

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**TESIS**

**OBTENCIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA  
TERMOFÍLICA UTILIZANDO LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE  
ESTABILIZACIÓN DE AGUAS SERVIDAS DE LA CIUDAD DE ILAVE -  
PUNO**

**PRESENTADA POR:**

**BLANCA JACQUELINE QUISPE AUCCA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAGISTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PUNO, PERÚ**

**2019**

**DEDICATORIA**

A mi familia.

## AGRADECIMIENTOS

- A Dios.
- A mis padres por el ejemplo permanente de esfuerzo y empeño en la consecución de objetivos, a mis hermanos, a mi sobrina y a mi hija por su aliento y apoyo incondicional.
- Al Doctor Nazario Villafuerte por haberme invitado a ser partícipe del Grupo de Investigación Biocombustible, a cada uno de los miembros de este grupo con quienes hemos creado lazos de amistad y solidaridad y al biólogo Lorgio Palacios con quien hemos compartido muchas vivencias en el laboratorio.
- A mi amigo y asesor M. Sc. Ricardo Romero Loaiza, por la dirección en el desarrollo de la tesis; a mis amigos y colegas que de una u otra forma me brindaron su ayuda y alentaron en el trabajo emprendido.
- A los docentes de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería Agrícola por compartir sus conocimientos y a mis jurados de tesis por las observaciones y sugerencias realizadas.
- A la Universidad Nacional del Altiplano, por financiar el megaproyecto “Evaluación y comparación de la calidad del biocombustible gaseoso y biofertilizante obtenidos por digestión anaerobia termofílica de los lodos residuales de las lagunas de estabilización secundaria de aguas servidas - Región de Puno”, uno de cuyos productos es la tesis presentada.

**ÍNDICE GENERAL**

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1

**CAPÍTULO I****REVISIÓN DE LITERATURA**

1.1 Marco Teórico	2
1.1.1. Biogás	2
1.1.2. Composición del biogás	2
1.1.3. Fundamentos biológicos de la digestión anaerobia	3
1.1.4. Proceso de digestión anaerobia	3
1.1.4.1. Hidrólisis	4
1.1.4.2. Acidogénesis	4
1.1.4.3. Acetogénesis	4
1.1.4.4. Metanogénesis	5
1.1.5. Parámetros operacionales de la digestión anaerobia	6
1.1.5.1. Temperatura	6
1.1.5.2. Agitación	7
1.1.5.3. Tiempo de retención	7
1.1.5.4. Velocidad de carga orgánica	8
1.1.5.5. pH	8
1.1.5.6. Nutrientes	8
1.1.6. Características del sistema de digestión anaerobia termofílica	9
1.1.7. Lodos residuales, características fisicoquímicas, microbiológicas y los metales presentes en los lodos residuales	9
1.1.8. Manejo de lodos residuales	11
1.1.9. Sistema de biodigestores para la obtención de biogás	12
	iii

1.1.10. Utilización del bioabono	12
1.2. Antecedentes	13

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	18
2.2. Enunciado del problema	19
2.2.1. Pregunta general	19
2.2.1.1. Preguntas específicas	19
2.3. Justificación	19
2.4. Objetivos	20
2.4.1. Objetivo general	20
2.4.2. Objetivos específicos	20
2.5. Hipótesis	21
2.5.1. Hipótesis general	21
2.5.2. Hipótesis específicas	21

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio	22
3.1.1. Lugar donde se realizó la investigación	22
3.1.2. Características ambientales, socioeconómicas y culturales de la ciudad de Ilave	22
3.1.3. Importancia de la zona de estudio	23
3.2. Población	24
3.3. Muestra	25
3.4. Método de investigación	26
3.4.1. Diseño y construcción de la incubadora	26
3.4.2. Acondicionamiento del digestor	26
3.4.3. Diseño del muestreo	28
3.4.3.1 Muestreo de lodos residuales en la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave	28
3.4.3.2 Caracterización analítica de los lodos residuales	29
3.4.4. Descripción detallada de equipos, instrumentos de medida y otros	30
3.4.5. Descripción de variables a ser analizadas en los objetivos específicos	33
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	34

3.5.1. Determinar las características fisicoquímicas, microbiológicas y los metales presentes en los lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave Puno	34
3.5.2. Medir la cantidad del biogás obtenido mediante digestión anaerobia termofílica utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave – Puno	34
3.5.2.1 Aplicación de prueba estadística inferencial	34
3.5.3. Evaluar la calidad del bioabono generado mediante digestión anaerobia termofílica utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave – Puno	35
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
4.1. Características físico químicas, microbiológicas y los metales presentes en los lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave - Puno	36
4.1.1. Características físico químicas de los lodos residuales	37
4.1.2. Características microbiológicas de los lodos residuales	41
4.1.3. Metales pesados presentes en los lodos residuales	43
4.1.4. Discusión	43
4.2. Cantidad de biogás obtenido mediante digestión anaerobia termofílica utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave – Puno.	45
4.2.1. Discusión	57
4.3. Calidad del bioabono generado mediante digestión anaerobia termofílica utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave – Puno	58
4.3.1. Características físico químicas del bioabono	61
4.3.2. Características microbiológicas del bioabono	63
4.3.3. Metales pesados presentes en el bioabono	65
4.3.4. Discusión	65
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFÍA	70
ANEXOS	76

Puno, 17 de diciembre del 2019

**ÁREA:** Ingeniería Ambiental  
**TEMA:** Aguas residuales  
**LÍNEA:** Tratamiento de aguas residuales

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Composición química del biogás de acuerdo a la materia empleada en la digestión	3
2. Comparación de las necesidades de hábitat de bacterias implicadas en la producción de biogás	6
3. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica	7
4. Características de los lodos	10
5. Organismos en lodos y posibles enfermedades	11
6. Cronograma de muestreo de lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave	28
7. Equipos, instrumentos de medida y otros utilizados en la experimentación	31
8. Operacionalización de variables	33
9. Datos de temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales disueltos (STD) de los lodos residuales	36
10. Análisis inicial de nutrientes de lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave	38
11. Análisis inicial de patógenos de lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave	40
12. Presencia inicial de metales en lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave	42
13. Datos de Temperatura (T°) de la muestra, pH, CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> del proceso de digestión anaerobia termofílica de lodos residuales, primer experimento	46
14. Datos de temperatura (T°) de la muestra, pH, CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> del proceso de digestión anaerobia termofílica de lodos residuales, segundo experimento	49
15. Datos de temperatura (T°) de la muestra, pH, CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> del proceso de digestión anaerobia termofílica de lodos, tercer experimento	52
16. Correlación de Spearman CH <sub>4</sub> (%) y CO <sub>2</sub> (%); regresión CH <sub>4</sub> (%) respecto al tiempo de retención (N° días); regresión %CH <sub>4</sub> y T° lodos; y regresión %CH <sub>4</sub> y pH de los experimentos realizados entre febrero y agosto del 2018	56
17. Datos de temperatura, pH, CE y STD de los lodos registrados por el investigador antes y después de someterlos al proceso de digestión	58
18. Análisis de nutrientes de lodos residuales digeridos de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave	60

<b>19.</b> Análisis microbiológico de lodos residuales digeridos de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave	62
<b>20.</b> Análisis de presencia de metales en lodos residuales digeridos de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave	64
<b>21.</b> Presencia de nutrientes en el bioabono	66



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Proceso de digestión anaerobia y grupos microbianos que intervienen	5
2. Ubicación de la provincia de El Collao	23
3. Vista de la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Ilave	24
4. Vista de las lagunas de estabilización primaria de la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Ilave, 09 de febrero del 2018	24
5. Puntos de muestreo de lodos residuales: (a) efluente, (b) lateral, (c) afluyente y (d) lateral, laguna de estabilización - Ilave, 25 de mayo del 2018	25
6. Incubadora implementada para el proceso de digestión anaerobia termofílica de lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Ilave	27
7. Acondicionamiento de digestor e incubadora implementados para el proceso de digestión anaerobia termofílica	27
8. Sensores de temperatura, pH y metano utilizados en el experimento	31
9. Registro de cantidad de $\text{CH}_4$ y $\text{CO}_2$ en el biogás, laboratorio de Ecología, Universidad Nacional del Altiplano	32
10. Sensor de conductividad y sólidos totales disueltos del equipo Pasco	33
11. Relación entre % $\text{CH}_4$ y % $\text{CO}_2$ , primer experimento realizado entre febrero y marzo del 2018	47
12. Relación entre % $\text{CH}_4$ y pH, primer experimento realizado entre febrero y marzo del 2018	47
13. Relación entre % $\text{CH}_4$ y temperatura de la muestra, primer experimento realizado entre febrero y marzo del 2018	48
14. Relación entre % $\text{CH}_4$ y % $\text{CO}_2$ , segundo experimento realizado entre mayo y junio del 2018	50
15. Relación % $\text{CH}_4$ y pH, segundo experimento realizado entre mayo y junio del 2018	50
16. Relación entre % $\text{CH}_4$ promedio y temperatura de la muestra, segundo experimento realizado entre mayo y junio del 2018	51
17. Relación entre % $\text{CH}_4$ y % $\text{CO}_2$ , tercer experimento realizado entre julio y agosto del 2018	53
18. Relación entre % $\text{CH}_4$ y temperatura de la incubadora tercer experimento realizado entre julio y agosto del 2018	54
19. Comparación de % $\text{CH}_4$ obtenido en los tres experimentos	55
20. Resumen gráfico de temperatura, pH, CE y STD de lodos residuales	59

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Análisis físico, químico, microbiológico de los lodos residuales digeridos (Primer experimento) de las lagunas de estabilización de aguas servidas – ciudad de Ilave, efectuado en Laboratorio Analíticos del Sur	77
2. Análisis inicial físico, químico, microbiológico de los lodos residuales (Segundo experimento) de las lagunas de estabilización de aguas servidas – ciudad de Ilave, efectuado en Laboratorio Analíticos del Sur	82
3. Análisis físico, químico, microbiológico de los lodos residuales digeridos (Tercer experimento) de las lagunas de estabilización de aguas servidas – ciudad de Ilave, efectuado en Laboratorio Analíticos del Sur	87
4. Análisis inicial físico, químico, microbiológico de los lodos residuales (Tercer experimento) de las lagunas de estabilización de aguas servidas – ciudad de Ilave, efectuado en Laboratorio Analíticos del Sur	93
5. Análisis físico, químico, microbiológico de los lodos residuales digeridos (Segundo experimento) de las lagunas de estabilización de aguas servidas – ciudad de Ilave, efectuado en Laboratorio Analíticos del Sur	99
6. Análisis microbiológico inicial (Primer experimento) en lodos residuales de la laguna de oxidación de la Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ilave-Puno, realizado en Laboratorio de Ecología Acuática UNA – Puno	105
7. Análisis de nutrientes (Primer experimento) en lodos residuales de la laguna de oxidación de la Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ilave-Puno, realizado en el Laboratorios de Análisis del Ministerio de Agricultura INIA - Puno	106

## RESUMEN

El trabajo de investigación se desarrolló en el laboratorio de Ecología de la Universidad Nacional del Altiplano en el año 2018, cuyo objetivo fue obtener biogás mediante digestión anaerobia termofílica utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave (región Puno). Para ejecutar la investigación se diseñó y se construyó una incubadora de madera donde se instaló un biodigestor de 16 litros de capacidad, con rango de temperatura termofílica controlado por un termostato digital, el tiempo de retención hidráulica fue de 28 días. Se recolectó una muestra compuesta de 12 litros de lodos residuales de los cuales un litro se envió a laboratorios certificados para determinar características físico químicas, en seguida los 11 litros restantes se colocaron en el biodigestor para la obtención de biogás, del lodo digerido se obtuvo bioabono. El trabajo de investigación produjo los siguientes resultados, en las condiciones iniciales: Materia orgánica 30,2%, Carbono 17,52%, Nitrógeno 1,439%, Fósforo 4786 mg/kg, Potasio 1540 mg/kg; metales: Arsénico 16,4 mg/kg, Cadmio 3,3729 mg/kg, Cromo 11,078 mg/kg, Níquel 0,56228 mg/kg, Plomo 33,62 mg/kg, Zinc 462 mg/kg, Cobre 67,4 mg/kg, Molibdeno 2,6694 mg/kg; en la producción de biogás se obtuvo un valor promedio de 11,68%CH<sub>4</sub>; y el bioabono fue clasificado de acuerdo al DS-N°011-2017-MINAM como biosólido de clase B.

**Palabras clave:** Biodigestión, contaminación, lodos residuales, manejo de residuos, metano.

## ABSTRACT

The research work was carried out in the Ecology laboratory of the National University of the Altiplano in 2018, whose objective was to obtain biogas through thermophilic anaerobic digestion using waste sludge from the sewage stabilization lagoon of the city of Ilave (Puno region). To carry out the investigation, a wooden incubator was designed and built where a 16 liters biodigester was installed, with thermophilic temperature range controlled by a digital thermostat, the hydraulic retention time was 28 days. A sample composed of 12 liters of residual sludge was collected, of which one liter was sent to certified laboratories to determine physical chemical characteristics, then the remaining 11 liters were placed in the biodigester to obtain biogas, from the digested sludge biofertilizer was obtained. The research work produced the following results, under the initial conditions: Organic matter 30.2%, Carbon 17.52%, Nitrogen 1.439%, Phosphorus 4786 mg/kg, Potassium 1540 mg/kg; Metals: Arsenic 16.4 mg/kg, Cadmium 3.3729 mg/kg, Chrome 11.078 mg/kg, Nickel 0.56228 mg/kg, Lead 33.62 mg/kg, Zinc 462 mg/kg, Copper 67.4 mg/kg, Molybdenum 2.6694 mg/kg; in the biogas production an average value 17.124%CH<sub>4</sub> was obtained; and the bioabono was classified according to DS-N ° 011-2017-MINAM as a class B biosolid.

