

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y  
AMBIENTAL**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE JAÉN**

**EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL BIOGÁS DE UN PILOTO  
EXPERIMENTAL CON AGUA RESIDUAL PROCEDENTE DE  
LA PTAR-JAÉN**

**INFORME FINAL DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

**Autores: Bach. José Euler, Díaz Rodríguez**

**Bach. Gusmaro, Fernández Díaz**

**Asesor: Dr. Segundo Alipio, Cruz Hoyos**

**JAÉN - PERÚ, MARZO, 2022**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

## ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, del **día 25 de marzo del año 2022**; siendo las **04:00 horas**, se reunieron mediante el aplicativo de videoconferencias **Google Meet** (enlace: <http://meet.google.com/ccz-oske-niy>), los **miembros del Jurado Evaluador**:

**Presidente :** Dr. WILFREDO RUIZ CAMACHO  
**Secretario** Mg. HANDRY MARTIN RODAS PURIZAGA  
**Vocal** Dra. DELICIA LILIANA BAZÁN TANTALEAN

Para **evaluar la Sustentación del Informe Final**

- ( ) Trabajo de Investigación  
( **X** ) **Tesis**  
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

**Titulado:** “EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL BIOGÁS DE UN PILOTO EXPERIMENTAL CON AGUA RESIDUAL PROCEDENTE DE LA PTAR-JAÉN” presentado por los bachilleres José Euler, Díaz Rodríguez y Gusmaro, Fernández Díaz, de la Carrera Profesional de **Ingeniería Forestal y Ambiental** de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, **el Jurado Evaluador acuerda:**

- ( **X** ) Aprobar      ( ) Desaprobar      ( **X** ) Unanimidad      ( ) Mayoría

**Con la siguiente mención:**

Excelente	18, 19, 20	( )
Muy bueno	16, 17	( )
<b>Bueno</b>	<b>14, 15</b>	<b>(15)</b>
Regular	13	( )
Desaprobado	12 ò menos	( )

Siendo las **05:11 horas** del mismo día, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.



Presidente Jurado Evaluador



secretario Jurado Evaluador



Vocal Jurado Evaluador

## ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN .....	07
II. OBJETIVOS .....	12
2.1 Objetivo general .....	12
2.2 Objetivos específicos .....	12
III. MATERIAL Y MÉTODOS .....	13
3.1 Población, muestra y muestreo .....	13
3.1.1 Población .....	13
3.1.2 Muestra .....	13
3.1.3 Muestreo .....	15
3.1.4 Variables de estudio .....	16
3.2 Metodología .....	18
3.3 Materiales y equipos .....	18
3.4 Método, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos ....	19
IV. RESULTADOS .....	31
V. DISCUSIÓN .....	51
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	53
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55
AGRADECIMIENTO .....	58
DEDICATORIA .....	59
ANEXOS .....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> <i>Operac. de variables: Variables independientes y variable dependiente</i> .....	17
<b>Tabla 2.</b> <i>Composición química promedio del biogás</i> .....	29
<b>Tabla 3.</b> <i>pH promedio del agua residual de la PTAR- Jaén</i> .....	31
<b>Tabla 4.</b> <i>Conductividad eléctrica (CE) promedio del ARD de la PTAR- Jaén</i> .....	32
<b>Tabla 5.</b> <i>Oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) promedio del ARD de la PTAR- Jaén</i> .....	32
<b>Tabla 6.</b> <i>Sólidos totales (ST) promedio del ARD de la PTAR- Jaén</i> .....	33
<b>Tabla 7.</b> <i>Sólidos suspendidos (SS) del ARD de la PTAR- Jaén</i> .....	34
<b>Tabla 8.</b> <i>Sólidos diluidos (SD) del ARD de la PTAR- Jaén</i> .....	35
<b>Tabla 9.</b> <i>pH* final del ARD descompuesta en C-1 y testigo C-T</i> .....	36
<b>Tabla 10.</b> <i>Conductividad eléctrica (CE) promedio del ARD descompuesta</i> .....	36
<b>Tabla 11.</b> <i>Oxígeno disuelto O<sub>2</sub> promedio del ARD descompuesta</i> .....	37
<b>Tabla 12.</b> <i>Sólidos totales (ST) promedio del ARD descompuesta</i> .....	40
<b>Tabla 13.</b> <i>Sólidos suspendidos (SS) promedio del ARD descompuesta</i> .....	44
<b>Tabla 14.</b> <i>Sólidos diluidos (SD) promedio del ARD descompuesta</i> .....	44
<b>Tabla 15.</b> <i>Producción de biogás, según trabajo de investigación</i> .....	45
<b>Tabla 16.</b> <i>Valor energético del biogás y el metano</i> .....	46
<b>Tabla 17.</b> <i>Datos de combustión de S y L portadores de bioenergía gaseosos</i> .....	46
<b>Tabla 18.</b> <i>Comparación del valor energético del biogás con otros combustibles</i> .....	47
<b>Tabla 19.</b> <i>Comparación de pH, CE y O<sub>2</sub> entre C-1 y C-T</i> .....	47
<b>Tabla 20.</b> <i>Tabla ANOVA para las tres variables (pH, CE, O<sub>2</sub>): C-1 y C-T</i> .....	48
<b>Tabla 21.</b> <i>Comparación de ST, SS y SD entre C-1 y C-T</i> .....	49
<b>Tabla 22.</b> <i>Tabla ANOVA para las tres variables (ST, SS, SD): C-1 y C-T</i> .....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<i><b>Pág.</b></i>
<b>Figura 1.</b> <i>Toma de coordenadas con GPS de la PTAR – Jaén</i> .....	13
<b>Figura 2.</b> <i>Plano topográficos de la PTAR – Jaén</i> .....	14
<b>Figura 3.</b> <i>Muestreo del agua residual doméstica de la PTAR-Jaén</i> .....	15
<b>Figura 4.</b> <i>Medición del pH del agua residual doméstica</i> .....	19
<b>Figura 5.</b> <i>Conductividad eléctrica (CE) del agua residual doméstica</i> .....	20
<b>Figura 6.</b> <i>Medición del oxígeno disuelto del agua residual doméstica</i> .....	20
<b>Figura 7.</b> <i>Secado de las cápsulas de secado</i> .....	21
<b>Figura 8.</b> <i>Pesado de las cápsulas de secado secas en la estufa</i> .....	21
<b>Figura 9.</b> <i>Medición de los volúmenes a evaporar</i> .....	22
<b>Figura 10</b> <i>Secado del papel filtro a evaporar</i> .....	23
<b>Figura 11</b> <i>Secado del papel filtro a evaporar</i> .....	23
<b>Figura 12</b> <i>Secado del papel filtro a evaporar</i> .....	23
<b>Figura 13</b> <i>Adición de estiércol de ganado al cilindro del proceso C-1</i> .....	24
<b>Figura 14</b> <i>Construcción de un agitador para el cilindro C-1</i> .....	25
<b>Figura 15</b> <i>Constr. de un piloto para descomponer el agua residual PTAR- Jaén</i> .....	26
<b>Figura 16</b> <i>Sólidos totales (ST) del agua descompuesta anaeróbicamente</i> .....	28
<b>Figura 17</b> <i>Compr. de la producc. de electr. respecto a la generación de calor</i> .....	29
<b>Figura 18.</b> <i>Consumo de energía primaria el año 2017</i> .....	35
<b>Figura 19.</b> <i>Piloto para descomponer agua residual doméstica (ARD)</i> .....	01

## RESUMEN

Se investigó el poder energético del biogás del agua residual doméstica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Jaén. Su caracterización tuvo pH 6.89; conductividad eléctrica (CE) 526.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (a 24.7 °C); oxígeno disuelto de  $\text{O}_2$  3.39 ppm.; sólidos totales (ST) 225.8 ppm; los sólidos suspendidos (SS) y los sólidos diluidos (SD) alcanzaron los 70 ppm y 155.8 ppm respectivamente. A continuación, se acopió ARD en baldes y galoneras con desde la PTAR-Jaén, para su traslado a dos cilindros biodigestores de 73 litros cada uno: (C-1) y testigo (testigo: C-T). Para acelerar la descomposición anaeróbica del ARD se adicionó a C-1 dos kilogramos de estiércol de ganado vacuno como fuente de bacterias metanogénicas. Finalmente, después de 60 días de fermentación se terminó el proceso con la recolección de 9 L de biogás (técnica de desalojo de agua por gas). Se midió la carga orgánica del ARD tratada, mediante la disminución de los sólidos totales, se determinó que los sólidos totales finales fueron 42 ppm para el C-1 y 114 ppm para el C-T; los sólidos suspendidos totales 12.6 ppm para el C-1 y 42.4 para el C-T; y los sólidos diluidos totales 29.4 ppm para el C-1 y 71.6 para el C-T. Además, se obtuvo un pH 8.19 para C-1 y 8.11 para C-T; la conductividad eléctrica del C-1 y C-T fueron 118.9 y 159.7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente; respecto al oxígeno disuelto OD para C-1 fue 0.06 ppm y para C-T 0.10 ppm. Se complementó la investigación con una descripción del poder energético del biogás al concluir que un metro cúbico de biogás puede producir 5 – 7.5 KWh o 18 -27 MJ. Este poder energético fue comparable a 0.6 litros de aceite o un kilogramo de carbón vegetal y 0.5 L de keroseno o cinco kilogramos de leña.

Palabras claves: Digestor anaeróbico, biogás, biol.

## ABSTRACT

The energy power of biogas from domestic wastewater from the Jaén Wastewater Treatment Plant was investigated. Its characterization had pH 6.89; electrical conductivity (EC) 526.8  $\mu\text{S} / \text{cm}$  (at 24.7 ° C); Dissolved oxygen of  $\text{O}_2$  3.39 ppm; total solids (ST) 225.8 ppm; suspended solids (SS) and diluted solids (SD) reached 70 ppm and 155.8 ppm respectively. Next, ARD was collected in buckets and gallons from the PTAR-Jaén, for transfer to two biodigester cylinders of 73 liters each: (C-1) and control (control: C-T). To accelerate the anaerobic decomposition of ARD, two kilograms of cattle manure were added to C-1 as a source of methanogenic bacteria. Finally, after 60 days of fermentation, the process was completed with the collection of 9 L of biogas (gas evacuation technique). The organic load of the treated ARD was measured, by means of the reduction of the total solids, it was determined that the final total solids were 42 ppm for the C-1 and 114 ppm for the C-T; total suspended solids 12.6 ppm for C-1 and 42.4 for C-T; and total diluted solids 29.4 ppm for C-1 and 71.6 for C-T. In addition, a pH of 8.19 was obtained for C-1 and 8.11 for C-T; the electrical conductivity of C-1 and C-T were 118.9 and 159.7  $\mu\text{S} / \text{cm}$  respectively; Regarding dissolved oxygen, OD for C-1 was 0.06 ppm and for C-T 0.10 ppm. The research was complemented with a description of the energy power of biogas by concluding that a cubic meter of biogas can produce 5 - 7.5 KWh or 18 -27 MJ. This energy power was comparable to 0.6 liters of oil or one kilogram of charcoal and 0.5 L of kerosene or five kilograms of firewood.

Keywords: Anaerobic digester, biogas, biol.

## I. INTRODUCCIÓN

La demanda energética en el país y en el mundo es una necesidad creciente. Pero, preocupante por la facilidad de acceder a insumos energéticos denominados energías no renovables; lo cual afecta de sobre manera el cambio climático mundial mediante la combustión de combustibles fáciles de acceder como la leña, gas propano, petróleo o resistencias eléctricas para el caso de industrias térmicas (Chuen et al., 2018). En sud américa se cuenta con un estudio realizado por COES (2022) al sostener que Perú, al 2021 cuenta con una matriz de generación de 12.8 GW de potencia efectiva, compuesta principalmente por 40 % de potencia hidro, 32 % de potencia de gas natural, 20 % de diésel, 5 % de potencia renovable (solar y eólica) y 3 % de otras fuentes. En términos de producción (generación) eléctrica, esta proviene en un 57 % de fuente hidroeléctrica, 37 % de gas natural, 5 % de fuente renovable (solar y eólica) y 1 % de otras fuentes. Un estudio formulado por *Cabrera y Zevallos, (2019)* sostiene que el 70 % de las aguas residuales de la región latinoamericana no son tratadas; además, que el agua es extraída, usada y devuelta completamente contaminada a los ríos sin haber aplicado ningún tratamiento de depuración. Esta realidad obliga a reflexionar sobre el tratamiento de residuos orgánicos para una bio digestión anaeróbica o la elaboración de compostajes con fines forestales. Para esta problemática, se propuso un mayor estudio sobre una posibilidad técnica y viable de ir reemplazando la energía química (energía no renovable) producida por el gas propano, por una energía renovable como el biogás (energía renovable), la cual no perturba el equilibrio térmico del planeta, reduciendo de manera significativa el calentamiento global tal como lo recomienda *Hellgren et al. (2015)*. La PTAR-Jaén, tiene sus instalaciones en la provincia del mismo nombre en la región Cajamarca, y según *Cabrera y Zevallos (2019)* se encuentra a aproximadamente 0+156.60 metros al S.E. de la carretera Jaén-San Ignacio, en el sector Linderos. Se ingresa en un desvío de la carretera unos 200 metros en una trocha afirmada. Actualmente, colinda al norte con la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Jaén (Linderos) y por el este, oeste y sur se ubican terrenos arroceros que riegan sus cultivos con drenajes de la PTAR-Jaén.

