentizados (C/N) - Umbral = 3.

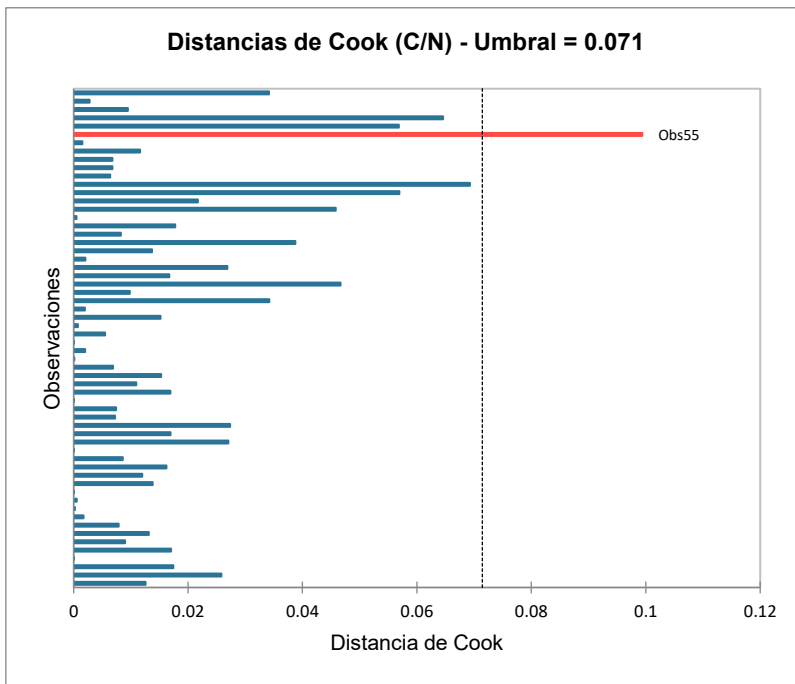


Figura 120. Distancias de Cook (C/N) - Umbral = 0.071.

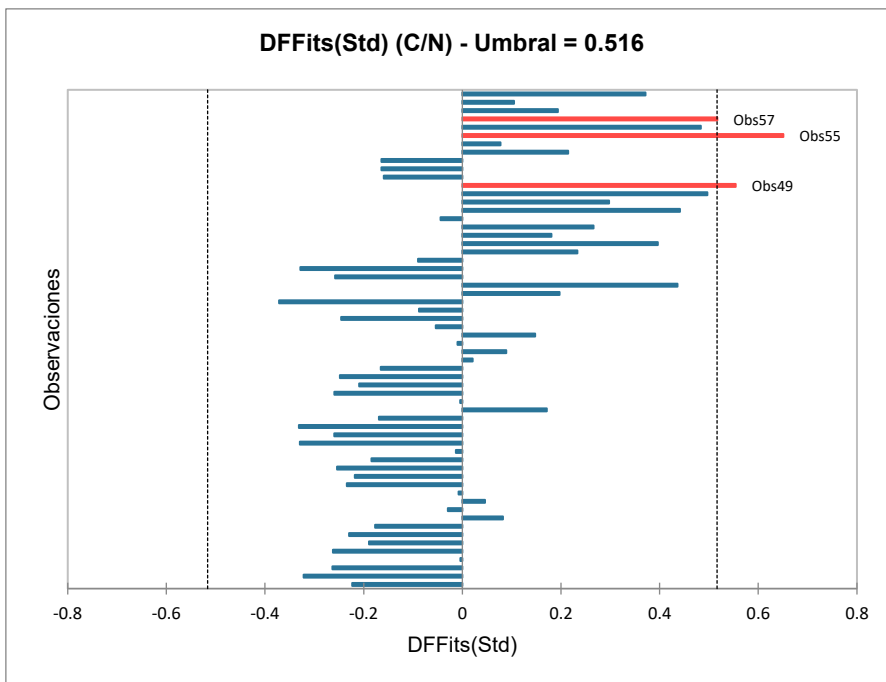


Figura 121. DFFits(Std) (C/N) - Umbral = 0.516.