**Keywords:** Biodigestion, methane, pollution, sewage sludge, waste management.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que afecta al mundo es la contaminación del medio ambiente por emisiones excesivas de gases de efecto invernadero que tienen su origen en el tratamiento inadecuado de los residuos generados por el hombre, siendo uno de ellos las aguas residuales. En muchas ciudades, para el tratamiento de las aguas servidas se utilizan lagunas de estabilización donde se logra la reducción de contaminantes antes de su vertimiento a las lagunas y ríos; como producto de la depuración de las aguas residuales domésticas se generan lodos que al acumularse en las lagunas de oxidación ocasionan problemas en cuanto a su almacenamiento y eliminación, contaminan también el aire debido a la emanación de gases tales como metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y otros en pequeña cantidad. Sin embargo, debido a la gran cantidad de materia orgánica biodegradable que poseen en su composición pueden ser transformados mediante procesos físicos, químicos y biológicos con la finalidad de modificar sus características y aprovechar su potencial energético. La investigación realizada corresponde al área de ingeniería ambiental en la línea de tratamiento de aguas residuales, el tema es aguas residuales; cuyo propósito es mitigar la emanación de gases de efecto invernadero a través de la obtención de biogás, mediante digestión anaerobia termofílica, utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de las aguas servidas de la ciudad de Ilave – Puno y el lodo residual utilizarlo como bioabono base.

El informe de investigación se ha desarrollado en cuatro capítulos: en el capítulo I se hace la revisión de la literatura desarrollando el marco teórico y los antecedentes, el capítulo II presenta el planteamiento del problema a través de la identificación y enunciado del problema, la justificación de la investigación, los objetivos e hipótesis, en el capítulo III se describen los materiales necesarios para realizar la investigación y se explican los métodos utilizados en la experimentación, en el capítulo IV se presentan los resultados obtenidos y se discute con otras investigaciones, en seguida se indican las conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1 Marco Teórico

##### 1.1.1. Biogás

El biogás es una mezcla de diferentes gases formada principalmente por metano, dióxido de carbono, elementos traza e impurezas que son producidos por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como el estiércol, basuras orgánicas, residuos sólidos biodegradables, lodos residuales de las plantas de tratamiento, lodos fecales (Strande, Ronteltap y Brdjanovic, 2014; Varnero, 2011)

##### 1.1.2. Composición del biogás

En la composición química del biogás el mayor componente es el metano, gas de efecto invernadero, cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable (Cepero *et al.*, 2012; Deublein y Steinhauser, 2008).

Se muestra, en la Tabla 1, que la proporción de los elementos que componen el biogás depende del material digerido, pero existen reportes diferentes en cuanto a la cantidad presente de metano y dióxido de carbono, así lo indican Deublein y Steinhauser (2008), Besel (2007), Botero y Preston (1987) entre otros, sin embargo, todos coinciden de que existen trazas de otros gases.

Tabla 1

*Composición química del biogás de acuerdo a la materia empleada en la digestión*

Componente	Desechos agrícolas	Lodos cloacales	Desechos industriales	Relleno sanitario
Metano	50 – 80 %	50 – 80 %	50 – 70 %	45 – 65 %
Dióxido de carbono	30 – 50 %	20 – 50 %	30 – 50 %	34 – 55 %
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0 – 2 %	0 – 5 %	0 – 2 %	0 – 1 %
Sulfuro de hidrógeno	100 – 700 ppm	0 – 1 %	0 – 8 %	0,5–100 ppm
Nitrógeno	0 – 1 %	0 – 3 %	0 – 1 %	0 - 20 %
Oxígeno	0 – 1 %	0 – 1 %	0 – 1 %	0 – 5 %

Fuente: Adaptado de Carrillo (2003) en Gutiérrez *et al.* (2012) y Coombs 1990 en Martí (2006)

El biogás representa una opción para la reutilización de residuos urbanos como fuente de materia orgánica, por lo tanto, contribuye al medio ambiente disminuyendo la emisión de gases de efecto invernadero (Mancillas-Salas *et al.*, 2012), asimismo, el biogás es una alternativa para la materia prima que tiene un alto contenido de humedad y que no puede ser quemada directamente, como es el caso de los lodos de las aguas residuales (Robles-Gil, 2001).

### 1.1.3. Fundamentos biológicos de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso biológico de degradación donde la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno (Friehe, Weiland y Schattauer, 2010), por la acción enzimática y mediante un consorcio microbiano el cual produce una mezcla de gases denominado biogás (Mancillas-Salas *et al.*, 2012). Esta digestión anaerobia produce también digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación (Besel, 2007).

### 1.1.4. Proceso de digestión anaerobia

La digestión anaerobia está caracterizada por contar con diferentes fases que ocurren simultáneamente en un proceso de etapa única y cuyo número depende de

los investigadores, Friehe *et al.* (2010) considera cuatro: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

#### **1.1.4.1. Hidrólisis**

Los compuestos complejos de material inicial como carbohidratos, proteínas y grasas se dividen en compuestos orgánicos más simples tales como aminoácidos, azúcares y ácidos grasos. Las bacterias hidrolíticas liberan enzimas que descomponen el material orgánico por medios bioquímicos.

#### **1.1.4.2. Acidogénesis**

Por medio de bacterias fermentadoras se forman los ácidos grasos más bajos (acético, prebiótico y butírico) junto con dióxido de carbono e hidrógeno, también se forman pequeñas cantidades de ácido láctico y de alcoholes cuya naturaleza depende de la concentración del hidrógeno intermedio.

#### **1.1.4.3 Acetogénesis**

Formación de ácido acético, los cuales por acción de las bacterias acetogénicas se convierten en precursoras de biogás (ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono). En esta fase es importante la presión parcial del hidrógeno, puesto que un contenido excesivamente alto impide la conversión de los productos intermedios de la acidogénesis por razones relacionadas con la energía, ocasionando acumulación de ácidos orgánicos como ácido propiónico, ácido isobutírico, ácido isovalérico y el ácido hexanoico, e inhiben la formación de metano. Por esta razón, las bacterias acetogénicas (bacterias que forman hidrógeno) deben coexistir en una comunidad biótica cerrada (biocenosis) con las arqueas que consumen hidrógeno, las cuales consumen hidrógeno junto con dióxido de carbono durante la formación del metano (transferencia de hidrógeno entre especies), asegurando así un ambiente aceptable para las bacterias acetogénicas.



### 1.1.4.4 Metanogénesis

Es la etapa final de generación de biogás, el ácido acético mayormente pero también el hidrógeno y el dióxido de carbono se convierten en metano por medio de arqueas metanogénicas estrictamente anaerobias. Los metanógenos hidrogenotróficos producen metano a partir del hidrógeno y del dióxido de carbono, mientras que las bacterias acetoclásticas que forman metano lo producen por división del ácido acético. De la digestión del lodo de desagüe se sabe que el 70% de metano se origina de la división del ácido acético y solamente el 30% de la utilización del hidrógeno.

En la Figura 1 se muestran las cuatro fases de la digestión anaerobia.

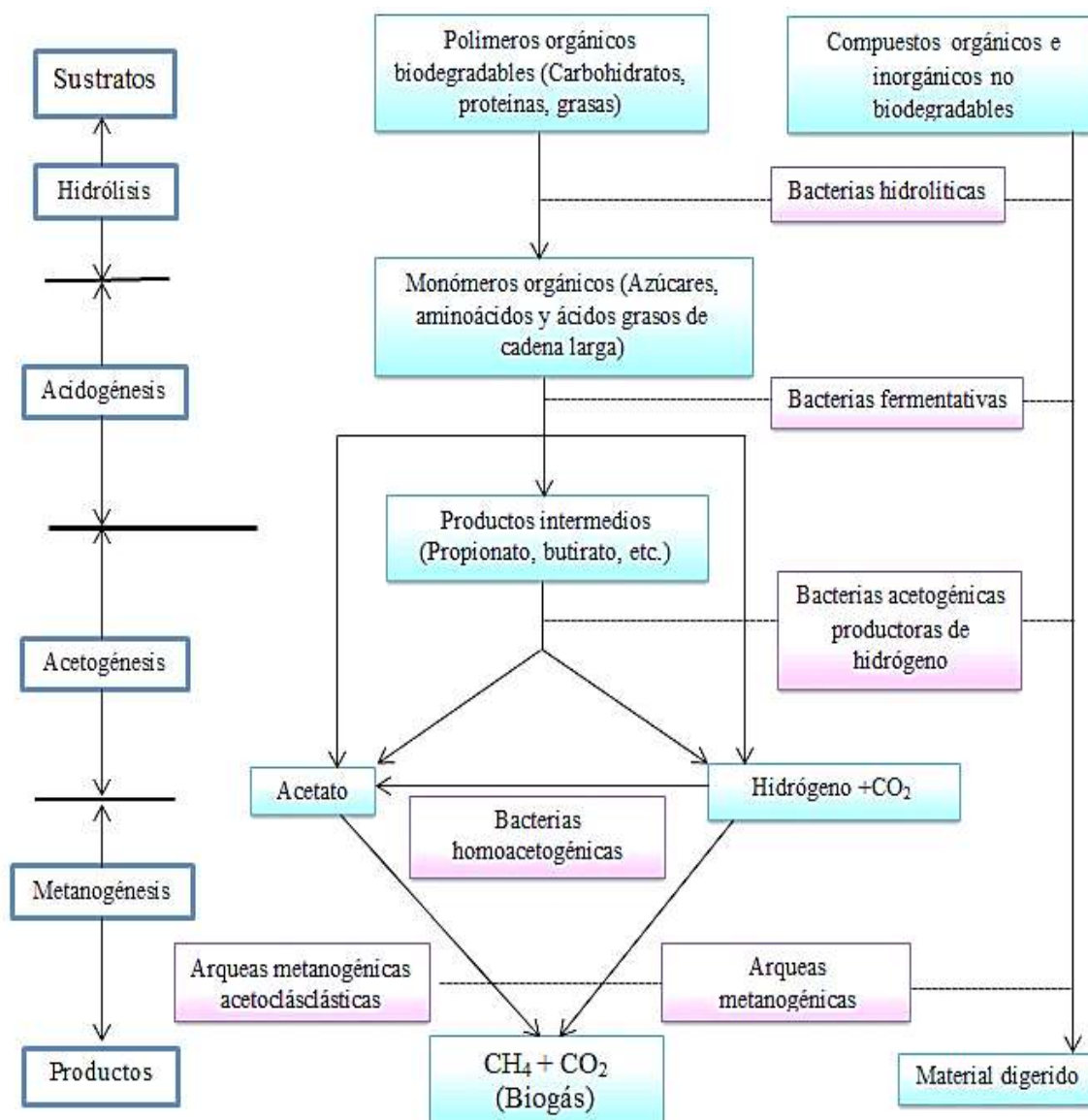


Figura 1. Proceso de digestión anaerobia y grupos microbianos que intervienen

Fuente: Li *et al.* (2015) en Cárdenas-Cleves *et al.* (2016)

En la Tabla 2, se muestran las condiciones para que se desarrollen los microorganismos.

Tabla 2

*Comparación de las necesidades de hábitat de bacterias implicadas en la producción de biogás*

Parámetros	Bacterias hidrolíticas y acidogénicas	Bacterias metanogénicas
Tiempo de reproducción	De 3 horas a 3 días	6 - 14 días
Temperatura óptima	30 a 65°C variable	37°C o 55°C
Valor pH	Mínimo hasta 3,5 y máximo hasta 7,8	Cerca de 7 – 8
Vitalidad	Robusta, resisten perturbaciones en la temperatura y el valor pH	Muy sensibles frente a cualquier perturbación en el valor pH y la temperatura
Sensibilidad aerobia	Trabajan también ante la introducción de oxígeno cuando se produce en la carga del depósito de hidrólisis.	Mueren al contacto con el oxígeno.
Producción de biogás	Poca Cantidad de metano 0 - 30 %	Alta Cantidad de metano >50%

Fuente: Kepler (2009) en Gutiérrez *et al.* (2012)

### 1.1.5. Parámetros operacionales de la digestión anaerobia

El proceso anaerobio es en general lento, se necesitan semanas y hasta meses para conseguir una producción estable de biogás. Además, las bacterias solo pueden crecer en condiciones ambientales adecuadas, por su lento crecimiento y alta sensibilidad a variaciones de parámetros, son las bacterias metanogénicas las que determinan los rangos adecuados (Forget, 2011).

#### 1.1.5.1. Temperatura

Los rangos de temperatura en los que se desarrollan los microorganismos anaeróbicos son: psicrófilico, mesófilico y termófilico (Tabla 3). La velocidad máxima específica de mayor crecimiento existe en cada intervalo, así se tiene un rango óptimo de operación (Varnero, 2011).