*Celestino et al. (2017)* evaluaron la producción de biogás a partir del reactor de filtro anaeróbico (AF) en el Centro de Investigación de Ingeniería Ambiental del Lago Taihu de la Universidad del Sureste, China. Se llevaron a cabo operaciones experimentales a escala de laboratorio a diferentes tiempos de retención hidráulica (HRT) y temperatura de las aguas residuales. La tasa de producción de biogás durante la experimentación estuvo en el rango de 4.63 a 11.78 L/d. En la primera experimentación, la tasa de producción de gas promedio fue de 10.08 L/d, y en la segunda experimentación la tasa de producción de gas promedio fue de 4.97 L/d. La experimentación observó que el tiempo de retención hidráulico (TRH) favorable y la temperatura de las aguas residuales fue de tres días y 30.95 ° C que produjo la concentración de gas de 11,78 L/d. El TRH y la temperatura de las aguas residuales afectaron también la eficiencia del proceso de AF en la eliminación de materia orgánica.

El biogás de la biomasa al ser investigado por *Omer (2017)* destacó el valor como fuente de energía alternativa. Su artículo ofrece una descripción detallada de la riqueza energética del biogás. Por ejemplo, afirma que la electricidad convencional tiene un valor calorífico (kcal) de 880 y una eficiencia térmica del 70 %; que un kilogramo gas de carbón tiene un valor calorífico (kcal) de 4 004 y una eficiencia térmica del 60 %; que un metro cúbico de biogás tiene un valor calorífico (kcal) de 5373 y una eficiencia térmica del 60 %; que un litro de kerosene tiene un valor calorífico (kcal) de 9122 y una eficiencia térmica del 50 %; que un kilogramo de carbón tiene un valor calorífico (kcal) de 6930 y una eficiencia térmica del 28 %; que un kilogramo de coque blando tiene un valor calorífico (kcal) de 6292 y una eficiencia térmica del 28 %; que un kilogramo de leña tiene un valor calorífico (kcal) de 3821 y una eficiencia térmica del 17 %; un kilogramo de estiércol de ganado vacuno tiene un valor calorífico (kcal) de 2092 y una eficiencia térmica del 11 %.

*Arpit y Ling (2020)* investigaron la demanda de utilización de fuentes de energía sostenible y respetuosa con el medio ambiente, la adopción de tecnologías de conversión de residuos en energía ha comenzado a recibir atención. La producción de biogás a través de la digestión anaeróbica (DA) es prometedora; sin embargo, este proceso en muchas circunstancias no puede ser competitivo en costos con el gas natural. Proporciona una evaluación técnica de los desafíos actuales del proceso y comparamos el costo de la producción de biogás a través del proceso de DA de la literatura, el modelado de procesos Aspen Plus y el software Capdet Works. También se proporciona información sobre los factores críticos que afectan el

proceso de DA y recomendaciones para optimizar el proceso. Se utilizan cuatro tipos de desechos húmedos, que incluyen lodos de aguas residuales, desechos de alimentos, estiércol de cerdo y aceite - grasa.

*Adelere et al. (2016)* investigaron las instalaciones de tratamiento primario, como digestores anaeróbicos, reducen la carga orgánica de aguas residuales antes de ingresar a los sistemas de humedales construidos. También establece que el biogás es el producto de la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas. En este estudio, se evalúa la cantidad de biogás producido a partir del digestor anaeróbico de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de humedal construido. Después de un período de 148 días (15 septiembre, 2015 al 8 febrero, 2016), la media de los porcentajes de metano (CH<sub>4</sub>), Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) y monóxido de carbono (CO) fueron  $60,97 \pm 8,38$ ,  $33,93 \pm 6,31$ ,  $1,03 \pm 4,45$  y  $0,25 \pm 2,11\%$ , respectivamente. La tasa promedio de producción de biogás fue de  $641,83 \pm 88,26$  m<sup>3</sup>/día. El estudio concluye que los pretratamientos del digestor anaeróbico no solo ayudan a reducir la carga orgánica para el desempeño eficiente del humedal construido, sino que también pueden servir para la producción de biogás.

*Chuen et al. (2018)* tuvo como objetivo estudiar el efecto de la suplementación con cobre (como CuCl<sub>2</sub>), a diferentes concentraciones (10, 30 y 50 mg/L Cu<sup>2+</sup>) para potenciar la conversión de orgánicos presentes en una mezcla de desperdicios de alimentos y aguas residuales domésticas (0.183, v/v) al biogás. El reactor UASB se hizo funcionar en condiciones mesófilas (35°C) con un tiempo de retención hidráulica de 10 días en el modo de alimentación intermitente (48 h de alimentación/48 h sin alimentación). Independientemente de la concentración de Cu<sup>2+</sup> suplementada, un mayor rendimiento acumulativo de biogás (260-329 mL CH<sub>4</sub>/g DQO eliminado) se obtuvo en comparación con el control sin suplementación (175 mL CH<sub>4</sub>/g DQO eliminado). El micro elemento cobre bajo la suplementación redujo la cantidad de ácidos grasos de cadena corta acumulados en el reactor en un 35 %, estimulando el metano.

*Cano et al. (2016)* investigaron que los sistemas anaeróbicos producen biocombustibles y líquidos residuales conocidos como bioles. En Sistemas Biobolsa® se realizó la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas, durante dos meses. La diferencia

entre los tipos de biol bovino y porcino obtenidos se determinó con análisis de varianza de un factor y para cada parámetro físico y químico evaluado. En los bioles se monitoreó diariamente pH, temperatura, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), potencial oxido reducción (ORP), sólidos disueltos totales (SDT), porcentaje de cloruro de sodio, sólidos volátiles (SV), sólidos totales (ST), cenizas, humedad, P, PO<sub>4</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, N, Na, K, Ca, Mg, Zn y Cu en su forma iónica. Con un pH-metro determinaron pH, CE, SDT, y NaCl, y en un analizador multi paramétrico evaluaron OD y potencial óxido-reducción. Con métodos gravimétricos se determinó humedad, ST, SV, y cenizas; los macro-nutrientes (P, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, PO<sub>4</sub>, nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>-H) y K) se midieron con un analizador de nutrientes y los micronutrientes con un espectrofotómetro de absorción atómica. Todos los análisis se realizaron por duplicado. El biol bovino mostró 8.94 mS/cm, 658.9, 80.90 y 581 ppm en CE, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, y K<sup>+</sup> y 8.4 mS/cm, 745.0, 80.90, 39 y 521 ppm el biol porcino. El contenido de nutrientes de ambos bioles permite su utilización como enriquecedores de fertilizantes.

*Abdeen (2017)* investigó el biogás de la biomasa (residuos de ganado, aves y ovinos) sobre todo porque es un potencial como fuente de energía alternativa, que es potencialmente rica en recursos de biomasa. Esta es una descripción general de algunos puntos destacados y perspectivas de la tecnología del biogás. Se revisa la literatura actual sobre los impactos ecológicos, sociales, culturales y económicos de la tecnología del biogás. Este artículo ofrece una descripción general del uso presente y futuro de la biomasa como materia prima industrial para la producción de combustibles, productos químicos y otros materiales.

*Calispa et al. (2017)* examinaron la viabilidad de la producción de biogás mediante la co-digestión anaeróbica de alimentos. residuos (FW) y lodos primarios (PS) en condiciones termófilas (55 ° C) y mesófilas (35 ° C). Luego, el biogás se utilizó para generación de energía y calor. Se utilizaron tres relaciones de mezcla diferentes de FW: PS (1: 2, 1: 1 y 2: 1) con contenido de sólidos volátiles (VS) de 84,53%, 86,99% y 89,6% respectivamente. Además, las tasas de carga orgánica (OLR) utilizadas fueron 2.08, 2.49 y 3.34 gVS l-1/día para las proporciones de mezcla anteriores con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 21 días.

Los resultados indicaron que con una relación de mezcla de 1: 2 y un flujo másico de 132,42 toneladas/día, se obtuvo una producción máxima de 270 y 205 mL de CH<sub>4</sub>/gVS en condiciones termófilas y mesófilas, respectivamente. La producción de energía con los

valores antes mencionados fue de 188,42 y 137,79 kW para ambas condiciones térmicas. *Cabrera y Zevallos, (2019)* investigaron la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la ciudad de Jaén conforme a lo estipulado en la Norma Técnica Peruana (NTP) OS – 090. El trabajo en campo, fue comprendido por la inspección ocular a los componentes de la planta, estado actual de las lagunas, superficie y forma geométrica, topografía y estudio de suelos; registrados en libreta de campo y fotografías. El trabajo en gabinete comprendido por cálculo de caudales, análisis de laboratorio, siendo los resultados en un primer momento en el afluente una DBO<sub>5</sub> de 1 840 mg/L y DQO de 2 200 mg/L, en el efluente una DBO<sub>5</sub> de 1 200 mg/L y DQO de 1 680 mg/L arrojando una eficiencia para una DBO<sub>5</sub> de 34.78 %, y la DQO de 23.64 %; en un segundo análisis los resultados en el afluente son DBO<sub>5</sub> de 216 mg/L y DQO de 568 mg/L, en el efluente una DBO<sub>5</sub> de 190 mg/L y DQO de 417 mg/L con una eficiencia para una DBO<sub>5</sub> de 11.75% y DQO de 26.56%, concluyendo que la PTAR es deficiente.

*Pinto y Quipuzco (2015)* tuvieron como objetivos evaluar la calidad y cantidad de biogás, la calidad del biol y la reducción de patógenos en biodigestores tipo semi continuo para dos tratamientos. Para los dos tratamientos se usó el mismo sustrato base, que fue purín de cerdo, la variación entre los dos tratamientos (T1 y T2) consistió en el agua a utilizar: El T1 estuvo alimentado con AR y el T2 con agua de pozo. Para la composición de biogás se obtuvo un promedio de CH<sub>4</sub> de 50,6% para el T1, alimentado con aguas residuales y un promedio de 48.6 % de CH<sub>4</sub> para el T2, alimentado con agua de pozo. La mayor producción de biogás la obtuvo el Tratamiento 1 (85.19 Litros/Kg.ST), en comparación con el T2 (69.8 Litros/Kg ST) con un tiempo de retención de 30 días en los dos tratamientos. El biol producido en los dos tratamientos presenta micronutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio en su composición.

*Guerrero y Jibaja (2019)* analizaron las aguas residuales de la PTAR- Jaén. Esta investigación comparó el Jacinto (*Eichhornia crassipes*) con la Lenteja de agua (*Lemna minor*). El ARD tuvo los parámetros iniciales de pH = 7.52, CE = 382.00 µS/cm, OD = 3.33 mg/L, DBO<sub>5</sub> = 140.00 mg/L y Temperatura = 25.20 °C. Luego de un mes de evaluación se identificó que el *Eichhornia Crassipes* obtuvo valores de pH = 7.09, CE = 382.00 µS/cm, OD = 5.80 mg/L, DBO<sub>5</sub> = 23.83 mg/L y Temperatura = 23.63°C, con respecto a la *Lemna Minor* que obtuvo valores de pH = 8.15, CE = 446.00 µS/cm, OD = 4.40 mg/L, DBO<sub>5</sub> = 31.52 mg/L y Temperatura = 23.73°C; Obteniendo, así como resultado que el *Eichhornia Crassipes* es más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales.

## II. OBJETIVOS

### a. Objetivo general:

Evaluar propiedades del biogás producido por un piloto experimental a partir de agua residual del PTAR-Jaén.