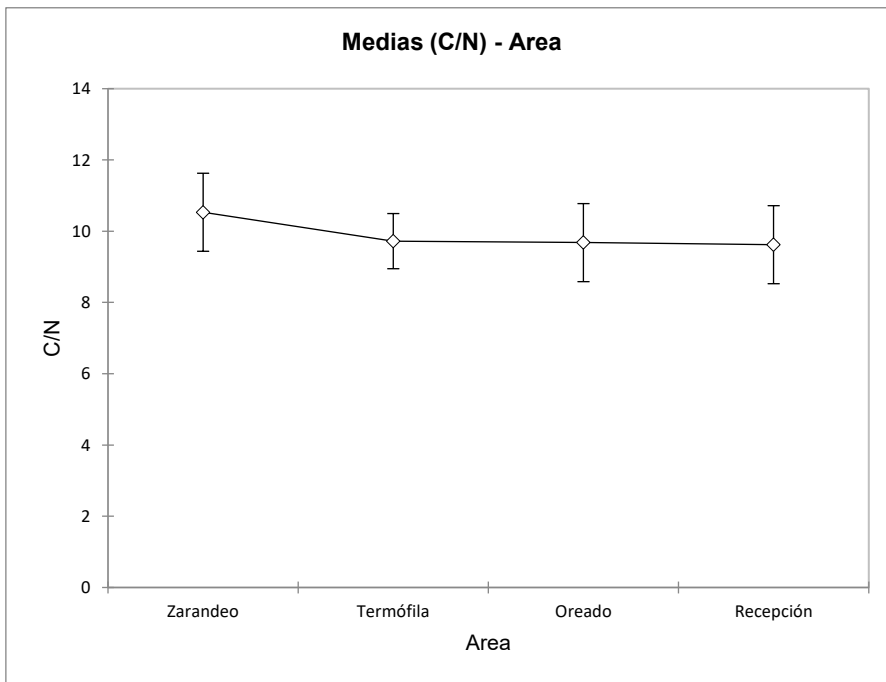


Figura 122. Medias C/N-Área.

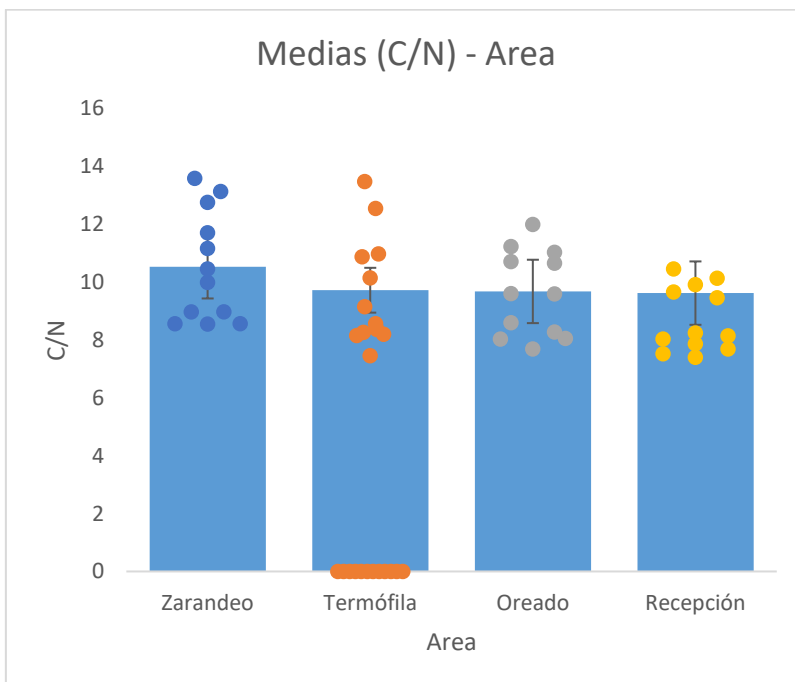


Figura 123. Medias C/N-Área.