Tabla 3

*Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica*

<b>Fermentación</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Óptimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Tiempo de fermentación</b>
Psicrofílica	4 - 10 °C	15 - 18 °C	20 - 25 °C	Sobre 100 días
Mesofílica	15 - 20 °C	25 - 35 °C	35 - 45 °C	30 - 60 días
Termofílica	25 - 45 °C	50 - 60 °C	75 - 80 °C	10 - 15 días

Fuente: Lagrange (1979) en Varnero (2011)

Las tasas de crecimiento de los microorganismos y reacción del proceso se incrementan conforme lo hace el rango de temperatura, además, en el rango termofílico se aseguran tasas superiores de destrucción de patógenos, sin embargo, es más inestable frente a cambios en las condiciones de operación y debido a la altas temperaturas presenta problemas de inhibición ocasionados por la toxicidad de algunos compuestos como el nitrógeno amoniacal (Rodríguez, 2014). El presente trabajo de investigación está enmarcado dentro del rango termofílico, considerando temperaturas entre 45°C y 65°C.

**1.1.5.2. Agitación**

En base al tipo de biodigestor se debe favorecer la transferencia de sustrato a cada población de microorganismos, así se debe homogenizar el medio para mantener concentraciones medias bajas de inhibidores (Rodríguez, 2014), por tanto se debe implementar un proceso de agitación. Sin embargo, al incrementarse la temperatura en el digestor la viscosidad de sólidos y semisólidos disminuye, lo que ocasiona menores necesidades de agitación (Varnero, 2011).

**1.1.5.3. Tiempo de retención**

Es el tiempo medio de permanencia del influente en el biodigestor, sometido a la acción de los microorganismos (Esteban, 2014).

#### 1.1.5.4. Velocidad de carga orgánica

Cantidad de materia orgánica introducida por unidad de volumen y tiempo. Valores bajos implican baja concentración en el influente y/o elevado tiempo de retención (CEIC, 2011).

#### 1.1.5.5. pH

El pH es definido como el logaritmo negativo, en base 10, de la actividad del hidrógeno ionizado ( $H^*$ ), es decir,  $pH = - \text{Log}_{10}(H^*)$  (McKean, 1993). Si el pH es 7 se dice que la disolución es neutra, si es menor que 7 es ácida y si es mayor que 7 es básica o alcalina (Bertomeu, 2014). Para el desarrollo de las bacterias metanogénicas el pH debe ser estable entre los valores 6,5 y 7,5 (Forget, 2011). El control de pH determinará si los distintos procesos se realizarán satisfactoriamente, por debajo de 6,2 la supervivencia de los microorganismos productores de metano es imposible, entonces se necesita una reacción alcalina para que el tratamiento sea correcto (Hernández, 1992).

#### 1.1.5.6. Nutrientes

También son importantes la naturaleza y composición bioquímica de materias primas, nutrientes, relación carbono/nitrógeno, niveles de sólidos totales y sólidos volátiles, potencial rédox, tóxicos, inhibidores y promotores de la metanogénesis (Varnero, 2011).

El desarrollo de la flora bacteriana requiere una relación adecuada entre nutrientes. Así la relación entre carbono y nitrógeno (C/N) debe estar comprendida entre 15/1 y 45/1, con un valor recomendable de 30/1 (Forget, 2011). Los materiales con diferentes relaciones de C/ N difieren mucho en la producción de biogás, por ejemplo la relación en residuales porcinos es de 9 a 3, en vacunos de 10 a 20, en gallinas 5 a 8, para humanos es 8 y para residuos vegetales es de 35, la relación óptima considera un rango de 30/1 hasta 10/1 pues una relación menor a 8/1 inhibe la actividad bacteriana debido a la presencia de amonio (Werner *et al.*, 1989 en Sosa, Chao y del Rio, 1999).

### **1.1.6. Características del sistema de digestión anaerobia termofílica**

El sistema de digestión anaerobia termofílica se caracteriza por tener elevadas velocidades de reacción, menor tiempo de retención hidráulica, elevada producción de biogás, mayor resistencia a la formación de espumas, mejor deshidratabilidad del fango obtenido, eliminación de patógenos, proceso menos estable, elevada concentración de ácidos grasos volátiles en estado estacionario y arranque del proceso (Hernández, 1992).

### **1.1.7. Lodos residuales, características fisicoquímicas, microbiológicas y los metales presentes en los lodos residuales**

Los lodos residuales son sólidos suspendidos que se sedimentan en las lagunas primarias (facultativas o anaerobias) y que con el transcurso del tiempo pueden afectar en el funcionamiento del sistema reduciendo el volumen útil, por consiguiente el tiempo de retención hidráulica (Oakley, 2005); contiene un 99% de agua, microorganismos patógenos y contaminantes orgánicos e inorgánicos (Programa SIGAR, 2014). Por tanto, es necesario pensar en el tratamiento de los fangos para su aprovechamiento como para su eliminación (Hernández, 1992). En la Tabla 4, se muestra la composición característica de los lodos urbanos.

Tabla 4

*Características de los lodos*

<b>Características de los lodos</b>			
	<b>Lodos primarios</b>	<b>Secundarios (Fangos activados)</b>	<b>Digeridos (mezcla)</b>
S.S g/hab.d	30 – 35	18 – 29	31 - 40
Contenido de agua (%)	92 – 96	97,5 – 98	94 - 97
S.S.V(%S.S)	70 – 80	80 – 90	55 - 65
Grasas(%S.S)	12 – 16	3 – 5	4 - 12
Proteínas(%S.S)	4 – 14	20 – 30	10 - 20
Carbohidratos(%S.S)	8 – 10	6 – 8	5 - 8
pH	5,5 – 6,5	6,5 – 7,5	6,8 – 7,6
Fósforo (P) (%S.S)	0,5 - 1,5	1,5 – 2,5	0,5 – 1,5
Nitrógeno (N) (%S.S)	2 – 5	1 – 6	3 – 7
Bacteria patógenas (N° por 100ml)	$10^3 - 10^5$	100- 1000	10 - 100
Organismos parásitos(N° por 100ml)	8 – 12	1 – 3	1 - 3
Metales pesados(%S.S)(Zn, Pb, Cu)	0,2 – 2	0,2 – 2	0,2 – 2

Fuente: Hernández (1992)

La presencia de metales pesados ocasiona toxicidad sobre las bacterias metanogénicas y decrecen en el orden Cr, Cu, Zn, Cd, Ni; las concentraciones que reducen la producción de metano en un 10% (en g/g de S.V) son Cr  $3,37 \times 10^{-3}$ , Cu  $13,48 \times 10^{-3}$ , Zn  $3,37 \times 10^{-3}$ , Cd  $9,00 \times 10^{-3}$ , Ni  $7,27 \times 10^{-3}$ ; la producción de gas disminuye y el contenido de materia orgánica permanece sin digerir cuando la concentración de ácidos grasos volátiles y de sólidos volátiles aumenta en el líquido mezcla del digestor (Hernández, 1992).

En la Tabla 5, se muestran los organismos patógenos que pueden encontrarse en las aguas y lodos residuales, causantes de posibles enfermedades.

Tabla 5

*Organismos en lodos y posibles enfermedades*

Patogenia y enfermedad		
Grupo	Género	Enfermedad
Bacterias	Salmonella	Tifus- Paratifus- Enteritis
	Shigella	Disenteria- Paradisenteria
	Escherichia	Enteritis(origen patógeno)
	Vibrio	Cólera- Paracólera- Enteritis
	Clostridium	Gangrena – Tétanos- Botulismo
	Leptóspira	Leptospirosis
	Mycobacterium	Tuberculosis- tuberculosis atípica
Virus	Poliovirus	Poliopmielitis- enteritis
	Coxackievirus A	Dolores de cabeza y musculares
	Coxackievirus B	Náuseas- Meningitis
	Echovirus Adenovirus	Diarreas- Hepatitis
		Fiebre- Infecciones respiratorias
		Enteritis- conjuntivitis
		Afecciones nerviosas
	Rotavirus	Gastroenteritis infantil
	Reovirus	Gripe- Diarreas- virus
	Hepatitis Virus A	Hepatitis agudas o crónicas
Protozoos	Entoameba	Disentería amebiana
	Giarda	Amebiasis o disentería amebiana
Tremátodos	Schistosona	Esquistosomiasis
Céstodes	Taenia	Tenía – isticercosis
Nemátodos	Ascaris	Ascariasis
	Ancylostoma	Anquilostomiasis

Fuente: Hernández (1992)

**1.1.8. Manejo de lodos residuales**

Los métodos para el tratamiento de los lodos son diversos entre ellos se tiene la digestión anaerobia con la finalidad de eliminar los microbios patógenos y reducir el porcentaje de humedad, este proceso puede llevarse a cabo para diferentes rangos de temperatura, se puede generar biogás y bioabono; el biogás puede transformarse en energía calorífica o eléctrica que permite ingresos importantes y puede reducir los costos de operación y mantenimiento; y el bioabono puede disponerse en vertederos, incinerarlo, o lo más deseable, usarlo como fertilizante y acondicionador del suelo, aunque su composición puede limitar su uso (Programa SIGAR, 2014).

### **1.1.9. Sistema de biodigestores para la obtención de biogás**

Un biodigestor consiste básicamente de un depósito cerrado donde se introducen los lodos residuales para ser digeridos por microorganismos, debe ser hermético, estar térmicamente aislado, contar con válvulas de seguridad, contar con medios para efectuar la carga y descarga del sistema, tener acceso para el mantenimiento y contar con un sistema para romper las costras o natas que se forman; el biogás producido se puede almacenar en el mismo depósito en la parte superior del digestor (llamada domo o campana de gas) (Varnero, 2011).

Los tipos de biodigestores se pueden clasificar de diferentes formas pero atendiendo al modo de operación pueden ser: discontinuo o de régimen estacionario (biodigestor Batch) si los digestores se cargan con las materias orgánicas una sola vez, cuando el rendimiento del biogás decae a un valor mínimo, se vacían los biodigestores por completo y se alimenta de nuevo dando inicio a un nuevo proceso de fermentación; semicontinuo, si después de una primera carga considerable de materias primas se agregan volúmenes de nuevas cargas, calculados en función del tiempo de retención hidráulico y del volumen total del digestor, son digestores de este tipo los diseños indio y chino; y son continuos si la alimentación del digestor es un proceso ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al afluente, con producciones de biogás uniformes en el tiempo (Varnero, 2011).

En el trabajo de investigación se utilizó un biodigestor de régimen estacionario también conocido como biodigestor Batch.

### **1.1.10. Utilización del bioabono**

Pueden ser utilizados en zonas de cultivos o pastizales, para recuperación de zonas dañadas (zonas mineras, obras, etc.), reforestación, en zonas de recreo (campos de golf, parques, etc.), cementerios, medianas de carreteras o aeropuertos, incluso en jardines particulares (Rodríguez, 2010).

Los productos orgánicos estabilizados se pueden clasificar en función de sus características bioquímicas como acondicionadores si restituyen al suelo de la materia orgánica estable, previenen la erosión y aumentan la permeabilidad del suelo constituyendo la base para el desarrollo de los microorganismos



responsables de la conversión de los nutrientes de manera que pueda ser incorporada fácilmente por las plantas; y como bioabono o biofertilizante, por su aporte de elementos minerales, especialmente nitrógeno, se presenta en forma sólida (proveniente de digestores batch a semicontinuos) con buen poder fertilizante y también puede presentarse en forma líquida (proveniente de digestores continuos con una tasa alta de carga y un bajo contenido de sólidos totales, inferior al 12%) (Varnero, 2011).

Los biosólidos son de clase A cuando no tienen restricciones sanitarias para su aplicación en el suelo y son de clase B cuando poseen restricciones sanitarias para la aplicación según localización de los suelos y/o tipo de cultivo, entonces para su reaprovechamiento se deben cumplir con los parámetros de estabilización, toxicidad química, higienización y tasa agronómica establecidas por Reglamento (N°015-2017-VIVIENDA, 2017).

## 1.2. Antecedentes

Parra-Orobio *et al.* (2014) estudiaron, a nivel de laboratorio, la influencia del pH en la digestión anaeróbica de biorresiduos de origen municipal mediante ensayos de potencial Bioquímico de metano en condiciones mesofílicas, durante 40 días. Los valores de pH del sustrato variaron entre 5,5 y 8,0 unidades, utilizando como inóculo lodo, proveniente de la biodigestión anaerobia de lodos, de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas. Observaron que los pH ácidos correspondientes a 5,5 y 6,0 unidades, presentaron menor producción de metano, mientras que los pH cercanos a la neutralidad, lograron mejores resultados.

Villafuerte (2014) obtuvo, mediante un proceso mesofílico, biogás con lodos sedimentados de la bahía interior de Puno- Lago Titicaca, determinó un 56.42% de metano en el biogás producido para un lodo con contenido promedio de materia orgánica de 24% a 46%, el residuo generado fue clasificado como biosólido de clase B, de acuerdo a los valores establecidos por la USEPA.

Bedoya-Urrego *et al.* (2013) concluyeron que el biosólido generado en la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando (Colombia), tiene un gran potencial para ser usado como abono o enmienda orgánica, desde el punto de vista de la composición físico química. Sin embargo, su aplicación directa debe ajustarse a la normas de

regulación internacionales USEPA (1994) parte 503 o debe ser sometido a procesos adicionales de sanitización antes de ser aplicado en suelos para cumplir con las normas.