### b. Objetivos específicos:

- Caracterizar física y químicamente al agua residual procedente de la PTAR-Jaén.
- Construir un biodigestor con una capacidad mínima de 50 litros para obtener el biogás.
- Caracterizar física y químicamente al agua residual después de la descomposición anaeróbica.
- Evaluar descriptivamente el poder energético del biogás producido.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Población, muestra y muestreo

##### 3.1.1 Población:

La población estuvo constituida por todo el efluente producido en la planta de tratamiento de aguas residuales de la PTAR- Jaén. Las coordenadas de la zona del efluente estuvieron registradas en un panel informativo:

Este: 746250

Norte: 9371924

#### Figura 1

*Toma de coordenadas con GPS de la PTAR – Jaén.*

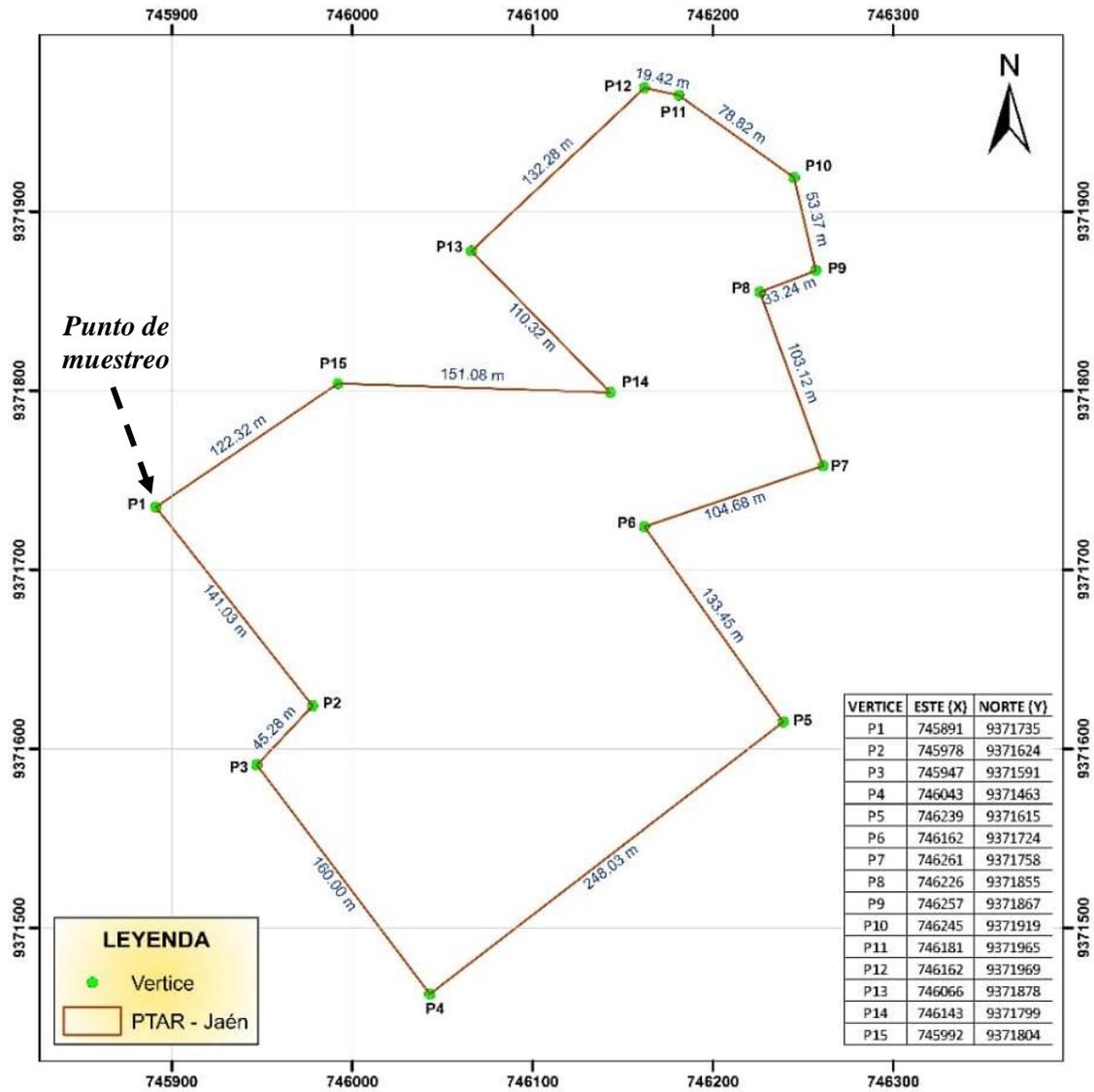


##### 3.1.2 Muestra:

La muestra efluente (agua residual tratada) fue un agua tratada que se halló en las pozas denominadas lagunas de oxidación. Es decir, la muestra fue tomada desde una laguna, la cual acopia agua tratada anteriormente con un tratamiento primario (separación de objetos, botellas, heces, animales muertos, etc.). La característica principal de la muestra es que contiene una alta carga orgánica biodegradable y sobre todo contaminada por bacterias y microorganismos aeróbicos y anaeróbicos. Estas condiciones biológicas fueron una fortaleza para aplicar un proceso anaeróbico de depuración (Adelere et al., 2016).

**Figura 2**

*Plano topográfico de la PTAR – Jaén.*



<p><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN</b></p> <p>Evaluación energética del biogas de un piloto experimental con agua residual procedente de la PTAR - JAÉN.</p>		<p><b>MAPA M - 01</b></p>
<p><b>Mapa :</b> Mapa de Ubicación</p>	<p><b>ESCALA: 1:3000</b></p> <p><b>DATUM :</b> WGS 84 <b>PROYECCION :</b> UTM <b>ZONA UTM :</b> 17S</p>	
<p><b>UBICACIÓN:</b> Departamento: Cajamarca Provincia: Jaén Distrito: Jaén</p>	<p><b>Tesistas:</b> - José Euler Díaz Rodríguez - Gusmaro Fernández Díaz</p>	<p><b>Fecha:</b> Febrero, 2020</p>

**INGENIERIA FORESTAL Y AMBIENTAL**

**Fuente de datos:**  
"Evaluación energética del biogas de un piloto experimental con agua residual procedente de la PTAR - JAÉN, el límite del área fue tomada con GPS en el distrito de Jaén".

0 250 500 1,000 1,500 2,000 km

**MAPA DE UBICACIÓN**

### 3.1.3 Muestreo

El muestreo de las aguas residuales municipales fue realizada tomando en cuenta aspectos técnicos y recomendaciones de muestreo formulado por Celestino (como se citó APHA-AWWA-WPCF, 2012):

#### **Identificación del punto de muestreo:**

Fue realizado por comodidad en el punto denominado N° 1, de la laguna de oxidación debido a que los olores fétidos en este punto son más tolerables que en el resto de los puntos señalados en la figura 2. La actividad fue realizada el ocho de marzo del 2020.

#### **Registro del muestreo:**

Los tesisistas con mandil blanco, mascarilla y guantes de latex, procedieron a tomar las muestras de ARD en el punto 1 (ver figura 2), para ello se hizo uso de un alambre para sujetar una botella de plástico cortada (lavada previamente con detergente y enjuagada con abundante agua), la cual, sumergida a cinco centímetros de la superficie permitió llenar a dos galoneras con tapa rosca, las que a su vez alimentaron a los cilindros (C-1 y C-T) que operaron el proceso anaeróbico. Esta operación se realizó durante todo el día, hasta completar la capacidad de los cilindros.

Al concluir el llenado de los cilindros, con el sobrante se envasó en una botella de plástico ARD llenada al ras sin dejar espacios de aire, se envolvió con cinta de embalaje y se procedió a colocarlo en la nevera para su refrigeración y evaluación el mismo día de muestreo para evitar algún tipo de reacción bioquímica que pueda alterar el resultado. El análisis se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional de Jaén.

**Figura 3**

*Muestreo del agua residual doméstica de la PTAR-Jaén.*



El agua residual doméstica envasada y congelada fue trasladado a los laboratorios de Forestal y Ambiental, además del Química de la Universidad Nacional de Jaén, para el análisis inmediato de la acidez (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>), sólidos totales (ST), sólidos suspendidos (SS) y sólidos diluidos (SD), para ellos se hizo uso del multi parámetro que permitió testear simultáneamente la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto.

### **3.1.4 Variables de estudio**

#### ***Variables independientes:***

Son aquellas influyen en la eficacia del proceso anaeróbico.

- Estiércol de ganado vacuno (fuente de bacterias anaeróbicas).
- Temperatura.
- Agitación del líquido.
- pH.

#### ***Variable dependiente:***

Es aquella que resulta como un efecto de las variables independientes.

- Volumen de biogás del proceso anaeróbico.

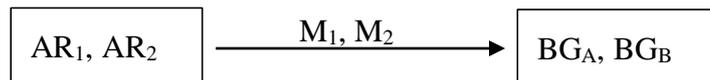
**Tabla 1**

*Operacionalización de variables: Variables independientes y variable dependiente.*

<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>INSTRUMENTOS DE MEDIDA</b>
- Estiércol de ganado vacuno	Es un residuo resultado de la digestión alimenticia del ganado vacuno.	a).- Tiene relación con el número de bacterias, hongos y virus.	a).- La unidad de medición es el número de micro – organismos por gramo.	a).- Número de microorganismo / gramo de estiércol
- Temperatura	Es el medio por el cual se expresa el contenido de energía de un cuerpo.	a).- La temperatura ambiental en Jaén tiene una máxima de 28 °C.	a).- Una temperatura por encima de los 20 °C, facilita el proceso de descomposición.	a).- Termómetro a escala centígrada °C.
- Agitación del líquido	La agitación de un líquido contribuye a la uniformidad del calor en su interior, como resultado de una turbulencia interior.	a).- La turbulencia genera una interacción de solubilidad entre las fases en suspensión y líquida.	a).- La solución uniformiza su temperatura en su interior. Disipa los puntos de calor con mayor concentración energética.	a).- Número de revoluciones / minuto
- Acidez	La acidez puede ser un factor de contaminación, como lo son las aguas residuales industriales. La acidez orgánica es el resultado de reacciones bio químicas.	a).- Las aguas más dañinas son las aguas ácidas o fuertemente alcalinas. El proceso anaeróbico por lo general contribuye con acidez.	a).- La acidez se evalúa midiendo el pH de la solución.	a).- pHmetro ó cintas pHmetro ó potenciómetro.
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>INSTRUMENTOS DE MEDIDA</b>
- Volumen de biogás.	El biogás es un gas que se forma por la descomposición anaeróbica, juntos a otros gases, como el H <sub>2</sub> S, hidrógeno, dióxido de carbono, entre otros.	El biogás es una sustancia reducida causada por la ausencia de oxígeno en biodegradación y los responsables son las bacterias metanogénicas.	a).- Medida del volumen de biogás.	a).- cm <sup>3</sup> ó Lt. ó m <sup>3</sup> de Biogás.

### 3.2 Metodología

El diseño de la investigación consistió en evaluar la descomposición anaeróbica del agua residual doméstica procedente de la PTAR- Jaén, para lograr una descomposición eficiente fue necesario utilizar micro organismos metanogénicos. La manipulación de las variables fue posible por la adaptación de un piloto experimental construido para tal fin. El diseño por la naturaleza del proyecto tuvo una ejecución basada en un trabajo experimental que se ejecutó a través de una técnica bajo el siguiente esquema.



AR<sub>1</sub>, AR<sub>2</sub> .....: Envases con agua residual doméstica.

BG<sub>A</sub>, BG<sub>B</sub> .....: Volúmenes de metano (biogás) en cm<sup>3</sup>.

M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>: .....: Microorganismos metanogénicos (anaeróbicos).

### 3.3 Materiales y equipos

#### Materiales:

- Vestimenta para laboratorio: guantes, mandil blanco, mascarilla, entre otros.
- Agitadores de vidrio
- Cápsulas de calcinación
- Probetas de vidrio (500 mL, 250 mL, 100 mL y 50 mL).
- Cilindros plásticos azules (*dos unidades, 73 Lt, tapa*)
- Tubería de ½” de diámetro (cinco metros).
- Jarras de plástico de un litro (milimetrado).
- Sierra, pegamento, codos de PVC, otros.
- Beaker o vaso de precipitación (*1000 mL, 500 mL, 250 mL, 100 mL y 50 mL*).

#### Equipos:

- GPS digital (*64mm x 46mm x 17mm, Red: GSM/GPRS*).
- Estufa (*modelo AE-301, de acero inoxidable tipo 304, rango de temperatura de ambiente ± 5 °C a 100°C sensibilidad 0.5°C*).
- Unidad de filtración a vacío (*Vacío máximo 540 mmHg, Máxima velocidad de flujo (aire) 2.2 L/min, Máxima velocidad de flujo (agua) 0.5 L/min*).
- Balanza de precisión (*Capacidad máx.320 g, resolución 0,1 mg, plato 90 mm.*)

### 3.4 Método, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos

La metodología consistió en dar cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos:

**Primer objetivo:** *Caracterizar física y químicamente al agua residual procedente de la PTAR-Jaén.*

Las variables que midieron por la facilidad de la atención de los laboratorios son: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos diluidos.

#### **pH:**

Antes de realizar la medición del pH fue necesario, realizar la calibración del instrumento potenciómetro digital, que se encontró en el Laboratorio de Química de la UNJ. Se utilizó las siguientes soluciones químicas (buffer o tampón químico) para la calibración del potenciómetro digital (medidor del pH):

- Solución Buffer pH 4.0
- Solución Buffer pH 7.0
- Solución Buffer pH 10.0
- Agua destilada.

#### **Determinación del pH:**

Se tomaron 10 muestras de 100 mL. del agua residual doméstica que fue evaluada dentro 24 horas del muestreo para evitar algún tipo de oxidación que pueda alterar el resultado. Después de cada lectura del pH en cada vaso de precipitación, se lavó cada vez el electrodo del potenciómetro con trazas de un detergente comercial y luego se lavó con abundante agua destilada (la cual adquirida de tiendas).