Arévalo y Lituma (2010) en su investigación Digestión de lodos residuales de laguna de oxidación de Ucubamba–Cuenca, determinaron como características iniciales de cuatro muestras de lodos (en promedio): coliformes fecales  $3,7125 \times 10^6$  NMP/g; coliformes totales  $5,08 \times 10^6$  NMP/g; huevos de helmintos 72,5 HH/g; presencia de cromo 352,75 mg/kg; y registraron un pH de 6,915. Las condiciones finales del biosólido después del proceso termofílico fueron: pH 7,87; volumen producido de biogás 243,83 litros con una composición del 67% de metano. Después de 39 días de digestión la presencia de coliformes totales fue de 97,2 NMP/g y el conteo para huevos de helmintos fue de 2,4 HH/g.

García y Pérez (2010) trabajando con una mezcla de 25% de estiércol vacuno y 75% lodos de depuradora, a 35°C y 55°C, utilizando reactores batch, durante 45 días, determinaron que el rango de temperatura óptimo para la codigestión anaeróbica, en términos de producción de biogás, fue el rango termofílico.

Rincón *et al.* (2010) evaluaron la degradación de lodos activados provenientes de una industria cervecera en condiciones mesofílicas y termofílicas mediante un digestor anaerobio de crecimiento suspendido, mezcla completa y de flujo discontinuo, para tiempos de retención hidráulico (TRH) de 30, 25 y 15 días. Las mayores remociones se obtuvieron para condiciones termofílicas. La concentración de metano estuvo próxima al 60% para ambas condiciones y la concentración de ácidos grasos volátiles se mantuvo siempre menor a 35 mg/L, indicando que toda la DQO acidificada fue transformada a metano.

González *et al.* (2009) en la investigación Concentración Total y Especiación de Metales pesados en biosólidos de origen urbano, llevadas a cabo con muestras de lodos residuales producidos en una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en la ciudad de Puebla, México por medio de una digestión ácida en sistema cerrado obtuvieron las concentraciones totales de metales pesado (en mg/kg), siendo de cadmio  $4,4 \pm 0,22$ , cromo  $16,7 \pm 1,95$ , cobre  $173,4 \pm 26,71$ , níquel  $49,7 \pm 1,15$ , plomo  $170,9 \pm 13,20$  y zinc  $324,9 \pm 8,89$  llegando a la conclusión que las concentraciones totales determinados no rebasan los límites establecidos por la normatividad mexicana ni la norma de los Estados Unidos USEPA 503 ni la norma de la Comunidad Europea.

Terreros-Mecalco *et al.* (2009) en la investigación sobre la digestión anaerobia de dos fases (mesofílica en hidrólisis y termofílica 56°C en etapa acidogénica) de una mezcla de lodo primario y secundario en diferentes proporciones, en dos reactores de lecho de lodos de flujo ascendente, realizaron la caracterización inicial de los lodos obteniendo un pH de  $6,2 \pm 0,7$  para lodo primario únicamente y  $6,5 \pm 0,2$  para mezcla de lodo primario y secundario (50/50) en la segunda fase (etapa acidogénica). Lograron una reducción de 85% de huevos de helmintos y el biosólido obtenido fue de clase B.

Riau *et al.* (2007) determinaron la influencia de la velocidad de carga orgánica o tiempo de retención de sólidos sobre la eficacia de eliminación de DQO y sólidos volátiles en los procesos de digestión anaerobia de lodos mixtos (mezcla de lodo primario y secundario) de la estación depuradora de aguas residuales San Fernando- Cádiz bajo condiciones termofílicas (55°C) y mesofílicas (35°C), llegando a concluir que a mayores cargas el proceso termofílico es mejor que el mesofílico.

Ramírez y Pérez (2006) afirmaron que la utilización del biosólido, proveniente del tratamiento de aguas residuales, en la agricultura puede ocasionar un gran riesgo, a pesar de presentar una gran cantidad de nutrientes (C, N, Na, Fe y Zn) y materia orgánica, por la presencia de metales pesados o su inadecuada aplicación.

Utria *et al.* (2006) al caracterizar los biosólidos de las aguas residuales de la estación depuradora de aguas residuales “Quibú” obtuvo los siguientes valores promedio de propiedades químicas (expresados en base seca) MO(%) 42,35;  $Ca^{2+}$  8,84; N 2,6; P 1,35;  $Mg^{2+}$  0,84;  $K^+$  0,76; pH 7,12; relación C/N 10/1. Los contenidos de metales obtenidos en promedio son Fe(%) 2,09; y en mg/kg para Cu 337,67; Zn 135,0; Cr 79,37; Ni 59,5; Mn 55,67; Co 18,83; Pb menor a los límites de detección (5 mg/kg). Las características microbiológicas de los biosólidos muestran (en UFC/gmuestra) coliformes totales  $1,0 \times 10^8$  -  $1,1 \times 10^8$ ; coliformes fecales  $1,0 \times 10^6$ .

Rubio *et al.* (2002) utilizaron lodos biológicos, proveniente de la línea de conducción de lodos de purga del sedimentador secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados; y lodo fisicoquímico, tomados de la línea de conducción de lodos de purga provenientes del tanque de sedimentación de la planta de tratamiento de aguas residuales de tratamiento primario avanzado (sulfato de aluminio como coagulante). Bajo condiciones termofílicas, con tiempo de retención hidráulica de 12 y 8 días mostraron que el contenido de coliformes fecales en el lodo biológico efluente fue

menor a 1000 NMP/g siendo clasificado como biosólido de clase A. Los resultados obtenidos para el lodo fisicoquímico tratado fueron inferiores a los del lodo biológico a pesar del mayor tiempo de retención hidráulica (33días) y carga orgánica de 0,99 kgSSV/m<sup>3</sup>.d.

Vera-Reza *et al.* (2015) investigaron acerca de la estabilización de lodos residuales municipales por medio de la técnica del lombricompostaje, logrando determinar que los lodos después de tratados tienen un alto potencial como fertilizante orgánico; en los tratamientos donde se añadieron vegetales frescos y composta al lodo residual, lograron la remoción de huevos de helmintos y coliformes fecales mas no de salmonella.

Esteban (2014) trabajó con lodos residuales y residuos orgánicos en la codigestión anaerobia, lo que le permitió afirmar que la codigestión resulta una ventaja en el rendimiento de la producción de metano y biogás siempre que se trabaje en combinación con un residuo de características complementarias.

Cepero *et al.* (2012) investigaron acerca de la producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores en granjas donde se producen en forma conjunta alimentos y energía, el biogás generado se utilizó en cocción de alimentos tanto para personas como animales, en la generación de electricidad y en la cocción de ladrillos; asimismo el bioabono fue empleado en la mejora de la fertilidad de suelos. El biogás producido tenía el 60% de metano.

Gutiérrez *et al.* (2012) en su investigación acerca del biogás como alternativa ecológica para la producción de energía, considera que las aguas residuales municipales pueden generar gases como biocombustible lo que implica reducir la contaminación ambiental cuando se utilizan residuos como materia prima.

Ferrer *et al.* (2011) en su investigación acerca de la producción de biogás a bajo costo en digestores domésticos en los andes peruanos, utilizando estiércol de vaca, en zonas por encima de los 3000 m.s.n.m., en condiciones psicrófilas de 20°C a 25°C y con tiempos de retención entre 60 y 90 días obtuvo biogás con un porcentaje de 65% de metano.

Colomer *et al.* (2010) al buscar opciones de valorización de lodos de distintas estaciones depuradoras de aguas residuales realizaron la caracterización de los lodos y estudiaron la posibilidad de utilizarlo como fertilizante, como combustible o disponerlo

en relleno sanitario. Llegando a la conclusión: las características son heterogéneas debido a la variabilidad en su generación, por tanto, de acuerdo al uso que se le vaya a dar se deberán implementar las acciones correspondientes para optimizar sus propiedades.

Durazno y Díaz (2009) en su modelo de gestión para el manejo del sistema de extracción, deshidratación y disposición final de lodos de lagunas de estabilización determinaron que los lodos evidencian limitadas concentraciones de macronutrientes y metales pesados, bajo poder agronómico; y una vez deshidratado deberán considerarse cuidados en su uso debido al riesgo ocasionado por sus características biológicas.

Montes *et al.* (2004) en su investigación lodos residuales composteados; una alternativa para la producción de planta de *Agave durangensis*, realiza la caracterización inicial y final de lodos residuales domésticos logrando reducir de  $24 \times 10^6$  hasta  $4,3 \times 10^3$  NMP de coliformes fecales; como resultado del análisis químico del lodo composteado reporta: 0,37 %N, 122 ppm de fósforo (P), 580 ppm de potasio (K), 7,32 % de Materia orgánica y pH de 6,72; en contenido de metales registra presencia de cobre 233 ppm, hierro, 1,62%, plomo 123,0 ppm, zinc 1,286 ppm, níquel 21,2 ppm, cadmio 5,2 ppm, arsénico 25,092 ppm, mercurio 6,8 ppm y manganeso 200,0 ppm. Concluyendo que la concentración de metales pesados no es una limitante en el tratamiento.

Flotats, Campos y Bonmatí (1997) en su investigación aprovechamiento energético de residuos ganaderos afirma que la materia orgánica al descomponerse en ausencia total de oxígeno o nitratos produce biogás con una concentración de metano superior al 60% en el gas y con el incremento en el rango de temperaturas la población bacteriana crece originando mayor velocidad en producción de biogás así como destrucción de patógenos en el rango termofílico; con tiempo de retención hidráulica cercano al que determina la máxima producción volumétrica de gas, en el caso de residuos de purines de cerdo aproximadamente 15 días.

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1. Identificación del problema

En la Región Puno, de 22 localidades en el anillo circunlacustre del Lago Titicaca que poseen planta de tratamiento de aguas residuales, solo seis hacen el tratamiento y eliminación de lodos (Programa SIGAR, 2014). La ciudad de Ilave, la tercera localidad con mayor población urbana, que genera 340,0 TM/año de aguas residuales (MINAM, 2013), tiene una planta de tratamiento de aguas servidas que consta de una cámara de rejas para el pre-tratamiento y de dos lagunas de estabilización paralelas para el tratamiento primario, las aguas servidas de la ciudad así tratadas y los desechos del camal en las cercanías de la mencionada planta son vertidas al río Ilave, los efluentes aguas abajo son utilizados para riego (Programa SIGAR, 2014). A pesar de realizar el tratamiento y eliminación de residuos sólidos acumulados en la rejilla cada año, los lodos se acumulan en la laguna de estabilización perjudicando en el tratamiento óptimo de las aguas residuales que son vertidas al río Ilave, afectando de esta manera al suelo y a la población que se sirve de ella, además de contribuir con la contaminación del Lago Titicaca por ser tributario del mismo. El lodo residual acumulado en la laguna de estabilización, contiene una gran cantidad de materia orgánica que al degradarse produce gases de efecto invernadero los que no son controlados, por tanto, los lodos pueden ser sometidos a un proceso de transformación anaeróbica mediante un digestor en el cual se capturen las emisiones de gas metano, evitando que fluya directamente a la atmósfera. Así, a través de un proceso controlado se estaría mitigando la emisión de gases que contribuyen al calentamiento global.

## 2.2. Enunciado del problema

Por todo lo mencionado anteriormente, el problema central del proyecto de investigación es: la falta de un mecanismo que mitigue la emisión descontrolada de gases de efecto invernadero originados por la mala disposición de lodos de la laguna de oxidación primaria de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ilave, el cual transforme estas emisiones, mediante el proceso de digestión anaerobia termofílica, en un tipo de energía amigable con el medio ambiente y además que el subproducto generado no sea nocivo para el suelo.

La afirmación anterior nos hace plantear las siguientes interrogantes:

### 2.2.1. Pregunta general

¿Es posible utilizar lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Ilave para la obtención de biogás mediante digestión anaerobia termofílica?

#### 2.2.1.1. Preguntas específicas

- ¿Cuáles son las características físico-químicas y microbiológicas del lodo residual de la laguna de estabilización de la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Ilave?
- ¿La cantidad de biogás producido será suficiente para su uso como fuente de energía?
- ¿El lodo residual al generar biogás será posible considerarlo como bioabono base?

## 2.3. Justificación

En Perú, el tratamiento de aguas residuales es ineficiente, lo que contribuye al deterioro del medio ambiente; el manejo de los residuos urbanos y rurales para usarlo como fuente de energía es un reto en el país (Horn, 2009), la región de Puno no se exceptúa de esta afirmación. La investigación pretende utilizar los lodos residuales acumulados en las lagunas de oxidación de aguas servidas de la ciudad de Ilave para producir biogás y bioabono, así se evitará su disposición no controlada y perjudicial al medio ambiente. Se propone entonces una alternativa para generar crecimiento económico y crear condiciones de vida saludables en la población de Ilave porque se le estará dando valor a aquello que se considera material de desecho y también

reduciendo sus efectos perjudiciales. Además, es una alternativa para reducir los gases de efecto invernadero cuyo exceso ocasiona el calentamiento global. El proceso anaeróbico de los lodos residuales, produce biogás el cual puede convertirse en energía útil (Varnero, 2011), si el proceso es termofílico se puede obtener biogás con un porcentaje óptimo de metano (Deublein y Steinhauser, 2008); y el material digerido tiene posibilidades de uso en la agricultura para mejorar la calidad del suelo (Nkoa, 2014) en (Cárdenas-Cleves *et al.*, 2016). Esta propuesta, permitirá incrementar los conocimientos acerca de la generación de un tipo de energía no convencional y renovable como es la generación de biogás en la ciudad de Ilave (ubicada a 3830 m.s.n.m.) a partir de un material, lodos residuales de depuradora, que en nuestra región todavía no está siendo aprovechado como fuente energética.

## 2.4. Objetivos

### 2.4.1. Objetivo general

Obtener biogás mediante digestión anaerobia termofílica utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave – Puno.

### 2.4.2. Objetivos específicos

- a) Determinar las características fisicoquímicas, microbiológicas y los metales presentes en los lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave – Puno.
- b) Medir la cantidad del biogás obtenido mediante digestión anaerobia termofílica utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave – Puno.
- c) Evaluar la calidad del bioabono generado mediante digestión anaerobia termofílica utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave – Puno.



## 2.5. Hipótesis

### 2.5.1. Hipótesis general

La cantidad del biogás obtenido tiene un porcentaje de metano superior al 50% y el lodo residual corresponde al biosólido de clase A, producidos por digestión anaerobia termofílica de los lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave – Puno.

### 2.5.2. Hipótesis específicas

- a) Las características físico- químicas y microbiológicas del lodo residual de la laguna de estabilización de la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Ilave son las apropiadas para producir biogás mediante digestión anaerobia.
- b) La cantidad de biogás obtenido tiene un porcentaje de metano superior al 50% producido por digestión anaerobia termofílica de los lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave – Puno.
- c) La calidad del bioabono generado corresponde al biosólido de clase A de acuerdo a la USEPA 503 (Norma de la agencia ambiental de los Estados Unidos).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de estudio

##### 3.1.1. Lugar donde se realizó la investigación

El proceso de digestión anaerobia termofílica de lodos residuales, se realizó en el Laboratorio de Ecología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno ubicada sobre los 3812 m.s.n.m. y las muestras para las pruebas experimentales se tomaron de la laguna de estabilización de aguas residuales de la ciudad de Ilave cuyas coordenadas geográficas son 16° 05' 00''S de latitud y 69° 40' 00''W de longitud (Coordenada X: 8222730, Coordenada Y: 433090).

##### 3.1.2. Características ambientales, socioeconómicas y culturales de la ciudad de Ilave

Ilave está ubicada a orillas del lago Titicaca y al margen izquierdo del río Wenke-Ilave sobre los 3850 m.s.n.m., con una población de 54138 habitantes de habla castellana y/o aymara de los cuales 22153 (41%) es urbana y 31985 (59%) es rural; su clima es frígido, seco y templado por su cercanía al lago Titicaca, con ligeras variaciones a lo largo del año; temperatura promedio fluctuando entre los 8°C y 15°C; y precipitación anual promedio de 725mm con lluvias anuales de diciembre a marzo que regulan las actividades agrícolas, aunque existen también periodos de inundaciones o sequías (Apaza, 2017b).

Ilave es la tercera ciudad más importante de la región Puno debido principalmente a tres factores: diversificada y creciente actividad económica

como núcleo comercial productor de ganado vacuno y lanar, así como de variedad de productos agrícolas; ubicación privilegiada en el sur altiplánico por ser punto de confluencia de importantes carreteras; y población progresista y laboriosa (Vásquez, 2016). Además, Ilave se proyecta como una ciudad dinámica, atractiva a las inversiones con calidad de vida para sus habitantes que les permitan asumir los retos que se presenten en el futuro (Apaza, 2017a).



*Figura 2.* Ubicación de la provincia de El Collao

Fuente: Google maps

### 3.1.3. Importancia de la zona de estudio

La ciudad de Ilave es una ciudad que va creciendo en población, infraestructura y necesidades básicas, actualmente cuenta con dotación de agua potable y desde el 2001 cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales; las aguas residuales a través del sistema de alcantarillado son vertidas (por gravedad) en las lagunas de oxidación ubicadas ambas en márgenes de la ciudad; las lagunas están constituidas de diques de tierra con geomembrana, actualmente saturados, colapsados y deteriorados, el proceso de estabilización es deficiente ya que las aguas servidas pasan directamente al río Ilave cuyas aguas son captadas para dotar de agua potable a la ciudad (Apaza, 2017a).



*Figura 3.* Vista de la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Ilave

Fuente: Google maps



*Figura 4.* Vista de las lagunas de estabilización primaria de la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Ilave, 09 de febrero del 2018

### 3.2. Población

La población para el trabajo de investigación lo constituyen los lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave – Puno, se han tomado tres muestras compuestas, la primera en el mes de febrero, la segunda en el mes de mayo y la tercera en el mes de julio del 2018.

El sistema de gestión de aguas residuales, en Ilave, está constituido por un pretratamiento en una cámara de rejillas y de dos lagunas de estabilización paralelas (Figura 4) para el tratamiento primario, con descarga final al río Ilave (Programa SIGAR, 2014). Las lagunas se encuentran colapsadas con acumulación de lodos a una altura de 1,20 m en el afluente y a 0,60 m en el efluente haciendo un aproximado de 10533,6 m<sup>3</sup> de lodos (Mamani, 2017), esta es la cantidad de lodo disponible que puede ser utilizada para lograr los objetivos planteados.

### 3.3. Muestra

Para obtener una parte representativa de los lodos residuales se tomó una muestra proveniente de cuatro puntos de la laguna de estabilización: afluente, efluente y dos puntos laterales de la laguna de oxidación (Figura 5), cada una de 3 litros, luego se conformó una muestra compuesta de 12 litros, de los cuales un litro fue enviado a laboratorios certificados para la determinación de sus características físico químicas y 11 litros fueron sometidos al proceso de digestión anaerobia termofílica durante 28 días en promedio.

La muestra compuesta fue analizada en laboratorio certificado para determinar sus características físico químicas y bacteriológicas, antes y después de la experimentación.

Los cuatro puntos de muestreo en la laguna de estabilización estuvieron ubicados aproximadamente a un metro del borde y una profundidad de 0,90 m en el efluente, de 1,0 m. en los laterales y a 1,20 m. en el afluente, se aprecian los puntos en la Figura 5.



*Figura 5.* Puntos de muestreo de lodos residuales: (a) efluente, (b) lateral, (c) afluente y (d) lateral, laguna de estabilización - Ilave, 25 de mayo del 2018

### **3.4. Método de investigación**

La investigación fue de diseño experimental porque se comprobaron los efectos de la temperatura y el pH de lodos residuales en la producción de biogás durante el proceso de digestión anaerobia termofílica de lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Ilave, medido en porcentaje de metano. Asimismo el tipo de investigación fue descriptivo y transversal, porque se realizó una caracterización de los lodos residuales crudos y del biosólido producto de la experimentación, entre febrero y agosto del 2018.

Para la ejecución del proyecto de investigación, se diseñó y se construyó una incubadora de madera que albergó al biodigestor debidamente implementado con los accesorios que permitieron agitar los lodos, medir la temperatura, pH y porcentaje de metano generado por la muestra sometida a digestión anaerobia termofílica.

#### **3.4.1. Diseño y construcción de la incubadora**

Para dotar al experimento de condiciones termofílicas se utilizó una incubadora, construida como una caja cerrada de base cuadrada de  $0,50 \times 0,50 \times 0,65 \text{ m}^3$  con una tapa en la parte superior de 0,27 m donde se han perforado cinco orificios, los que sirvieron para insertar los sensores de temperatura, pH, termostato y agitador del biodigestor. La incubadora se ha recubierto interiormente con tecnopor y latón para aislar térmicamente el biodigestor; asimismo se han instalado dos fuentes caloríficas consistentes en dos focos incandescentes de 40 watts. La Figura 6 evidencia lo descrito.

#### **3.4.2. Acondicionamiento del digestor**

Para someter los lodos residuales al proceso anaerobio se utilizó un digestor cilíndrico de PVC de 16 litros de capacidad con tapa rosca donde se han perforado 5 orificios que sirvieron para instalar, el sensor de temperatura, dos mangueras con sus respectivas llaves de gas, tubo del agitador manual de lodos, tubo de agua que permitió instalar el sensor de pH. La Figura 7 muestra el acondicionamiento de la incubadora y el digestor.



a) Recubrimiento con tecnopor.

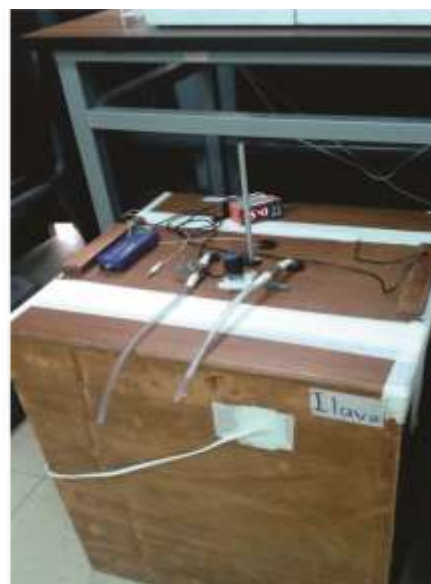


b) Recubrimiento con latón e instalación de soquetes, termostato, tapones para evitar fugas de calor.

*Figura 6.* Incubadora implementada para el proceso de digestión anaerobia termofílica de lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Ilave



a) Digestor acondicionado



b) Incubadora instalada

*Figura 7.* Acondicionamiento de digestor e incubadora implementados para el proceso de digestión anaerobia termofílica

### 3.4.3. Diseño del muestreo

#### 3.4.3.1 Muestreo de lodos residuales en la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave

Siguiendo el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos aprobado mediante Resolución Ministerial N°093-2018-VIVIENDA del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento de Perú, se cumplió con el plan de muestreo para la toma de muestras de lodos residuales de la laguna de estabilización primaria de aguas servidas de la ciudad de Ilave, se ha iniciado con el cronograma de muestreo fijando fecha y hora para el trabajo de campo (Tabla 6).

Tabla 6

*Cronograma de muestreo de lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave*

Experimento	Fecha	Hora
Primer	09/02/2018	06:00 am
Segundo	25/05/2018	06:00 am
Tercer	10/07/2018	06:00 am

Se adoptaron las medidas de seguridad y bienestar durante la toma de muestras, se utilizó equipo de seguridad personal, barbijo y guantes.

Para la recolección de la muestra y procedimientos de muestreo, se utilizó agua destilada con la finalidad de descontaminar y limpiar el equipo compuesto de: biodigestor, pala de recolección de muestra, balde contenedor de muestra, cuchara inoxidable para mezclar lodos. Asimismo los instrumentos utilizados para medir los parámetros físicos químicos *in situ*, estuvieron calibrados, se registraron la temperatura de lodos y pH, conductividad y sólidos totales disueltos de cada muestra compuesta.



### 3.4.3.2 Caracterización analítica de los lodos residuales

Para la caracterización analítica de los lodos residuales se solicitó los servicios de Laboratorio del Instituto de Innovación Agraria-INIA- Puno, Laboratorio de Ecología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano y Laboratorios Analíticos del Sur de Arequipa. Los métodos utilizados por los laboratorios antes mencionados se indican a continuación.

- **Laboratorio del Instituto Nacional de Innovación Agraria - Puno**  
Methods of analysis for soils, plants and waters, University of California, División of Agricultural Science E.U.A. Sexta reimpresión, Octubre 1988. 195p.  
Método semimicrokjeldahl (digestión con ácido sulfúrico) que se puede consultar en PanReac, Applichem, and Chimica (2011), para determinación de nitrógeno.  
Método del metavanadato de amonio (espectrofotómetro digital 21) para determinación de fósforo.  
Ataque con ácido sulfúrico (fotómetro de flama) para determinación de potasio.  
Potenciómetro de flama para medir pH.  
Conductivímetro de 02 anillos para determinación de conductividad eléctrica.
- **Laboratorio de Ecología de la Facultad de Ciencias Biológicas**  
Método propuesto por la Organización Internacional de Químicos Asociados.  
Determinación de coliformes fecales: método NMP, se puede revisar en (Forster-Carneiro *et al.*, 2008).  
Determinación de salmonella sp: NMP/g, se puede revisar en (Forster-Carneiro *et al.*, 2008).  
Determinación de Huevos de helmintos: HH/g
- **Laboratorios Analíticos del Sur**  
EPA 200.7 Determinación de arsénico en suelos y sedimentos (Lixiviación ácida) por ICP-OES. Revisión 4.4 que se puede consultar en Wang *et al.* (2012).

EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por espectroscopía de plasma (ICP-OES), Revisión 4.4 (se puede consultar en Wang *et al.* (2012)) para determinación de: plata, aluminio, boro, bario, berilio, calcio, cadmio, cobalto, cromo, cobre, hierro, potasio, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, sodio, níquel, fósforo, plomo, antimonio, selenio, estaño, estroncio, titanio, talio, vanadio, zinc.

Método de ensayo para nitrógeno total por destilación - Fotometría en suelos y sedimentos, que se puede encontrar en McKean (1993) para determinación de nitrógeno.

Método de ensayo para Materia Orgánica- Fotometría en suelos y sedimentos, que se puede encontrar en McKean (1993) para determinación de materia orgánica.