#### **Figura 4**

*Medición del pH del agua residual doméstica.*

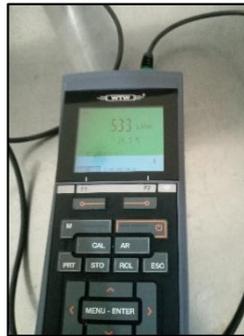


### **Conductividad eléctrica:**

Se continuó con el análisis físico químico utilizando las muestras anteriores (10 vasos de precipitación) y se tomaron las diez lecturas con el equipo multi parámetro, de forma similar al método anterior, cada vez que se midió la conductividad eléctrica de un vaso se procedió a lavar electrodo con trazas de detergente y enjuagado con abundante agua destilada antes de introducir el electrodo en el siguiente vaso con la muestra de 100 mL.

**Figura 5**

*Conductividad eléctrica (CE) del agua residual doméstica*



### **Oxígeno disuelto:**

A continuación, se procedió a cambiar de electrodo del multi parámetro y se colocó el electrodo del oxígeno disuelto. Y como fue habitual, se tomó las muestras anteriores (10 vasos de precipitación) y se tomaron las diez lecturas de O<sub>2</sub> disuelto con el equipo multi parámetro, y cada vez que se realizaba una medición dentro del vaso se procedió a lavar el electrodo con trazas de detergente comercial y enjuagado con abundante agua destilada antes de introducir el electrodo en el siguiente vaso con la muestra de 100 mL. Se evaluó la cantidad de oxígeno disuelto del agua residual doméstica.

**Figura 6**

*Medición del oxígeno disuelto del agua residual doméstica*



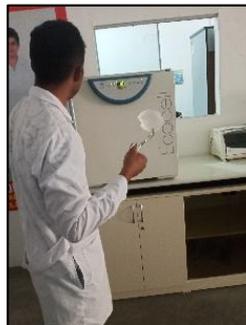
### **Sólidos totales:**

El cálculo de los sólidos totales fue el resultado de evaporar el agua de una muestra de agua residual doméstica, como resultado de haber aplicado calor por radiación al interior de la estufa, el calor se generó por la incandescencia de una resistencia eléctrica. Dado que la evaporación del líquido se caracterizó por ser lenta y las limitaciones de tiempo en el laboratorio. Se escogieron volúmenes pequeños para medir el contenido de sólidos totales en cada muestra.

Se inició con el encendido de la estufa y calentada la estufa; se realizaron diez mediciones a partir de cuatro cápsulas existentes. Con una pinza metálica se sujetaron cuatro cápsulas de secado, los cuales se pusieron a secar al interior de la estufa durante 15 minutos, tiempo suficiente para evaporar la humedad de su superficie.

### **Figura 7**

*Secado de las cápsulas de secado.*



Una vez que se logró evaporar la humedad se procedió a pesar cada una de las cápsulas, determinándose el valor  $W_A$ .

### **Figura 8**

*Pesado de las cápsulas de secado secas en la estufa.*



A continuación, con la ayuda de una probeta de 5 mL., se procedió a verter sobre cada cápsula de secado el volumen de 5 mL, de agua residual doméstica.

### **Figura 9**

*Medición de los volúmenes a evaporar.*



Nuevamente, las cápsulas de secado con el volumen de agua se sometieron a evaporación dentro de la estufa a 105 °C durante 45 minutos. Al cabo de ese tiempo, se dejó enfriar las cápsulas por 3 minutos dentro de un deshumecedor de vidrio y se procedió a pesar cada una de ellas, dentro de una balanza analítica determinándose el peso  $W_B$ .

Para determinar el contenido de sólidos totales de la muestra de agua residual se calculó mediante la siguiente relación:

$$\text{Sólidos totales (ppm o mg/litro)} = [(W_B - W_A) * 1000] / \text{Volumen de muestra (Lt).}$$

En donde:

$W_A$ : Es el peso de la cápsula de secado vacío (gr).

$W_B$ : Es el peso de la cápsula de secado con el residuo seco (gr).

### **Sólidos suspendidos (SS):**

Los sólidos suspendidos fueron calculados a partir de la separación de los sólidos suspendidos del agua residual domésticas, los que fueron atrapados en un papel filtro y secados en la estufa (figura 10).

Una vez que los papeles filtros se secaron se pusieron al interior de un deshumecedor para su enfriamiento por tres minutos, y se procedió a pesarlos (figura 11).

Seguidamente, se armó la unidad de vacío para la respectiva filtración del agua residual, para ello se escogió un volumen muestral de 50 mL. de agua residual (figura 12).

**Figura 10**

*Secado del papel filtro a evaporar.*



**Figura 11**

*Secado del papel filtro a evaporar.*



**Figura 12**

*Secado del papel filtro a evaporar.*



Y, por diferencia de pesos se logró determinar la concentración de los sólidos suspendidos.

A continuación, se aplicó la siguiente relación matemática:

Sólidos suspendidos (mg) =  $(W_B - W_A) \times 1000 / \text{volumen de muestra (Lt.)}$ .

$W_B$  = Peso del papel filtro con residuo seco (gr).

$W_A$  = Peso del papel filtro y seco (gr).

**Sólidos diluidos (SD):**

El cálculo de los sólidos diluidos fue resultado de aplicar la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos.

Sólidos diluidos SD (ppm ó mg/litro) = Sólidos totales – sólidos en suspensión

Sólidos diluidos (ppm ó mg/litro) = ST – SS.

***Segundo objetivo: Construir un biodigestor con una capacidad mínima de 50 litros para obtener el biogás.***

Se realizaron actividades para la construcción de dos biodigestores (C-1 y C-T).

**Procedimiento:**

Se realizó la adquisición de dos cilindros (material de polietileno de alta densidad (HPEAD), color azul, diámetro externo 370 mm, altura exterior 680 mm, capacidad 73 litros, peso 6.50 kilogramos), con el cuidado de poseer tapas de cierre hermético (cilindro C-1 y su control C-T, como testigo), se adquirió tres tubos de PVC de ½ pulgada de cinco metros de longitud, los cuales fueron adaptados al cilindro de forma hermética con uniones de ½ pulgada y silicona líquida. El cierre hermético fue muy importante para evitar las fugas del gas formado como resultado de la descomposición anaeróbica al interior del cilindro. Para evitar la localización de calor en un punto específico al interior de cada cilindro se adaptó (mediante perforación) desde la tapa superior un agitador construido con la misma tubería de ½ pulgada. En el cilindro C-1 se procedió a diluir dos kilogramos de estiércol de ganado vacuno como fuente de bacterias anaeróbicas, en cambio el cilindro C-T no recibió ningún estímulo bacteriano.

**Figura 13**

*Adición de estiércol de ganado al cilindro del proceso C-1.*



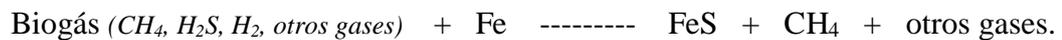
El proceso generó focos de calor y para distribuir mejor el contenido de energía al interior de ambos cilindros, se adaptó un agitador con tubería PVC.

**Figura 14**

*Construcción de un agitador para el cilindro C-1.*



Para atrapar el biogás formado se perforó la tapa de cada cilindro y se adaptó una tubería de ½ pulgada para la salida de los gases. A la salida de los gases con una manguera se adaptó una trampa para atrapar los gases de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), que son los responsables del olor desagradable del biogás. La cual consistió en un recipiente de plástico hermético con un grupo de clavos de fierro lijados depositados en el interior del depósito. Seguidamente, se adaptó otro deposito con agua para el lavado de los gases antes de recogerlos en la botella (2.25 L) inmersa en una tina de agua. El contacto del biogás con el fierro generó el atrapamiento de los gases de sulfuro de hidrógeno mediante la formación de sulfuro de fierro.



Al final el biogás lavado generó un gas cuya mayor concentración fue el metano (CH<sub>4</sub>), el mismo que fue atrapado en una botella de agua sumergida en una tina. Para la extracción del ARD descompuesta en el C-1, se acondicionó una llave de salida utilizando una llave de control de PVC instalada a 20 cm del fondo hacia arriba.

**Figura 15**

*Construcción de un piloto para descomponer el agua residual PTAR- Jaén.*



***Tercer objetivo: Caracterizar física y químicamente al agua residual después de la descomposición anaeróbica.***

El proceso se desarrolló bajo las siguientes características: Tiempo estimado 60 días (algunos investigadores recurrieron a un mínimo de 30 - 45 días), tipo de fermentación: anaeróbica, agitación cada 2 días, temperatura ambiental (promedio 25 °C), medio de cultivo: Bacterias anaeróbicas existentes en el estiércol de ganado vacuno.

Cada dos días se monitoreaba la salida de gases y la agitación (cuya finalidad fue disipar o uniformizar el calor al interior de cada cilindro). Durante todo este tiempo se observó la salida de gases (burbujas en la botella de 2.25 L dentro de la tina de agua) cruzando las trampas de fierro puestas en el camino del biogás producido. Para caracterizar el agua residual se procedió así: Se retiró un litro y medio de cada cilindro para su análisis en el laboratorio de Química de la UNJ. Se tuvo cuidado de muestrear el volumen del líquido descompuesto en cada cilindro a partir de la llave de control colocada en cilindro a 20 cm de la base del mismo.

**pH del C-1 y T-1**

Para encontrar el pH se procedió con igual metodología descrita en el apartado del primer objetivo. Esto fue así, se calibró el potenciómetro con las tres soluciones buffer (pH= 4.0, 7.0 y 10.0), luego enjuagado el bulbo con agua destilada se midió el pH de las diez muestras de 100 mL. del agua residual descompuesta (C-1, llamado biol) y diez muestras del cilindro control (C-T). Se sacaron diez muestras para obtener un promedio.

**Conductividad eléctrica del C-1 y T-1**

Con las recomendaciones formuladas en el apartado del primer objetivo, se procedió a utilizar el conductímetro para determinar su contenido salino (sales disueltas en el líquido). Se lavó y enjuagó el electrodo del conductímetro. Y se colocó el electrodo al interior de cada uno de los 20 vasos utilizados anteriormente con agua residual doméstica descompuesta.

**Oxígeno disuelto O<sub>2</sub> del C-1 y T-1**

Para la medida del oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) se adaptó un nuevo electrodo en el multi parámetro. Habitualmente, se lavó y enjuagó el bulbo del electrodo con agua destilada.

Finalmente, Y se colocó el electrodo al interior de cada uno de los 20 vasos utilizados anteriormente con agua residual doméstica descompuesta de ambos cilindros.

### **Sólidos totales (ST) del C-1 y T-1**

Se secaron cuatro crisoles (con forma de vaso de material refractario) al interior de la estufa, luego fueron pesadas para conocer su peso en gramos ( $W_A$ ). Luego, sobre cada una de ellas se adicionó 5 mL. (para evitar prolongados tiempos de secado) para su evaporación dentro de la estufa. Luego, se retiraron las cápsulas para su enfriamiento y pesado en gramos en la balanza analítica ( $W_B$ ). se tomaron 10 lecturas del cilindro de control C-1 y 10 lecturas del cilindro testigo T-1.

### **Figura 16**

*Sólidos totales (ST) del agua descompuesta anaeróbicamente.*



### **Sólidos suspendidos (SS) del C-1 y T-1**

Se tomó la técnica descrita en el primer objetivo, se secaron las unidades de papel filtro al interior de la estufa. Se pesaron cada unidad filtrante ( $W_A$ ). Luego, estas unidades filtrantes se integraron a un equipo de filtración a vacío. Con los sólidos retenidos, cada papel filtro se secó nuevamente. Y Por diferencia de peso se determinó la cantidad de sólidos suspendidos las muestras de AR descompuesta de ambos cilindros (C-1 y C-2).

### **Sólidos diluidos (SD) del C-1 y T-1**

Sólidos diluidos SD (ppm ó mg/litro) = Sólidos totales – sólidos en suspensión

Sólidos diluidos (ppm ó mg/litro) = ST – SS.

Al biol saliente, se le adicionó 100 gramos CaO (cal viva) a cada cilindro de 73 litros (C-1 y C-T) para estabilizar la mezcla reactiva, corrigiendo del pH (y su contenido patógeno) y poder utilizarlo como fertilizante foliar.