Método de Recuento Huevos y larvas de Helmintos patógenos para la determinación de Helmintos y parásitos.

Método de ensayo para carbono orgánico total como materia orgánica. Fotometría en suelos y sedimentos, que se puede encontrar en McKean (1993) para la determinación de carbono orgánico.

Método 200.7 Determinación de Mercurio en Suelos y sedimentos (Lixiviación ácida) por ICP-OES. Revisión 4.4, que se puede consultar en Wang *et al.* (2012).

Determinación de pH 1:2 potenciometría en suelos para medir pH.

Numeración de Coliformes Fecal ISO 4831:2006. Horizontal method for the numeration of coliforms – Most probable number technique en sedimentos.

Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C.

Detección de Salmonella: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part-9260 B (Idem 1, 2d, 3, 4, 6, 7, 8) 22nd Ed. Detección of Pathogenic Bacteria Salmonella en sedimentos.

#### **3.4.4. Descripción detallada de equipos, instrumentos de medida y otros**

Se detallan en la Tabla 7, los equipos, instrumentos y otros utilizados en la obtención de biogás a partir de lodos residuales.

Tabla 7

*Equipos, instrumentos de medida y otros utilizados en la experimentación*

<b>Equipos e instrumentos</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Características</b>	<b>Técnicas de medición</b>	<b>Valores medidos</b>
Sensor de Temperatura	Temperatura	Equipo Spark	Directa	Cuantitativo
Sensor de pH	pH	Equipo Spark	Directa	Cuantitativo
CO2meter	CH <sub>4</sub> %	0-100%	Directa	Cuantitativo
Sampling Data- Logger CM-0191	CO <sub>2</sub> %	0-50%	Directa	Cuantitativo
Termostato STC-1000	Rango de temperaturas	-50°C~90°C	Directa	Cuantitativo
Pasco Wireless Conductivity PS-3210	Conductividad	Equipo Pasco	Directa	Cuantitativo
	Solidos totales disueltos	Equipo Pasco	Directa	Cuantitativo
Computadora personal(PC)	Registro de datos en tiempo real	SONY	Directa	Cuantitativo



a) Equipo Spark                      b) Sensores de pH y temperatura                      c) CO2Meter

*Figura 8. Sensores de temperatura, pH y metano utilizados en el experimento*

La Figura 8: (a) muestra el equipo Spark, utilizado para registrar la temperatura y el pH del lodo, conectando el cabezal de pH metro y sensor de temperatura que se encuentran en la figura (b). En la figura (c) se observa el sensor CO2Meter que mide el porcentaje de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> presentes en el biogás, cuenta con un botón de encendido, dos mangueras, una de entrada y otra de salida del gas, así como un cable USB que sirve de conexión entre el sensor y la computadora portátil donde se registraron los datos. Funciona con 4 pilas de 1.5 Voltios cada una.

Para cuantificar el porcentaje de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en el biogás obtenido se conectaron en circuito cerrado el CO2Meter y el digester. Las llaves de gas instaladas en las mangueras del biodigester fueron abiertas para permitir la circulación del biogás.

El programa GasLab permitió almacenar los datos obtenidos por el CO2Meter, se registraron datos cada 30 segundos durante 25 minutos por día (en la Figura 9, se visualiza el registro de datos en la PC), el instalador se obtuvo de la web (<http://www.co2meter.com/pages/downloads>).



*Figura 9.* Registro de cantidad de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en el biogás, laboratorio de Ecología, Universidad Nacional del Altiplano

Para medir la Conductividad Eléctrica (CE) los Sólidos totales disueltos (STD) se han utilizado los sensores del equipo Pasco (Figura 10).



Figura 10. Sensor de conductividad y sólidos totales disueltos del equipo Pasco

Para garantizar la transferencia de sustrato a los diferentes grupos microbianos se homogenizaron los lodos con el agitador manual instalado en el biodigestor, durante 5 minutos diarios, puesto que, al trabajar en el rango termofílico las necesidades de agitación son menores (Varnero, 2011).

### 3.4.5. Descripción de variables a ser analizadas en los objetivos específicos

Las variables analizadas se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8

#### Operacionalización de variables

Variables	Dimensión	Indicador	Índice
<b>Variable independiente</b>			
X <sub>1</sub> : Temperatura de digestión anaerobia	Temperatura	°C	45° C a 65°C
X <sub>2</sub> : pH en la digestión anaerobia	Potencial de hidrógeno	Acidez o alcalinidad de la materia orgánica en el digestor	6 a 8.5
<b>Variables dependientes</b>			
Y <sub>1</sub> : Cantidad de biogás obtenido	Contenido de metano	% de metano	>50%
Y <sub>2</sub> : Calidad del bioabono	Contenido de patógenos	Coliformes fecales	<b>Según EPA</b> <b>Clase A:</b> <1x10 <sup>3</sup> NMP/gST <b>Clase B:</b> < 2x10 <sup>6</sup> NMP/gST
		Helmintos	<b>Clase A:</b> < ¾ HH/g ST
		<i>Salmonella sp</i>	<b>Clase A:</b> <¾ HH/g ST
	Contenido de metales		<b>Según EPA</b>

### 3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

#### 3.5.1. Determinar las características fisicoquímicas, microbiológicas y los metales presentes en los lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave Puno

Para lograr este objetivo, la muestra compuesta de lodos residuales fue enviada al laboratorio del Instituto Nacional de Innovación Agraria – Puno, al laboratorio Ecología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano y a Laboratorios Analíticos del Sur para el análisis microbiológico, cuantificación del contenido de nutrientes: nitrógeno, sodio, potasio, materia orgánica y para la determinación del contenido de metales. Se compararon los resultados con las normas existentes USEPA y normas peruanas.

#### 3.5.2. Medir la cantidad del biogás obtenido mediante digestión anaerobia termofílica utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave – Puno

Para el logro del objetivo planteado, la muestra compuesta de lodos residuales fue sometida a digestión anaerobia termofílica durante 28 días. Se utilizó un biodigestor de 16 litros de capacidad con 11 litros de lodos, el espacio libre sirvió para albergar al biogás. El digestor fue instalado dentro de la incubadora, construida y acondicionada para lograr un rango de temperatura de 45°C a 65°C y así garantizar un proceso termofílico, luego se procedió a sellarlo para evitar fugas de calor. Se midió diariamente la temperatura y el pH de la muestra, se registró también el porcentaje de metano y dióxido de carbono contenido en el biogás generado.

##### 3.5.2.1 Aplicación de prueba estadística inferencial

Con el programa de Excel 2010 se determinaron los indicadores estadísticos: máximo, mínimo, promedio, desviación estándar y coeficiente de variación, también se graficaron las relaciones: CH<sub>4</sub> con CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> con temperatura de los lodos y CH<sub>4</sub> con pH utilizando los valores promedio diario de CH<sub>4</sub> medido. Y mediante el programa InfoStat versión 2017 se determinó la correlación de Spearman para el CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> y la regresión de %CH<sub>4</sub> con días.

### **3.5.3. Evaluar la calidad del bioabono generado mediante digestión anaerobia termofílica utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave – Puno**

Para lograr este objetivo específico, los lodos digeridos fueron enviados a Laboratorios Analíticos del Sur para el análisis microbiológico, contenido de metales pesados y nutrientes, luego se compararon los resultados con la norma EPA 503 y normas peruanas existentes.

## CAPÍTULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Características físico químicas, microbiológicas y los metales presentes en los lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave - Puno

Las muestras compuestas de lodos residuales de la laguna de oxidación de la ciudad de Ilave fueron enviadas a los laboratorios certificados para su análisis inicial. Sin embargo también se registraron la temperatura, el pH, conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales disueltos (STD) al momento de ser recolectados. Se muestran en la Tabla 9 los valores de la medición efectuada.

Tabla 9

*Datos de temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales disueltos (STD) de los lodos residuales*

Experimento	Fecha de muestreo	Temperatura de lodos °C	pH	CE $\mu\text{S/cm}$	STD mg/L
Primer	08/02/2018	15,7	6,86	1192,7	940,26
Segundo	25/06/2018	11,3	6,67	1379,7	1088,36
Tercer	10/07/2018	9,3	7,01	1284,29	1284,29

El clima en el altiplano está dividido en época de lluvias comprendida entre los meses de noviembre hasta abril y en época de secas periodo en el que no existen precipitaciones pluviales desde mayo a octubre prácticamente, con el clima más frío entre junio y agosto, conocido como el tiempo de las heladas (Barrios, 2009), la



afirmación anterior explica porque la temperatura inicial de los lodos, Tabla 9, difieren entre sí debido a que las muestras fueron extraídas en distintas épocas del año donde las temperaturas ambientales son diferentes.

El pH de los lodos residuales en los tres experimentos varía entre 6,67 y 7,01 que corresponde al rango ( $6,6 \leq \text{pH} \leq 7,5$ ) de suelo neutro (Cañihua y Salcedo, 2016). La CE mide la cantidad de sales contenidas en el lodo residual, en los tres experimentos son diferentes pero menores que  $4000 \mu\text{S}/\text{cm}$  entonces se clasifica a los lodos como suelos sódicos Cañihua y Salcedo (2016). La presencia de STD es un indicativo de que existe materia orgánica en la muestra de lodos (Rodríguez, 2010), se observan valores diferentes, siendo  $1284,29 \text{ mg}/\text{L}$  en el tercer experimento, superior en 15% al segundo y 36% más que el primer experimento es decir que existe mayor cantidad de materia orgánica en los lodos del tercer experimento (muestra obtenida en época de secas).

#### **4.1.1. Características físico químicas de los lodos residuales**

Los datos que se muestran en las Tablas 10, 11 y 12, corresponden a la caracterización inicial de las muestras compuestas de lodos residuales, analizados en laboratorios del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) (Anexo 7: análisis de nutrientes, primer experimento), Laboratorio de Ecología de la Universidad Nacional del Altiplano (Anexo 6: análisis microbiológico inicial, primer experimento) y Laboratorios Analíticos del Sur (Anexos 2 y 4: análisis inicial físico, químico, microbiológico de los lodos residuales, segundo y tercer experimento respectivamente).

Se presenta en la Tabla 10 el análisis inicial de nutrientes de lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave acompañan los datos iniciales de Vera-Reza *et al.* (2015) y los datos obtenidos por Colomer *et al.* (2010) para la respectiva comparación.

Tabla 10

*Análisis inicial de nutrientes de lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave*

Componentes	Unidad	Colomer <i>et al.</i> (2010)			Vera-Reza <i>et al.</i> (2015)			Experimento		
		Lodo 1 EDAR	Lodo 3 EDAR	Lodo crudo	Lodo 1 EDAR	Lodo 3 EDAR	Lodo crudo	Primer	Segundo	Tercero
Fósforo (P)	mg/kg	----	----	3210,52	1410	4786	3724			
Potasio(K)	mg/kg	----	----	1,77	3380	1540	3100			
Nitrógeno total (N)	%	3,33	3,91	1,61	6,77	1,439	1,6138			
Materia orgánica (MO)	%	----	----	25,02	23,16	30,2	35,32			
Humedad	%	----	----	----		86,96	83,955			
Carbono Orgánico	%	26,62	32,69	14,51	13,434	17,52	20,4			
pH	upH	----	----	6,82	7,31	7,08	7,12			
C/N		7,99	8,35	9,01	1,984	12,175	12,641			

Lodo 1, lodo 3 son muestras de estación depuradora de aguas residuales (EDAR) urbanas

Lodo crudo, es el proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la Unidad Habitacional “Las Moras”

Tomando en cuenta la fórmula  $MO = \%C \times 1,724$  (Cañihua y Salcedo, 2016) , se han incluido en la Tabla 10 los datos correspondientes a Carbono Orgánico 13,434%, 17,52% y 20,4% y relación C/N de los lodos residuales. En el primer experimento la muestra de lodos tiene un valor de nitrógeno 6,77%, comparando con los resultados del segundo (1,439%) y tercer experimento (1,6138%) es muy alto.

Las relaciones C/N tiene un valor de 1,984 para el primer experimento, para el segundo experimento tiene un valor de 12,175 y para el tercer experimento se obtiene un valor de 12,641, comparando los dos últimos valores con el primero difieren aproximadamente en un 16%.

Tabla 11

*Análisis inicial de patógenos de lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave*

Componentes	Unidad	503 EPA			DS-015-2017-VIVIENDA			Experimento		
		Clase A	Clase B	Clase A y B	Primer	Segundo	Tercero			
Coliformes fecales	NMP/g	$<10^3$	$< 2 \times 10^6$	$<10^3$	$2,4 \times 10^3$	$9,3 \times 10^6$	$2,4 \times 10^6$			
Salmonella ssp.	NMP/g	$<3/4$	----	$<1/10$	800	0	$<3$			
Huevos de helmintos	HH/g	$<1/4$	----	$<1/4$	35	3	1			

#### 4.1.2. Características microbiológicas de los lodos residuales

Se presentan en la Tabla 11, elaborado en base a los Anexos 2, 4 y 6, el análisis inicial de patógenos de lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave, acompañan las normas peruanas existentes y EPA 503 para su comparación.

Según el análisis microbiológico de lodos el máximo valor de coliformes fecales fue  $9,3 \times 10^6$  correspondiente al segundo experimento, máximo valor determinado de salmonella sp 800 NMP/g y huevos de helmintos 35 HH/g que corresponden al primer experimento, de acuerdo a las normas EPA 503 y Decreto supremo N°015-2017-VIVIENDA sobrepasan los límites máximos permisibles.