*Cuarto objetivo: Evaluar descriptivamente el poder energético del biogás producido.*

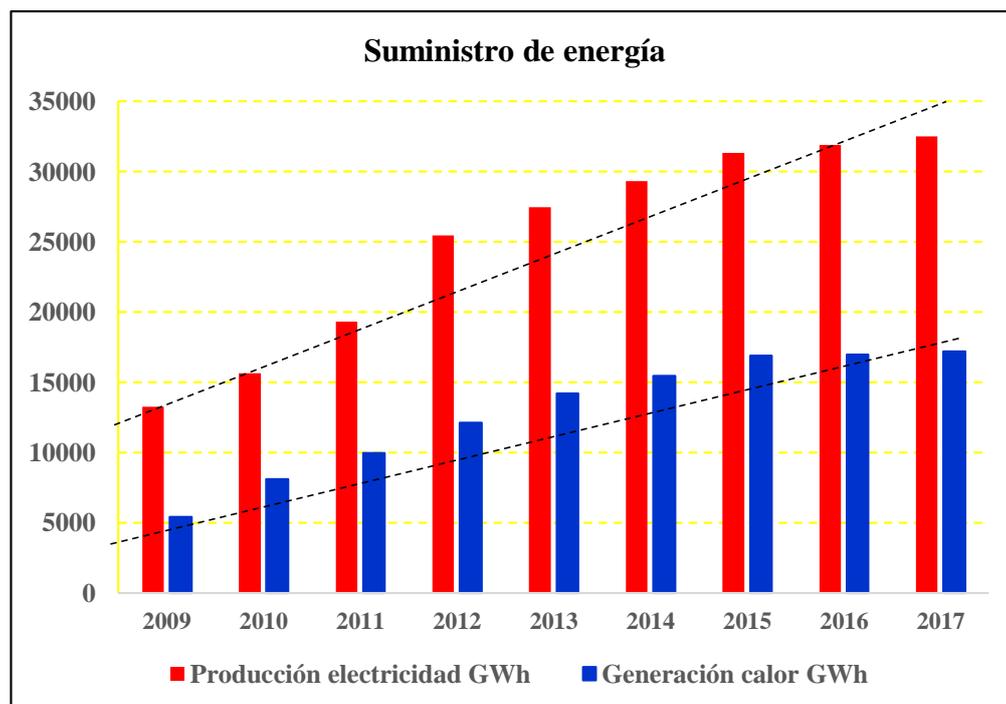
**Tabla 2**  
*Composición química promedio del biogás.*

<b>Tipo de gas</b>	<b>Concentración en % volumen</b>
Metano (CH <sub>4</sub> )	50 -75 % volumen
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	25 – 45 % volumen
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	2 – 7 %
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	20 – 20 000 ppm
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	< 2 % volumen
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	< 2 % volumen
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )	< 1 % volumen
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	< 1 % volumen
Trazas otros gases	< 2 % volumen

Fuente: FRN. (2018).

**Figura 17**

*Comparación de la producción de electricidad respecto a la generación de calor.*

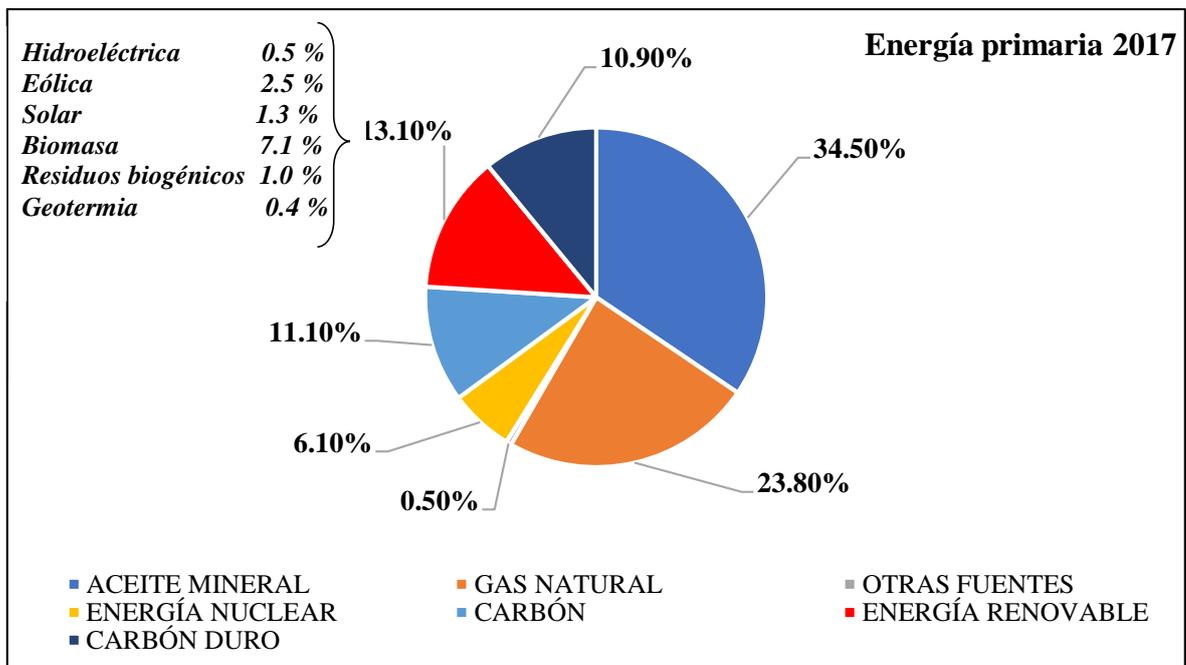


Fuente: Abdeen O. (2017).

Interpretación: Desde el año 2 009 hacia el año 2017, se observa un incremento del requerimiento de electricidad expresada en GWh (gigawattshora). El año 2 009, el requerimiento energético por electricidad fue 13 000 GWh y al cabo del 2 017 el requerimiento fue de 33 000 GWh, un efecto similar ocurrió con el requerimiento de calor en el mundo, en el año 2009 se demandó aproximadamente 5 000 GWh mientras que el 2 017 la necesidad fue de 17000 GWh, en ambos casos se duplicó el requerimiento. En conclusión, la demanda energética se duplica cada década.

**Figura 18**

*Consumo de energía primaria el año 2017.*



Fuente: (FRN, 2018). Alemania.

Interpretación: La FNR el año 2018, circulo su informe titulado “*Basisdaten Bioenergie Deutschland 2018*” (Bioenergía de datos básicos. Alemania 2018), la cual indicó que del total de requerimiento energético fue 13 550 PJ (peta Joules:  $10^{15}$  Joules), sobre el cual solamente el 13.10 % lo cubre las energías renovables. Y, de este porcentaje el 7.1 % procede de biomasa residual. En el mismo documento, se informa la participación de la biomasa residual en la producción de biogás fue del 63.2 %, el segundo lugar lo ocupó los combustibles sólidos biogénicos con 20.7 %, en tercer lugar, otros residuos biogénicos con 11.5 %, gas natural 2.9 % y gas de relleno sanitario 0.6 %.

## IV. RESULTADOS

*Resultado del primer objetivo: Caracterizar física y químicamente al agua residual doméstica (ARD) procedente de la PTAR-Jaén.*

**Tabla 3**

*pH promedio del agua residual de la PTAR- Jaén.*

<b>Número de muestra</b>	<b>Agua residual doméstica (ARD)</b>	<b>pH</b>
1	100 mL. ARD	6.86
2	100 mL. ARD	7.01
3	100 mL. ARD	6.71
4	100 mL. ARD	6.91
5	100 mL. ARD	7.11
6	100 mL. ARD	6.84
7	100 mL. ARD	7.05
8	100 mL. ARD	6.78
9	100 mL. ARD	6.91
10	100 mL. ARD	6.81
<b>Promedio de las lecturas</b>		<b>6.89</b>

Desviación estándar: 0.125914

Coefficiente de Variación: 1.82511%

Mínimo: 6.71

Máximo: 7.11

Rango: 0.4

Sesgo estandarizado: 0.431225

Curtosis estandarizada: -0.442787

**Tabla 4***Conductividad eléctrica (CE) promedio del ARD de la PTAR- Jaén.*

<b>Número de muestra</b>	<b>Agua residual doméstica (ARD)</b>	<b>CE <math>\mu\text{S/cm}</math> (a 24.7 °C)</b>
1	100 mL.	538
2	100 mL.	506
3	100 mL.	545
4	100 mL.	524
5	100 mL.	504
6	100 mL.	510
7	100 mL.	540
8	100 mL.	533
9	100 mL.	544
10	100 mL.	524
<b>Promedio de las lecturas</b>		<b>526.8</b>

**Tabla 5***Oxígeno disuelto ( $\text{O}_2$ ) promedio del ARD de la PTAR- Jaén*

<b>Número de muestra</b>	<b>Agua residual doméstica (ARD)</b>	<b>ppm <math>\text{O}_2</math></b>
1	100 mL.	3.6
2	100 mL.	3.5
3	100 mL.	3.6
4	100 mL.	3.3
5	100 mL.	3.1
6	100 mL.	3.6
7	100 mL.	3.4
8	100 mL.	3.1
9	100 mL.	3.5
10	100 mL.	3.2
<b>Promedio de las lecturas</b>		<b>3.39</b>

**Sólidos totales ST:**

**Tabla 6**  
*Sólidos totales (ST) promedio del ARD de la PTAR- Jaén.*

<b>V</b> <b>5 mL. ó 0.005 Lt.</b>	<b>W<sub>B</sub></b> <b>(gr)</b>	<b>W<sub>A</sub></b> <b>(gr)</b>	<b>ST</b> <b>(ppm ó mg/Lt.)</b>
V <sub>1</sub>	59.3493	59.3483	220
V <sub>2</sub>	65.1037	65.1024	260
V <sub>3</sub>	69.0055	69.0045	200
V <sub>4</sub>	59.6312	59.6324	240
V <sub>5</sub>	63.4811	63.4801	200
V <sub>6</sub>	58.2504	58.2493	220
V <sub>7</sub>	59.0813	59.0803	200
V <sub>8</sub>	68.5416	68.54031	258
V <sub>9</sub>	68.7089	68.7077	240
V <sub>10</sub>	62.0193	62.0182	220
<b>Promedio de los cálculos</b>			<b>225.8</b>

Símbolos:

W<sub>B</sub>: Peso (gr) de la cápsula con residuo seco.

W<sub>A</sub>: Peso (gr) de la cápsula vacía y seca.

ST: Sólidos totales de la muestra  $[W_B - W_A] \times 1000 / \text{volumen de muestra (Lt.)}$ .

**Sólidos suspendidos (SS):**

**Tabla 7**

*Sólidos suspendidos (SS) del ARD de la PTAR- Jaén.*

<b>V</b> <b>50 mL. ó 0.05 Lt.</b>	<b>W<sub>B</sub></b> <b>(gr)</b>	<b>W<sub>A</sub></b> <b>(gr)</b>	<b>SS</b> <b>(ppm ó mg/Lt.)</b>
V1	0.8646	0.861	72
V2	0.8737	0.8704	66
V3	0.8502	0.8468	68
V4	0.8972	0.8935	74
V5	0.918	0.9142	76
V6	0.8823	0.8788	70
V7	0.7958	0.7925	66
V8	0.8441	0.8401	80
V9	0.8301	0.8267	68
V10	0.9372	0.9342	60
<b>Promedio de los cálculos</b>			<b>70</b>

Símbolos:

W<sub>B</sub>: Peso (gr) del papel filtro con residuo seco.

W<sub>A</sub>: Peso (gr) del papel filtro y seco.

ST: Sólidos totales de la muestra  $[W_B - W_A] \times 1000 / \text{volumen de muestra (Lt.)}$ .

**Tabla 8**  
*Sólidos diluidos (SD) del ARD de la PTAR- Jaén*

ST	SS	SD = ST - SS
220	72	148
260	66	194
200	68	132
240	74	166
200	76	124
220	70	150
200	66	134
258	80	178
240	68	172
220	60	160
<b>Valor promedio</b>		<b>155.8</b>

*Resultado del segundo objetivo: Construir un biodigestor con una capacidad mínima de 50 litros para obtener el biogás.*

**Figura 18**  
*Piloto para descomponer agua residual doméstica (ARD).*



*Resultado del tercer objetivo: Caracterizar física y químicamente al agua residual después de la descomposición anaeróbica.*

**Tabla 9**  
*pH\* final del ARD descompuesta en C-1 y testigo C-T.*

N°	ARD cilindro (C-1)	pH	ARD cilindro (C-T)	pH
1	100 mL.	8.21	100 mL.	8.15
2	100 mL.	8.18	100 mL.	8.21
3	100 mL.	8.17	100 mL.	8.19
4	100 mL.	8.23	100 mL.	7.95
5	100 mL.	8.24	100 mL.	8.11
6	100 mL.	8.19	100 mL.	7.98
7	100 mL.	8.18	100 mL.	8.21
8	100 mL.	8.2	100 mL.	7.96
9	100 mL.	8.17	100 mL.	8.23
10	100 mL.	8.22	100 mL.	8.14
	<b>Promedio</b>	<b>8.19</b>	<b>Promedio</b>	<b>8.11</b>

(\*) Se agregó 100 gramos CaO (cal viva) a cada cilindro de 73 litros (C-1 y C-T).