El análisis inicial de las tres muestras indica que los lodos necesitan tratamiento para eliminar patógenos, por tanto el proceso anaerobio termofílico es una alternativa para lograr este fin, puesto que, el rango termofílico asegura la destrucción de los patógenos, eliminación de huevos y larvas de insectos (Flotats, Campos y Bonmatí, 1997).

Tabla 12

*Presencia inicial de metales en lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave*

Componentes	Unidad	503 EPA		DS-015-2017-VIVIENDA		DS-N° 011-2017-MINAM			Experimento		
		Clase A	Clase B	Clase	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo comercial / Industrial/ Extractivo	Primer	Segundo	Tercero
		A y B	A y B	Agrícola	Residencial/Parques	Residencial/Parques	Industrial/ Extractivo				
Arsénico	mg/kg	41	75	40	50	50	140	---	---	16,4	28,55
Cadmio	mg/kg	39	85	40	1.4	10	22	---	---	3,3729	5,7297
Cromo	mg/kg	1200	3000	1200	---	400	1000	---	---	11,078	19,508
Mercurio	mg/kg	17	57	17	6.6	6.6	24	---	---	a<0,041	a<0,041
Níquel	mg/kg	420	420	400	70	140	800	---	---	0,56228	10,392
PLOMO	mg/kg	300	840	400	70	140	800	---	---	33,62	22,42
Selenio	mg/kg	36	100	---	---	---	---	---	---	a <0,2	a <0,2
Zinc	mg/kg	2800	7500	2400	---	---	---	---	---	462	360
Cobre	mg/kg	1500	4300	1500	---	---	---	---	---	67,4	89,27
Molibdeno	mg/kg	---	75	---	---	---	---	---	---	2,6694	1,7825

#### 4.1.3. Metales pesados presentes en los lodos residuales

Se presenta en la Tabla 12 el análisis de la presencia inicial de metales en lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave (Anexo 2, Anexo 4 ), así como un resumen comparativo con las normas 503 EPA (1994), DS-015-2017-VIVIENDA y DS-N°011-2017-MINAM.

Se observa que los metales presentes en los lodos residuales a pesar de diferir considerablemente en cantidad para las diferentes muestras son mucho menores a las normas 503 EPA y DS-015-2017-VIVIENDA, por tanto se clasifican como biosólido de clase A y no hay necesidad de realizar tratamiento alguno para reducir metales; sin embargo de acuerdo al DS-N°011-2017-MINAM el biosólido podría utilizarse para suelo residencial/ parque o suelo comercial/industrial/extractivo mas no como suelo agrícola debido a la presencia de cadmio 3,3729 mg/kg, 5,7297 mg/kg en la muestra de lodos del segundo y tercer experimento respectivamente que son superiores a 1,4 mg/kg. En consecuencia, se debe realizar otro tratamiento para eliminar o disminuir la presencia de cadmio en los lodos residuales, lo que se puede lograr, aumentando el pH, o utilizando enmiendas que incrementen los iones de calcio (Herrera, 2011).

#### 4.1.4. Discusión

En la Tabla 10, los valores obtenidos 12,175 y 12,641 para la relación C/N correspondientes al segundo y tercer experimento son superiores a 7,99 (Lodo 1 EDAR urbanas) y 8,35 (Lodo 3 EDAR urbanas) obtenidas por Colomer *et al.* (2010) en su trabajo de valoración de lodos residuales de siete distintas estaciones depuradoras, y también son superiores a 9,01 (caracterización inicial de lodos crudos) calculadas para Vera-Reza *et al.* (2015) en su investigación sobre estabilización de lodos residuales municipales por medio de la técnica del lombricompostaje; estas variaciones de la calidad del lodo ocurren entre otros factores debido a la época del año y las condiciones climáticas (Colomer *et al.*, 2010; Rodríguez, 2010). Las relaciones C/N obtenidas en el segundo y tercer experimento están dentro del rango de actividad microbiana, sin embargo con una relación C/N >15 la actividad microbiana es intensa (Forget, 2011).

En la Tabla 11 los coliformes fecales  $9,3 \times 10^6$  NMP/g correspondientes al segundo experimento son mayores a los obtenidos por Arévalo y Lituma (2010)  $3,7125 \times 10^6$  NMP/g en la caracterización inicial de lodos residuales de la laguna de oxidación de Ucubamba-Cuenca, pero son menores a  $24 \times 10^6$  NMP/g obtenidas por Montes *et al.* (2004) en la caracterización inicial de lodos de la segunda laguna de la planta de tratamiento de aguas residuales de Durango. La presencia de microorganismos en los lodos residuales es importante porque ocasionan reacciones químicas, bioquímicas y microbiológicas asociadas a su metabolismo, dando lugar a la digestión anaerobia (Mancillas-Salas *et al.*, 2012).

En la Tabla 12 se observa, que en el segundo experimento  $Zn > Cu > Pb > As > Cr > Cd > Mo > Ni$  para  $462 > 67,4 > 33,62 > 16,4 > 11,078 > 3,3729 > 2,6694 > 0,56228$  mg/kg respectivamente; y en el tercer experimento  $Zn > Cu > As > Pb > Cr > Ni > Cd > Mo$  para  $360 > 89,27 > 28,55 > 22,42 > 19,508 > 10,392 > 5,7297 > 1,7825$  mg/kg respectivamente; se observa que el zinc y el cobre ocupan los primeros lugares en ambos experimentos; la cantidad de cromo detectada en el segundo y tercer experimento 11,078 mg/kg y 19,508 mg/kg son menores a 352,75 mg/kg obtenida por Arévalo y Lituma (2010) menores a 34,2 mg/kg y 257,2 mg/kg del Lodo1 y Lodo 3 obtenidos por Colomer *et al.* (2010). Las concentraciones de metales obtenidas en el análisis de lodos de la ciudad de Illave en ningún momento sobrepasan a 3370 mg/kg de Cr, 13480 mg/kg de Cu, 3370 mg/kg de Zn, 9000 mg/kg de Cd mucho menos de 7270 mg/kg de Ni que son las concentraciones que reducen la producción de metano en un 10% (Hernández, 1992). Por tanto, los metales presentes en el lodo no influirán en la producción de biogás.



#### **4.2. Cantidad de biogás obtenido mediante digestión anaerobia termofílica utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave – Puno.**

Para determinar la cantidad de biogás obtenida en la experimentación, se ha registrado el metano y el dióxido de carbono en las Tablas 13, 14 y 15, los datos se han procesado utilizando el programa EXCEL 2010. Para la interpretación respectiva, se procedió a determinar las diferentes relaciones entre  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  con temperatura y  $\text{CH}_4$  con pH que se muestran en las figuras 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19.

En la Tabla 13 se presenta el registro de datos del primer experimento, llevado a cabo con muestras de lodos recolectados el 09/02/2018, inicio del proceso de digestión anaerobia termofílica 14/02/2018 y rango de temperatura  $55^\circ\text{C}$ - $60^\circ\text{C}$ .

Tabla 13

*Datos de Temperatura (T°C) de la muestra, pH, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> del proceso de digestión anaerobia termofílica de lodos residuales, primer experimento*

Días	Fecha	Hora	T° Muestra		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
			(°C)	pH	(%)	(%)
1	15/02/2018	08:00	50,3	6,83	29,6704	10,1082
2	16/02/2018	08:38	56,2	6,97	18,5036	9,2892
3	17/02/2018	08:35	57	7,05	12,974	9,0084
4	18/02/2018	08:28	56,6	7,16	10,3794	8,8542
5	19/02/2018	08:32	57	7,22	6,7875	8,0141
6	20/02/2018	08:28	56,8	7,27	5,3389	7,0418
7	21/02/2018	08:27	56,7	7,31	4,4571	6,1034
8	22/02/2018	08:35	55,9	7,34	4,045	5,6635
9	23/02/2018	08:28	56,1	7,37	4,3981	5,6891
10	24/02/2018	08:09	53,3	7,44	4,4598	5,1598
11	25/02/2018	08:30	55,4	7,41	5,11	5,6964
12	26/02/2018	08:22	56,2	7,41	5,6032	6,0648
13	27/02/2018	11:53	56,3	7,42	5,6547	5,9919
14	28/02/2018	08:05	55,7	7,43	6,0134	6,0328
15	01/03/2018	08:43	55,6	7,43	6,3851	5,9797
16	02/03/2018	08:47	56,1	7,46	11,6906	1,979
17	03/03/2018	08:30	56	7,48	8,3912	3,4139
18	04/03/2018	09:02	55,9	7,5	5,0917	4,8488
19	05/03/2018	08:40	56	7,53	4,7182	4,7237
20	06/03/2018	08:45	54,8	7,56	4,9021	4,708
21	07/03/2018	08:40	55,1	7,57	4,8789	4,7078
22	08/03/2018	08:48	54,7	7,58	4,8406	4,6574
Máximo			57	7,58	29,6704	10,1082
Mínimo			50,3	6,83	4,045	1,979
Promedio			55,62	7,35	7,9224	6,0789
Desviación estándar			3,11	0,53	17,5573	3,8543
Coeficiente de variación			0,06	0,07	2,2162	0,6340

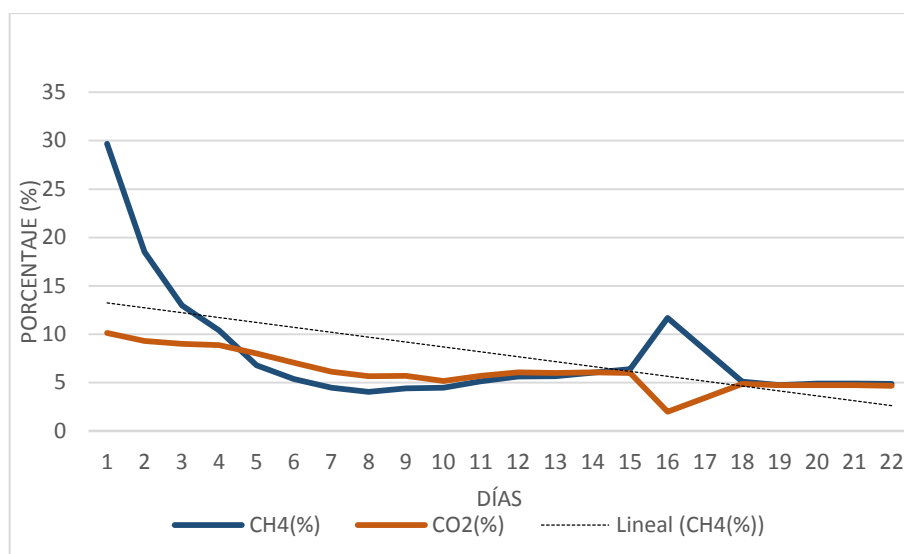


Figura 11. Relación entre % CH<sub>4</sub> y % CO<sub>2</sub>, primer experimento realizado entre febrero y marzo del 2018

Se observa en la Figura 11 que el 29,6704 % CH<sub>4</sub> en el biogás producido al iniciar el experimento cae rápidamente hasta el quinto día a partir del cual se podría decir que la producción es aproximadamente constante hasta el día 15 cuando se incrementa y alcanza un pico de 11,6906 % CH<sub>4</sub> el día 16, desde el día 18 tiende a mantenerse nuevamente constante a 5% aproximadamente; respecto del CO<sub>2</sub> se inicia con una lectura de 10,1082 % luego va disminuyendo pero muy lentamente hasta el día 16 que registra su valor mínimo 1,979%; el día 18 prácticamente CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> reportan valores iguales.