**Tabla 10**  
*Conductividad eléctrica (CE) promedio del ARD descompuesta*

N°	ARD cilindro (C1)	CE $\mu\text{S/cm}$ (a 25.4 °C)	ARD cilindro (C-T)	CE $\mu\text{S/cm}$ (a 25.4 °C)
1	100 mL.	120	100 mL.	165
2	100 mL.	110	100 mL.	160
3	100 mL.	115	100 mL.	158
4	100 mL.	117	100 mL.	162
5	100 mL.	125	100 mL.	155
6	100 mL.	122	100 mL.	165
7	100 mL.	115	100 mL.	160
8	100 mL.	119	100 mL.	154
9	100 mL.	126	100 mL.	161
10	100 mL.	120	100 mL.	157
	<b>Promedio</b>	<b>118.9</b>	<b>Promedio</b>	<b>159.7</b>

**Tabla 11***Oxígeno disuelto O<sub>2</sub> promedio del ARD descompuesta.*

N°	ARD cilindro (C1)	O <sub>2</sub> ppm.	ARD cilindro (C-T)	O <sub>2</sub> ppm.
1	100 mL.	0.09	100 mL.	0.09
2	100 mL.	0.04	100 mL.	0.07
3	100 mL.	0.08	100 mL.	0.08
4	100 mL.	0.09	100 mL.	0.09
5	100 mL.	0.10	100 mL.	0.10
6	100 mL.	0.01	100 mL.	0.12
7	100 mL.	0.02	100 mL.	0.14
8	100 mL.	0.04	100 mL.	0.1
9	100 mL.	0.08	100 mL.	0.13
10	100 mL.	0.05	100 mL.	0.14
	<b>Promedio</b>	<b>0.06</b>	<b>Promedio</b>	<b>0.10</b>

**Sólidos totales del ARD cilindro (C1)****Cápsula 1:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 70.2451 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 70.2449 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 40 ppm. (ó 40 mg/Lt).

**Cápsula 2:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 65.9235 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 65.9232 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 60 ppm. (ó 60 mg/Lt).

**Cápsula 3:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 61.532 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 61.5319 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 40 ppm. (ó 40 mg/Lt).

**Cápsula 4:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 67.9243 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 67.9242 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 20 ppm. (ó 20 mg/Lt).

**Cápsula 5:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 59.1024 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 59.1022 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 40 ppm. (ó 40 mg/Lt).

**Cápsula 6:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 63.7102 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 63.7099 gr. (Peso de la cápsula vacía (ó 220 mg/Lt). y seca)

ST = 60 ppm. (ó 60 mg/Lt).

**Cápsula 7:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 58.9101 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 58.9100 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 20 ppm. (ó 20 mg/Lt).

**Cápsula 8:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 61.4381 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 61.4378 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 60 ppm. (ó 60 mg/Lt).

**Cápsula 9:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 68.8131 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 68.8129 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 40 ppm. (ó 40 mg/Lt).

**Cápsula 10:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 70.5324 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 70.5322 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 40 ppm. (ó 40 mg/Lt).

**Sólidos totales del ARD cilindro testigo (C-T)**

**Cápsula 1:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 57.3651 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 57.3646 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 100 ppm. (ó 100 mg/Lt).

**Cápsula 2:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 69.4021 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 69.4015 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 120 ppm. (ó 120 mg/Lt).

**Cápsula 3:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 64.6812 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 64.6807 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 100 ppm. (ó 100 mg/Lt).

**Cápsula 4:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 57.0922 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 57.0915 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 140 ppm. (ó 140 mg/Lt).

**Cápsula 5:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 63.1026 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 63.1018 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 160 ppm. (ó 160 mg/Lt).

**Cápsula 6:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 70.4829 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 70.4823 gr. (Peso de la cápsula vacía (ó 220 mg/Lt). y seca)

ST = 120 ppm. (ó 120 mg/Lt).

**Cápsula 7:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 59.1754 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 59.1749 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 100 ppm. (ó 100 mg/Lt).

**Cápsula 8:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 61.7203 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 61.7197 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 120 ppm. (ó 120 mg/Lt).

**Cápsula 9:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 67.8023 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 67.8019 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 80 ppm. (ó 80 mg/Lt).

**Cápsula 10:** Volumen 5 mL. ó 0.005 Lt.

WB = 69.734 gr. (Peso de la cápsula con residuo seco)

WA = 69.7335 gr. (Peso de la cápsula vacía y seca)

ST = 100 ppm. (ó 100 mg/Lt).

**Tabla 12**

*Sólidos totales (ST) promedio del ARD descompuesta.*

Nº	ARD cilindro (C1)	ST ppm.	ARD cilindro (CT)	ST ppm.
1	100 mL.	40	100 mL.	100
2	100 mL.	60	100 mL.	120
3	100 mL.	40	100 mL.	100
4	100 mL.	20	100 mL.	140
5	100 mL.	40	100 mL.	160
6	100 mL.	60	100 mL.	120
7	100 mL.	20	100 mL.	100
8	100 mL.	60	100 mL.	120
9	100 mL.	40	100 mL.	80
10	100 mL.	40	100 mL.	100
	<b>Promedio</b>	<b>42</b>	<b>Promedio</b>	<b>114</b>

**Sólidos suspendidos del ARD cilindro (C1)**

**Volumen 1:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.8268 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.8261 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 14 ppm. (ó 14 mg/Lt).

**Volumen 2:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.9439 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.9434 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 10 ppm. (ó 10 mg/Lt).

**Volumen 3:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.8847 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.8841 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 12 ppm. (ó 12 mg/Lt).

**Volumen 4:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.8526 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.8521 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 10 ppm. (ó 10 mg/Lt).

**Volumen 5:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.8172 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.8164 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 16 ppm. (ó 16 mg/Lt).

**Volumen 6:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.8529 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.8524 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 10 ppm. (ó 10 mg/Lt).

**Volumen 7:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.8150 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.8141 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 18 ppm. (ó 18 mg/Lt).

**Volumen 8:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.8627 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.8620 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 14 ppm. (ó 14 mg/Lt).

**Volumen 9:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.8945 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.8939 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 12 ppm. (ó 12 mg/Lt).

**Volumen 10:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.7997 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.7992 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 10 ppm. (ó 10 mg/Lt).

### **Sólidos suspendidos del ARD cilindro testigo (CT)**

**Volumen 1:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.8924 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.8907 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 34 ppm. (ó 34 mg/Lt).

**Volumen 2:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.7917 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.7901 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 32 ppm. (ó 32 mg/Lt).

**Volumen 3:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.8761 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.8737 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 48 ppm. (ó 48 mg/Lt).

**Volumen 4:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.9042 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.9021 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 42 ppm. (ó 42 mg/Lt).

**Volumen 5:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.8154 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.8131 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 46 ppm. (ó 46 mg/Lt).

**Volumen 6:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.9157 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.9129 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 56 ppm. (ó 56 mg/Lt).

**Volumen 7:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.7681 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.7662 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 38 ppm. (ó 38 mg/Lt).

**Volumen 8:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.8829 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.8806 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 46 ppm. (ó 46 mg/Lt).

**Volumen 9:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.8178 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.8161 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 34 ppm. (ó 34 mg/Lt).

**Volumen 10:** Volumen 50 mL. ó 0.05 Lt.

WB = 0.8946 gr. (Peso del papel filtro con residuo seco).

WA = 0.8922 gr. (Peso del papel filtro y seco).

ST = 48 ppm. (ó 48 mg/Lt).

**Tabla 13***Sólidos suspendidos (SS) promedio del ARD descompuesta.*

N°	ARD cilindro (C1)	SS ppm.	ARD cilindro (CT)	SS ppm.
1	100 mL.	14	100 mL.	34
2	100 mL.	10	100 mL.	32
3	100 mL.	12	100 mL.	48
4	100 mL.	10	100 mL.	42
5	100 mL.	16	100 mL.	46
6	100 mL.	10	100 mL.	56
7	100 mL.	18	100 mL.	38
8	100 mL.	14	100 mL.	46
9	100 mL.	12	100 mL.	34
10	100 mL.	10	100 mL.	48
	<b>Promedio</b>	<b>12.6</b>	<b>Promedio</b>	<b>42.4</b>

**Tabla 14***Sólidos diluidos (SD) promedio del ARD descompuesta*

ST	SS	SD = ST - SS	ST	SS	SD = ST - SS
40	14	26	100	34	66
60	10	50	120	32	88
40	12	28	100	48	52
20	10	10	140	42	98
40	16	24	160	46	114
60	10	50	120	56	64
20	18	2	100	38	62
60	14	46	120	46	74
40	12	28	80	34	46
40	10	30	100	48	52
	<b>Valor</b>	<b>29.4</b>		<b>Valor</b>	<b>71.6</b>

**Resultado del cuarto objetivo: Evaluar descriptivamente el poder energético del biogás producido.**

**Tabla 15**  
*Producción de biogás, según trabajo de investigación.*

<b>Trabajo de investigación:</b>	<b>Condiciones técnicas:</b>	<b>Producción de biogás:</b>
(*) Díaz, J. E. y Fernández, G. (2021). Evaluación energética del biogás de un piloto experimental con agua residual procedente de la PTAR-Jaén.	Biodigestor: 73 L. Tiempo: 60 días. Medio: agua residual doméstica (ARD) y 2 kg. Estiércol ganado vacuno Volumen obtenido de biogás: (4 botellas de 2.25 L) 9 L.	0.12 L biogás / L ARD y estiércol de ganado vacuno.
Pinto, C. L. y Quipuzco U. L. (2015). Aprovechamiento de aguas residuales domésticas para producción de biogás y biol mediante digestores de carga diaria. <i>Anales Científicos</i> , 76 (1): 87-93 (2015). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.	Biodigestor: 0.43 L. Tiempo: 30 días. Medio: agua residual doméstica (ARD) y residuos agrícolas (80:20). Volumen obtenido de biogás: 0.085 L.	0.19 L biogás / L ARD y residuos agrícolas.
Montenegro, R. (2020). Producción de biogás y bioabonos a partir de estiércol de bovino en biodigestor Tubular en Naranjos, Bagua, Amazonas.	Biodigestor: 12 000 L. Tiempo: 25 días. Medio: 1500 kg. estiércol de ganado vacuno diluido Volumen obtenido de biogás: 3000 L.	0.25 L biogás / L estiércol de ganado vacuno diluido.
Valderrama, M. S. (2021). Influencia del estiércol de cerdo y los efluentes del proceso húmedo del café, sobre la producción de biogás a nivel de laboratorio.	Biodigestor: 3 L. Tiempo: 20 días. Medio: 745 mL. de estiércol de cerdo, 60 mL. de agua miel y 15,02 g de pulpa de café, Volumen obtenido de biogás: 1.75 L.	0.58 L biogás / L agua residual de café.
Barboza, W. A. (2021). Producción de biogás mediante co-digestión anaerobia de estiércol de caprino, aguas mieles de cacao y residuos orgánicos municipales, a nivel de laboratorio.	Biodigestor: 2.25 L. Tiempo: 25 días. Medio: 0.39 L de estiércol caprino, 0.049 L de aguas mieles de cacao y 9 g de desperdicios de comida. Volumen obtenido de biogás: 1.76 L.	0.78 L biogás / L agua miel de cacao.

Fuente: (\*) Resultados de la presente investigación.

**Análisis:** De las investigaciones dedicadas a la producción de biogás se puede inferir que a medida que la solución a degradar contenga mayor número de moléculas simples (azúcares) el porcentaje de biogás es mayor, así por ejemplo el agua miel de cacao (*0.78 L biogás / L agua miel cacao*) que contiene alta carga azucarada produce más biogás que el agua miel de café (*0.58 L biogás / L agua residual de café*). Y ambos producen más biogás que el propio estiércol de ganado vacuno (*0.25 L biogás / L estiércol de ganado vacuno diluido*) y el agua residual doméstica (*0.19 L biogás / L ARD y residuos agrícolas*). Este fenómeno se explica, por cuanto el agua residual doméstica y el mismo estiércol contienen baja concentración de azúcares y mayor cantidad de proteínas y grasas, osea mayor número de moléculas complejas, que son más difíciles de descomponer en comparación de los azúcares. La presente investigación permitió recoger cuatro botellas de gaseosa (volumen de botella plástico: 2.25 L.) con biogás. Ver la disposición de la botella en la tina (figura 18).

**Tabla 16**  
*Valor energético del biogás y el metano.*

<b>Combustible</b>	<b>Valor energético</b>
1 m <sup>3</sup> biogás	5 – 7.5 KWh Contenido energético ó 18 -27 MJ
1 m <sup>3</sup> biogás	50 –75 % metano
1 m <sup>3</sup> biogás	0.6 Lt. aceite de calefacción
1 m <sup>3</sup> metano	9.97 KWh Contenido energético
1 m <sup>3</sup> metano	36 MJ/m <sup>3</sup> valor calorífico
1 m <sup>3</sup> metano	1.0 Lt. aceite de calefacción

Fuente: Abdeen O. (2017).

**Tabla 17**  
*Datos de combustión de sólidos y líquidos y portadores de bioenergía gaseosos.*

Combustible	% H <sub>2</sub> O	Cantidad de combustible en:		
		MJ	kWh	Aceite de calefacción Lt.
Aceite de colza (1 m <sup>3</sup> )	< 0,1	34.590	9.609	961
Biodiesel (1 m <sup>3</sup> )	< 0,03	32.650	9.093	909
Bioetanol (1 m <sup>3</sup> )	< 0,3	21.140	5.870	1.908
<b>Biogás (1 m<sup>3</sup>)</b>	<b>2–7</b>	<b>18–27</b>	<b>5–7,5</b>	<b>0,6</b>
Biometano (1 m <sup>3</sup> )	< 0,28	30,2–47,1	8,4–13,1	1

Fuente: Adelere et al. (2016).

**Tabla 18***Comparación del valor energético del biogás con otros combustibles.*

<b>Combustible</b>		<b>Valor energético</b>
0.2 m <sup>3</sup> biogás	1 kg. leña	1 – 1.5 KWh (3.6 -5.4 MJ)
0.1 m <sup>3</sup> biogás	1 kg de estiércol de vaca seco	0.5 – 0.75 KWh (1.8 -2.7 MJ)
1 m <sup>3</sup> biogás	1 kg de carbón vegetal	5 – 7.5 KWh (18 -27 MJ)
2 m <sup>3</sup> biogás	1 litro de queroseno	10 – 15 KWh (36 -54 MJ)

Fuente: Abdeen O. (2017).

**Análisis estadístico:****Tabla 19***Comparación de pH, CE y O<sub>2</sub> entre C-1 y C-T.*

<b>N°</b>	<b>pH de C-1</b>	<b>pH de C-T</b>	<b>CE C-1 μS/cm (a 25.4 °C)</b>	<b>CE C-T μS/cm (a 25.4 °C)</b>	<b>O<sub>2</sub> C-1 ppm.</b>	<b>O<sub>2</sub> C-T ppm.</b>
1	8.21	8.15	120	165	0.09	0.09
2	8.18	8.21	110	160	0.04	0.07
3	8.17	8.19	115	158	0.08	0.08
4	8.23	7.95	117	162	0.09	0.09
5	8.24	8.11	125	155	0.10	0.10
6	8.19	7.98	122	165	0.01	0.12
7	8.18	8.21	115	160	0.02	0.14
8	8.20	7.96	119	154	0.04	0.10
9	8.17	8.23	126	161	0.08	0.13
10	8.22	8.14	120	157	0.05	0.14

**Descripción:**

Muestra 1: 10 valores en el rango de 8.17 a 8.24

Muestra 2: 10 valores en el rango de 7.95 a 8.23

Muestra 3: 10 valores en el rango de 110.0 a 126.0

Muestra 4: 10 valores en el rango de 154.0 a 165.0

Muestra 5: 10valores en el rango de 0.01 a 0.1

Muestra 6: 10 valores en el rango de 0.07 a 0.14

**Tabla 20**

*Tabla ANOVA para las tres variables (pH, CE, O<sub>2</sub>): C-1 y C-T.*

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Entre grupos	279209.	5	55841.9	9110.41	0.0000
Intra grupos	367.768	60	6.12946		
Total (Corr.)	279577.	65			

Fuente: Statgraphics Centurion 19.

Supuestos para el pH:

H0: Los valores de pH entre el cilindro C-1 y C-T son **iguales** durante el proceso anaeróbico.

H1: Los valores de pH entre el cilindro C-1 y C-T tienen al menos **un valor diferente** durante el proceso anaeróbico.

Supuestos para la CE:

H0: Los valores de CE entre el cilindro C-1 y C-T son **iguales** durante el proceso anaeróbico.

H1: Los valores de CE entre el cilindro C-1 y C-T tienen al menos **un valor diferente** durante el proceso anaeróbico.

Supuestos para la O<sub>2</sub>:

H0: Los valores de O<sub>2</sub> entre el cilindro C-1 y C-T son **iguales** durante el proceso anaeróbico.

H1: Los valores de O<sub>2</sub> entre el cilindro C-1 y C-T tienen al menos **un valor diferente** durante el proceso anaeróbico.

Supuesto general:

H0: La interacción entre el pH y la conductividad eléctrica **influyen** de manera significativa en el oxígeno disuelto resultado de la descomposición del agua residual doméstica.

H1: La interacción entre el pH y la conductividad eléctrica **no influyen** de manera significativa en el oxígeno disuelto resultado de la descomposición del agua residual doméstica.

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 9110.41, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos.

Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

**Tabla 21**

*Comparación de ST, SS y SD entre C-1 y C-T.*

Nº	ST de C-1	ST de C-T	SS C-1 ppm	SS C-T ppm	SD C-1 ppm	SD C-T ppm
1	40	100	14	34	26	66
2	60	120	10	32	50	88
3	40	100	12	48	28	52
4	20	140	10	42	10	98
5	40	160	16	46	24	114
6	60	120	10	56	50	64
7	20	100	18	38	2	62
8	60	120	14	46	46	74
9	40	80	12	34	28	46
10	40	100	10	48	30	52

**Descripción:**

Muestra 1: 10 valores en el rango de 20.0 a 60.0

Muestra 2: 10 valores en el rango de 80.0 a 160.0

Muestra 3: 10 valores en el rango de 10.0 a 18.0

Muestra 4: 10 valores en el rango de 32.0 a 56.0

Muestra 5: 10 valores en el rango de 2.0 a 50.0

Muestra 6: 10 valores en el rango de 46.0 a 114.0

**Tabla 22**

*Tabla ANOVA para las tres variables (ST, SS, SD): C-1 y C-T.*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	69620.1	5	13924.0	58.13	0.0000
Intra grupos	14372.4	60	239.539		
Total (Corr.)	83992.5	65			

Fuente: Statgraphics Centurion 19.

Supuestos para ST:

H0: Los valores de ST entre el cilindro C-1 y C-T son **iguales** durante el proceso anaeróbico.

H1: Los valores de ST entre el cilindro C-1 y C-T tienen al menos **un valor diferente** durante el proceso anaeróbico.

Supuestos para la SS:

H0: Los valores de SS entre el cilindro C-1 y C-T son **iguales** durante el proceso anaeróbico.

H1: Los valores de SS entre el cilindro C-1 y C-T tienen al menos **un valor diferente** durante el proceso anaeróbico.

Supuestos para la SD:

H0: Los valores de SD entre el cilindro C-1 y C-T son **iguales** durante el proceso anaeróbico.

H1: Los valores de SD entre el cilindro C-1 y C-T tienen al menos **un valor diferente** durante el proceso anaeróbico.

Supuesto general:

H0: La interacción entre los ST y SS **influyen** de manera significativa en los SD resultado de la descomposición del agua residual doméstica.

H1: La interacción entre los ST y SS **no influyen** de manera significativa en los SD resultado de la descomposición del agua residual doméstica.

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 58.1283, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

## V. DISCUSIÓN

La investigación permitió la caracterización de las propiedades físicas químicas del agua residual doméstica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Jaén (PTAR-Jaén) antes de realizarse el tratamiento anaeróbico se determinaron los siguientes parámetros pH promedio fue 6.89; la conductividad eléctrica (CE) promedio fue 526.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (a 24.7 °C); el oxígeno disuelto promedio de  $\text{O}_2$  fue 3.39 ppm.; los sólidos totales (ST) promedio fue 225.8 ppm o  $\text{gr}/\text{L}$ .; los sólidos suspendidos (SS) promedio fue 70 ppm. Y los sólidos diluidos (SD) promedio fue 155.8 ppm. Estos datos tienen similitud con los valores formulados por Guerrero y Jibaja (2019) que antes de aplicar su tratamiento determinaron los siguientes parámetros pH= 7.52, CE = 382.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , OD = 3.33  $\text{mg}/\text{L}$ . En ambos casos, se refleja que el pH del agua residual doméstica (ARD) se ubica dentro de la neutralidad y una muy ligera alcalinidad, y esto justifica la presencia rica bacteriológica del agua contaminada, además, la poca cantidad de oxígeno disuelto se justifica por la elevada carga de contaminación y poca eficiencia operativa de la planta (debido a la falta de rigurosidad sobre las variables de operación: temperatura uniforme y estable, falta de un cultivo bacteriano puro, entre otros). La presente investigación depuró aguas residuales domésticas al menos 60 días en un digestor anaeróbico con fuentes microbiológicas obtenidas a partir del estiércol de ganado vacuno y la producción de biogás fue almacenada al interior de una botella vacía (2.25 L) al interior de un balde/tina con agua y la descomposición de la materia orgánica fue medida indirectamente por la disminución de sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos diluidos del agua residual doméstica. A diferencia de Celestino et al. (2017) que utilizaron un sistema altamente tecnológico para tratar las aguas residuales rurales mediante un filtro anaeróbico y con solo tres días y a 30.95 °C logró obtener rendimientos de 4.63 a 11.78 Litros biogás/día. En cambio, Adelere et al. (2016) utilizaron la fermentación anaeróbica como pre tratamiento a su operación de fitorremediación, su investigación le permitió concluir que un digestor anaeróbico no solo ayuda a reducir la carga orgánica del agua residual, sino que puede servir para la producción de biogás, pues obtuvo  $641,83 \pm 88,26 \text{ m}^3$  de biogás/día. En este sentido, la presente investigación demostró que la carga orgánica disminuyó, es decir, que los sólidos

totales finales fueron 42 ppm para el C-1 y 114 ppm para el C-T; que los sólidos suspendidos totales fueron 12.6 ppm para el C-1 y 42.4 para el C-T; y los sólidos diluidos totales fueron 29.4 ppm para el C-1 y 71.6 para el C-T se obtuvo un pH del C-1 fue 8.19 y el C-T fue 8.11; que la conductividad eléctrica del C-1 fue 118.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y del C-T fue 159.7  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; el oxígeno disuelto OD del C-1 fue 0.06 ppm y del C-T fue 0.10 ppm. a diferencia de Guerrero y Jibaja (2019) que utilizó un tratamiento de fitorremediación para las ARD, encontró un pH = 7.09 CE = 382.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , OD = 5.80 mg/L cuando utilizó la macrofita *Eichhornia Crassipes* y halló CE = 382.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , OD = 5.80 mg/L cuando utilizó a la macrofita *Lemna Minor* en ambos casos utilizó solo 30 días para la degradación de la materia orgánica,

De otro lado, Chuen et al. (2018) utilizaron una tecnología de alta complejidad que operó en un tiempo más corto para reducir la carga orgánica mediante un reactor de flujo ascendente con manto de lodo (UASB), obtuvieron biogás al cabo de dos días logrando una producción de 260-329 mL de biogás por unidad de DQO (demanda química de oxígeno); es decir, el objetivo de su investigación fue la merma de carga orgánica. Sin embargo, Cabrera y Zevallos, (2019) investigaron la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la ciudad de Jaén, que utiliza actualmente tres lagunas de oxidación, concluyendo que la PTAR es deficiente al tratar el ARD, pues solo obtuvieron una eficiencia de remoción de DQO del 26.5 % y del DBO<sub>5</sub> (demanda bioquímica de oxígeno) 11.75 %. Además, Cano et al. (2016) investigaron que los sistemas anaeróbicos producen biocombustibles (biogás) y líquidos residuales nutritivos (bioles). Para ello trató aguas residuales de bovinos y porcinos. Por tanto, la recomienda como nutriente fertilizadora para cultivos tradicionales por ser procedente de bovinos y cerdos. Y, por otra parte, Abdeen (2017) investigó el biogás de la biomasa sobre todo porque es un potencial como fuente de energía alternativa, rica en recursos de biomasa no solamente para el presente sino también para el futuro. Y Calispa et al. (2017) examinaron la viabilidad de la producción de biogás mediante la co-digestión anaeróbica de alimentos. residuos y lodos primarios en condiciones termófilas (55 ° C) y mesófilas (35 ° C). Sus valores energéticos hallados oscilaron entre 188,42 y 137,79 kW. Y Pinto y Quipuzco (2015) evaluaron la calidad y cantidad de biogás. Es decir, obtuvo 50.6 % de biogás para su primer tratamiento y 48.6 % de biogás para su segundo tratamiento. Sobre la calidad concluyó que el biol obtenido presentaba altas concentraciones de macro nutrientes ideal como fertilizante.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

- La caracterización físico química del ARD arrojó los siguientes parámetros pH promedio fue 6.89; la conductividad eléctrica (CE) promedio fue 526.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (a 24.7  $^{\circ}\text{C}$ ); el oxígeno disuelto promedio de  $\text{O}_2$  fue 3.39 ppm.; los sólidos totales (ST) promedio fue 225.8 ppm o gr/L.; los sólidos suspendidos (SS) promedio fue 70 ppm. y los sólidos diluidos (SD) promedio fue 155.8 ppm.
- La técnica de reciclaje permitió construir biodigestores anaeróbicos (C-1) y (C-T) a partir de cilindros de polietileno de alta densidad (HPEAD), con diámetro externo 370 mm, altura exterior 680 mm, capacidad 73 litros y de peso 6.50 kilogramos. Es decir, resultado de la anaerobiosis se obtuvo biogás (fuente energética) y biol (solución fertilizante).
- Al concluir la investigación la caracterización físico química del ARD sometida a un proceso anaeróbico, arrojó una merma de los contaminantes orgánicos, tal como se evidenció: Sólidos totales finales fueron 42 ppm para el C-1 y 114 ppm para el C-T; que los sólidos suspendidos totales fueron 12.6 ppm para el C-1 y 42.4 para el C-T; y los sólidos diluidos totales fueron 29.4 ppm para el C-1 y 71.6 para el C-T se obtuvo un pH del C-1 fue 8.19 y el C-T fue 8.11; que la conductividad eléctrica del C-1 fue 118.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y del C-T fue 159.7  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; el oxígeno disuelto OD del C-1 fue 0.06 ppm y del C-T fue 0.10 ppm
- El poder energético de un metro cúbico de biogás (5 – 7.5 KWh ó 18 -27 MJ) es comparable a 0.6 litros de aceite de calefacción o un kilogramo de carbón vegetal o medio litro de keroseno o cinco kilogramos de leña. Este poder calorífico se justifica por la composición considerable y promedio de metano ( $\text{CH}_4$ ) que tiene una formación promedio entre el 50 y 75 % del total de biogás formado.

- El piloto experimental construido con cilindros de plástico de capacidad volumétrica de 73 litros, permitió descomponer agua residual doméstica de la PTAR-Jaén, sometida a descomposición anaeróbica (no controlada, a excepción de la agitación interna) durante 60 días mezclados con dos kilogramos de estiércol de ganado vacuno (fuente de bacterias metanogénicas) y trabajados a temperatura ambiente ( $T^{\circ}$  promedio 25 °C), permitió obtener 9 L de biogás de forma secuencial a través de la recolección de gases por desalojo de agua; el biogás atrapado al interior del envase de gaseosa fue el equivalente a cuatro veces dicho envase ( $V: 2.25 \text{ L}$ ).

### **Recomendaciones:**

- Continuar con la investigación de nuevas técnicas de descomposición anaeróbica para lograr biocombustibles de bajo costo y sobre todo que son fuente de energía renovable, lo que la convierte en una alternativa de energía amigable del medio ambiente.
- Recomendar a la Facultad de Ingeniería Forestal y Ambiental proveer de mayor equipamiento y reactivos que faciliten al estudiante y egresado realizar sus análisis necesarios para la investigación científica como la presente investigación de tesis.
- A la Universidad Nacional de Jaén ayudar con presupuestos y proyectos de investigación para que los egresados puedan proyectarse a proponer soluciones tecnológicas a la sociedad.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdeen O. (2017). Biogas technology for sustainable energy generation: development and perspectives. Review Article. *MOJ Applied Bionics and Biomechanics. Volume 1. Issue 4 – 2017.*
- Adelere E. A., Adetunke, A., y Omolaraeni, O. (2016). An evaluation of biogas production from anaerobic digester of a constructed wetland domestic wastewater treatment plant. Research journal. *African Journal of Environmental Science and Technology. Vol. 10(10), pp. 329-337, October 2016.*
- Arpit H. B., y Ling T. (2020). Economic Perspectives of Biogas Production via Anaerobic Digestion. *Research journal Bioengineering 2020, 7, 74.*
- Barboza, W. A. (2021). *Producción de biogás mediante co-digestión anaerobia de estiércol de caprino, aguas mieles de cacao y residuos orgánicos municipales, a nivel de laboratorio.* Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.  
<http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/2437/Barboza%20Cholan%20Willian%20Armando.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cabrera, L. A. y Zevallos, L. A. (2019). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jaén.* Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Jaén.  
[File:///C:/Users/Evander/Desktop/biblio%20EULER%20Cabrera\\_GLA\\_Zevallos\\_JL A.pdf](File:///C:/Users/Evander/Desktop/biblio%20EULER%20Cabrera_GLA_Zevallos_JL A.pdf).

- Calispa, M., Yao Dong, Y., Roskilly, T., Pankaj, P. B. y Lamide., R.O. (2017). Biogas from anaerobic co-digestion of food waste and primary sludge for cogeneration of power and heat. *Science Direct Energy Procedia 00 (2017) 000–000*.
- Cano, M., Bennet, A., Silva, E., Robles, S., Sainos, U., y Castorena, H. (2016). Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Revista Agrociencia Vol. 50. N° 4. México may./jun. 2016*. Instituto Tecnológico del Altiplano, México.
- Celestino, J. L., Xi-wu, L. y Zhaoping, Z. (2017). Experimentation on the anaerobic filter reactor for biogás production using rural domestic wastewater. *Journal Earth and Environmental Science 81 (2017) 012099*.  
<http://dl.mozh.org/upload/StandardMethods23RD.pdf>
- COES (Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional). 2022.  
<https://www.linkedin.com/company/coes-comit%C3%A9-de-operaci%C3%B3n-econ%C3%B3mica-del-sistema-interconectado-nacional/?originalSubdomain=pe>
- Chuen, P., Alves, R., Hong I. I. y Hojae, S. (2018). Co-digestion of food waste and domestic wastewater – effect of copper supplementation on biogas production. *Journal ScienceDirect Energy Procedia 00 (2017) 000–000*.
- FRN (Landwirtschaft. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe). (2018). Basisdaten Bioenergie Deutschland 2018. Solid fuel, Biofuel and Biogas. Bundesministerium für Ernährung und e. V. FRn 25 JAHRE.  
[www.fnr-server.de/ftp/pdf\\_185-basisdaten\\_biogas\\_2009.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf_185-basisdaten_biogas_2009.pdf)
- Guerrero, J., y Jibaja, F. K. (2019). Tratamiento del afluente de la laguna de oxidación mediante fitorremediación del eichhornia crassipes y lemna minor; en Jaén-Cajamarca. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.  
[http://m.repositorio.unj.edu.pe/bitstream/handle/UNJ/249/Guerrero\\_BJ\\_Jibaja\\_BFK.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://m.repositorio.unj.edu.pe/bitstream/handle/UNJ/249/Guerrero_BJ_Jibaja_BFK.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Hellgren, L., Kavvada, O. y Phelps, C. (2015). Energy management in wastewater treatment systems: Biogas energy recovery management application. *CEE 295. Energy Systems and Control*. May 8. 2015.
- Montenegro, R. (2020). *Producción de biogás y bioabonos a partir de estiércol de bovino en biodigestor Tubular en Naranjos, Bagua, Amazonas*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.  
<http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/2072/Montenegro%20D%20c3%adaz%20Raquel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Omer, A. (2017). Tecnología de biogás para la generación de energía sostenible: desarrollo y perspectivas. *Biónica y biomecánica aplicada MOJ*. Volumen 1 Número 4 – 2017.
- Pinto, L. y Quipuzco, L. (2015). Aprovechamiento de aguas residuales domésticas para producción de biogás y biol mediante digestores de carga diaria. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú. *Revista Anales Científicos*, 76 (1): 87-93 (2015).
- Valderrama, M. S. (2021). *Influencia del estiércol de cerdo y los efluentes del proceso húmedo del café, sobre la producción de biogás a nivel de laboratorio*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.  
<http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/2326/Valderrama%20Ruiz%20Maryori%20Steissy%20%28A%29.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a nuestro Señor Jesucristo por habernos dado fuerza y valor para iniciar y concluir esta etapa de nuestra vida que se inicia en una nueva fase.

A nuestros padres, por su apoyo incondicional, por sus consejos muy bien recibidos y por impulsarnos siempre a lograr nuestros objetivos.

A nuestros hermanos, porque nos han ayudado a afrontar los retos que se presentaron a lo largo de nuestra vida.

A nuestros amigos por darnos una verdadera amistad, confiar y creer en nosotros. Sobre todo, porque iniciamos juntos una etapa universitaria, un trayecto de vivencias que no olvidaremos.

*Euler y Gusmaro*

## **DEDICATORIA**

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes. Me formaron con reglas y libertades, pero al final, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Euler

A mis padres, hermanos y tíos. Por su apoyo y motivación condicional que me dieron en el transcurso de ejecución de mi tesis.

Gusmaro

## ANEXOS

### Panel fotográfico 1: Construcciones del piloto biodigestor.



Panel fotográfico 2: Construcciones del piloto biodigestor.



# Parámetros del ARD: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

El Peruano

Lima, miércoles 17 de marzo de 2010



NORMAS LEGALES

415675

de impuestos o de derechos aduaneros de ninguna clase o denominación.

**Artículo 5°.-** La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ  
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN  
Presidente del Consejo de Ministros

469446-6

## AMBIENTE

### Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

DECRETO SUPREMO  
N° 003-2010-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el numeral 32.1 del artículo 32° de la Ley General del Ambiente define al Límite Máximo Permissible - LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33° de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplique el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, establece como función específica de dicho Ministerio, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 121-2009-MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el año fiscal 2009 que contiene dentro de su anexo la elaboración del Límite Máximo Permissible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de fuentes domésticas;

Que el artículo 14° del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aprobado mediante Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, establece que el proceso de evaluación de impacto ambiental comprende medidas que aseguren, entre otros, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental, los Límites Máximos Permisibles y otros parámetros y requerimientos aprobados de acuerdo a la legislación ambiental vigente; del mismo modo, en su artículo 28° el citado reglamento señala que, la modificación del estudio ambiental o la aprobación de instrumentos de gestión ambiental complementarios,

implica necesariamente y según corresponda, la actualización de los planes originalmente aprobados al emitirse la Certificación Ambiental;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11° de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

**Artículo 1°.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)**

Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

**Artículo 2°.- Definiciones**

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.

- **Límite Máximo Permissible (LMP):** Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

- **Protocolo de Monitoreo:** Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.

**Artículo 3°.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR**

3.1 Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

3.2 Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.

3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo, y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

3.4 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

**Artículo 4°.- Programa de Monitoreo**

4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPI.

#### Artículo 5º.- Resultados de monitoreo

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

#### Artículo 6º.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.

#### Artículo 7º.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

#### DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

**Única.-** El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en coordinación con el MINAM, aprobará el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de PTAR en un plazo no mayor a doce (12) meses contados a partir de la vigencia del presente dispositivo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los dieciséis días del mes de marzo del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ  
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG  
Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO  
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

#### ANEXO

##### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	en mL/L	150
Temperatura	°C	<35

469446-2

## Designan responsable de brindar información pública y del contenido del portal de internet institucional del Ministerio

### RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº 036-2010-MINAM

Lima, 16 de marzo de 2010

#### CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Legislativo Nº 1013, se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

Que, la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, cuyo Texto Único Ordenado fue aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM, tiene por finalidad promover la transparencia de los actos del Estado y regular el derecho fundamental del acceso a la información consagrado en el numeral 5 del artículo 2º de la Constitución Política del Perú;

Que, el artículo 3º de la citada Ley, señala que el Estado tiene la obligación de entregar la información que demanden las personas en aplicación del principio de publicidad, para cuyo efecto se designa al funcionario responsable de entregar la información solicitada;

Que, asimismo, de acuerdo a lo previsto en el artículo 5º de la mencionada Ley, las Entidades Públicas deben identificar al funcionario responsable de la elaboración de los Portales de Internet;

Que, mediante Resolución Ministerial Nº 070-2008-MINAM, se designó a la señorita Cristina Miranda Beas, como funcionaria responsable de brindar información que demanden las personas, y responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet del Ministerio del Ambiente;

Que, por razones del servicio y considerando la renuncia al cargo que desempeñaba en el Ministerio del Ambiente la servidora citada en el considerando precedente, resulta necesario designar al personal responsable de brindar información en el marco de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y responsable del Portal de Internet Institucional;

Con el visado de la Secretaría General y de la Oficina de Asesoría Jurídica; y

De conformidad con lo establecido en el Decreto Legislativo Nº 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente; el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM; y el Decreto Supremo Nº 007-2008-MINAM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

#### SE RESUELVE:

**Artículo 1º.-** Designar al abogado Hugo Milko Ortega Polar como Responsable de brindar la información pública del Ministerio del Ambiente y Responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet Institucional, de conformidad con el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM.

**Artículo 2º.-** Todos los órganos del Ministerio del Ambiente, bajo responsabilidad, deberán facilitar la información y/o documentación que les sea solicitada como consecuencia de lo dispuesto en el artículo precedente, dentro de los plazos establecidos en la normatividad vigente.

**Artículo 3º.-** Disponer que la presente Resolución se publique en el Diario Oficial El Peruano y en Portal de Internet del Ministerio del Ambiente.

**Artículo 4º.-** Notificar la presente Resolución a todos los órganos del Ministerio del Ambiente, al Órgano de Control Institucional y al responsable designado.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG  
Ministro del Ambiente

469445-1