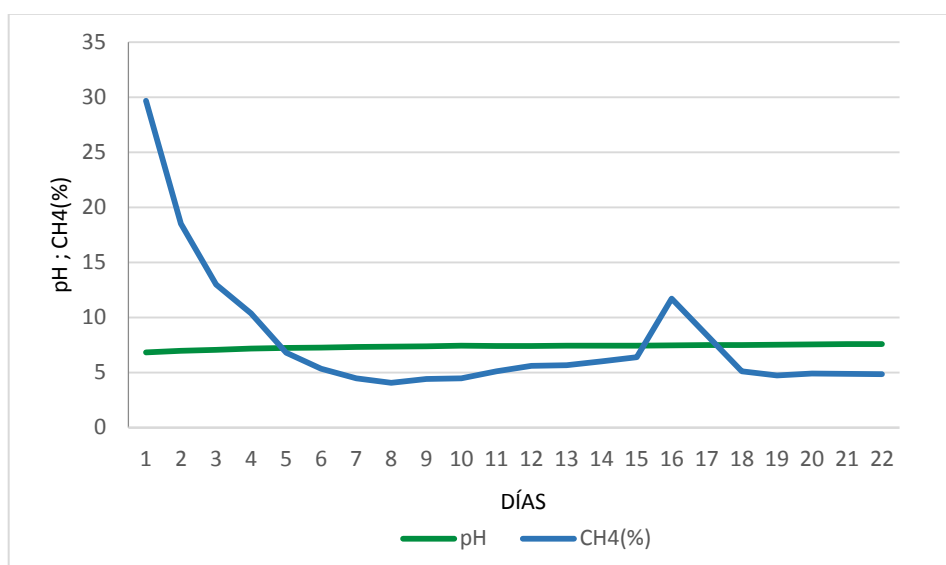
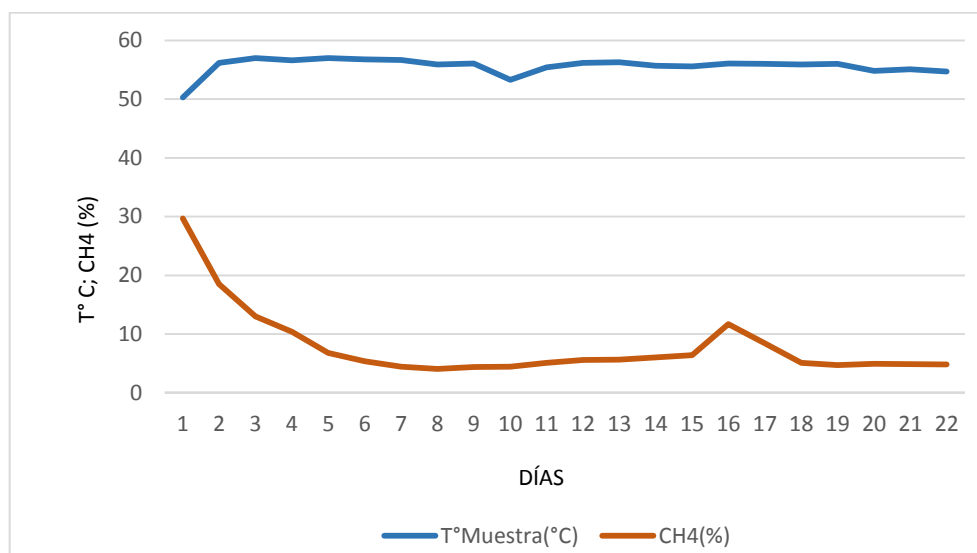


Figura 12. Relación entre % CH<sub>4</sub> y pH, primer experimento realizado entre febrero y marzo del 2018

Se observa en la figura 12 que el pH de los lodos inició con 6,83 se ha incrementado hasta 7.05 (tercer día de tratamiento) en que la reacción ya es alcalina. El pH en todo el proceso ha estado creciendo finalmente se registró 7,58. Sin embargo, la cantidad de CH<sub>4</sub> ha sufrido decrecimiento.



*Figura 13.* Relación entre %CH<sub>4</sub> y temperatura de la muestra, primer experimento realizado entre febrero y marzo del 2018

Se observa en la figura 13 que el valor máximo registrado 29,6704 %CH<sub>4</sub> corresponde a una temperatura de 50,3°C valor mínimo. En los siguientes días la temperatura se ha mantenido muy próxima a 55°C, pero esto no ha sido suficiente para la producción de metano puesto que a lo largo del proceso ha sufrido un decremento. El día 8 se registró 4,045 % de CH<sub>4</sub> mínimo para una temperatura de 55,9°C se observa además que el día 10 hay un cambio brusco a 53,3°C en la temperatura de los lodos, hay una diferencia de 2°C respecto del promedio, pero eso no afecta en la evolución del metano que estaba incrementando muy lentamente. Un máximo relativo de 11,6906 % CH<sub>4</sub> (día 16), se logra a una temperatura de 56,1°C.

La Tabla 14, muestra el registro de datos del segundo experimento desde el 28/05/2018, llevado a cabo con muestras de lodos recolectados el 25/05/2018, inicio del proceso de digestión anaerobia termofílica 25/05/2018, rango de temperatura 55°C-60°C.

Tabla 14

*Datos de temperatura (T°C) de la muestra, pH, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> del proceso de digestión anaerobia termofílica de lodos residuales, segundo experimento*

Días	Fecha	Hora	T°Muestra	pH	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)
			(°C)			
3	28/05/2018	15:42	55,7	6,82	15,4952	13,372
4	29/05/2018	15:27	54,5	6,87	10,2864	10,7128
5	30/05/2018	16:23	56,6	6,94	6,9811	9,4496
6	31/05/2018	14:06	55,3	7,03	10,2926	3,4565
7	01/06/2018	13:30	54,3	7,04	9,8746	8,8452
8	02/06/2018	13:30	54,8	7,09	12,2226	9,1738
9	03/06/2018	13:07	55,1	7,12	11,1717	8,3849
10	04/06/2018	15:20	53	7,18	9,2468	7,526
11	05/06/2018	15:30	52	7,21	8,1187	6,9151
12	06/06/2018	13:21	51,4	7,17	8,6057	6,7509
13	07/06/2018	13:19	51,3	7,18	11,9782	7,0054
14	08/06/2018	13:25	50,8	7,17	14,3163	7,2041
15	09/06/2018	14:13	50,4	7,18	17,124	7,4113
16	10/06/2018	13:43	49,7	7,2	17,0248	6,6463
17	11/06/2018	15:23	49,1	7,18	16,7256	6,5667
18	12/06/2018	15:32	48,3	7,21	16,0383	6,3481
19	13/06/2018	16:03	47,8	7,19	15,4911	6,2393
20	14/06/2018	11:31	47,1	7,2	14,5769	6,075
21	15/06/2018	13:32	46,9	7,11	13,892	6,036
22	16/06/2018	09:00	49	7,54	10,947	6,0843
23	17/07/2018	09:00	50,5	7,33	10,1378	5,6862
24	18/06/2018	15:35	52	7,12	9,3286	5,288
25	19/06/2018	15:23	55	7,29	9,6954	6,1309
26	20/06/2018	16:03	57,5	7,33	9,4469	6,1933
27	21/06/2018	16:17	58	7,18	7,6454	5,3192
28	22/06/2018	13:30	57,5	7,08	7,1074	5,0665
Máximo			58	7,54	17,124	13,372
Mínimo			46,9	6,82	6,9811	3,4565
Promedio			52,40	7,15	11,6835	7,0726
Desviación estándar			1,3	0,18	5,9311	5,8729
Coeficiente de variación			0,0	0,03	0,5076	0,8304

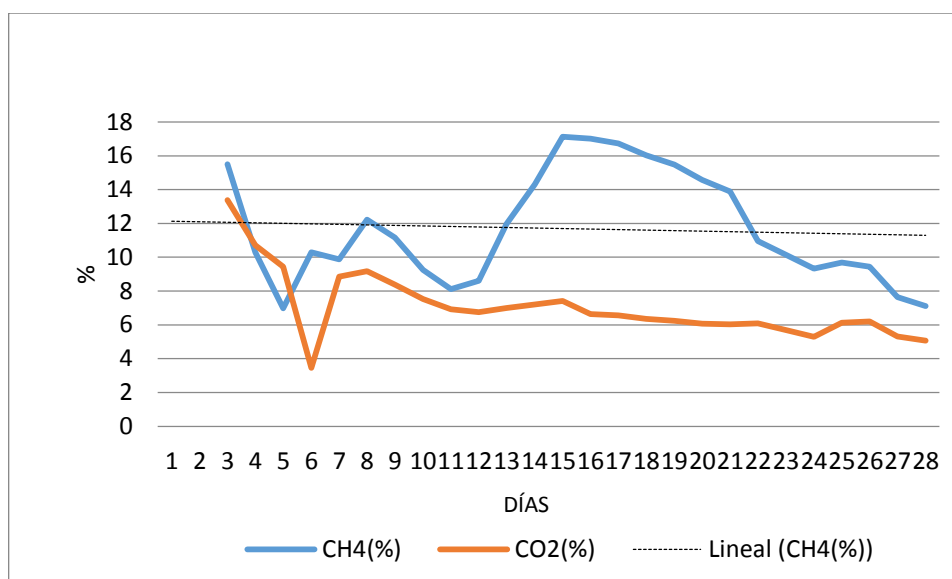


Figura 14. Relación entre % CH<sub>4</sub> y %CO<sub>2</sub>, segundo experimento realizado entre mayo y junio del 2018

Se observa en la Figura 14 que el biogás producido al tercer día de iniciado el experimento marca 15,4952 % CH<sub>4</sub>, se observa también que la producción de metano alcanza algunos valores máximos relativos, siendo el máximo absoluto 17,124% CH<sub>4</sub> medido el día 15 luego va disminuyendo hasta el día 28 que registra un mínimo de 7,1074%; respecto del CO<sub>2</sub> se inicia el registro con una lectura de 13,372 % , el sexto día registra un mínimo de 3,4565% seguido de un máximo relativo de 9,1738% al octavo día, luego va disminuyendo pero muy lentamente, el día 15 se registra 7,4113%. Se observa que la cantidad de CH<sub>4</sub> es mayor que CO<sub>2</sub> desde el sexto día.

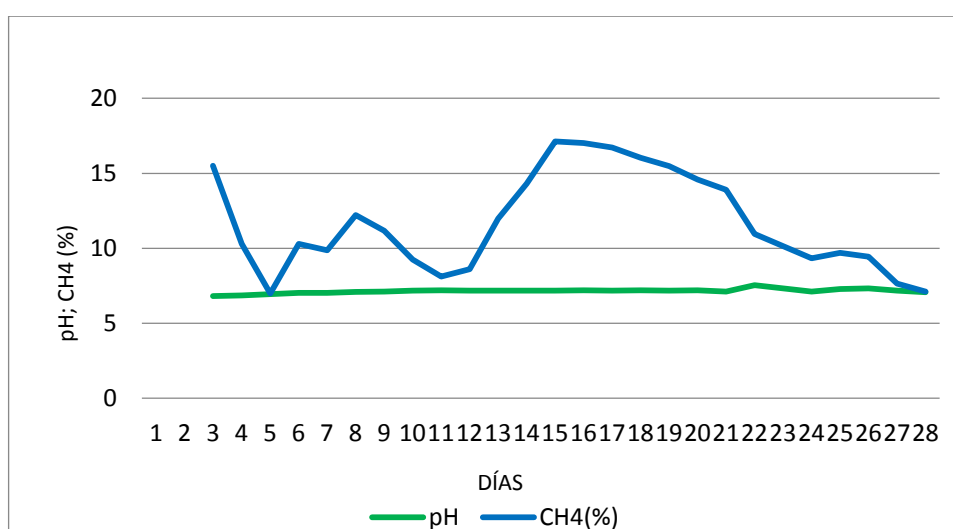
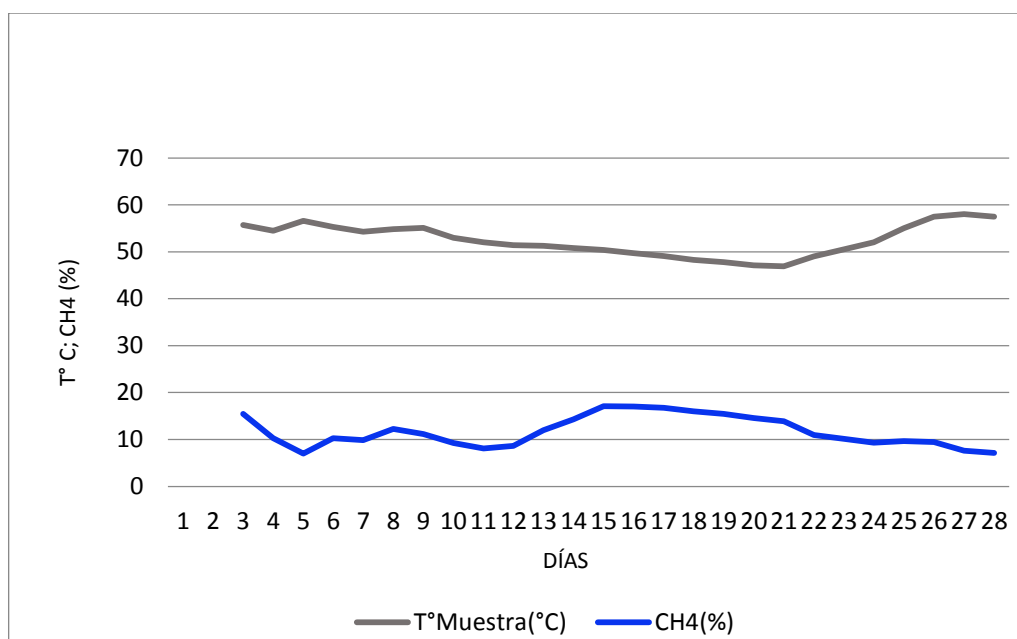


Figura 15. Relación % CH<sub>4</sub> y pH, segundo experimento realizado entre mayo y junio del 2018

Se observa en la figura 15 que el valor del pH ha ido incrementando desde un estado básico hasta encontrarse neutro el sexto día con 7,03, luego ha continuado aumentado su valor hasta 7,54 el día 22. El día 15 se obtuvo máxima producción de metano (17,124%) siendo 7,18 el pH de la muestra. El día 28 se registró un mínimo para el metano (7,1074%) siendo el pH de 7,08. En este experimento el pH ha sufrido fluctuaciones, no siempre ha sido creciente.



*Figura 16.* Relación entre % CH<sub>4</sub> promedio y temperatura de la muestra, segundo experimento realizado entre mayo y junio del 2018

Se observa en la figura 16 que el rango de temperatura varía desde 46,9°C a 58°C, se inició el registro de datos con 55°C con pequeñas fluctuaciones hasta el día 9 en que empieza a descender hasta 49,1°C (día 21), mientras tanto la producción de metano en ese lapso ha incrementado su valor hasta alcanzar un máximo de 17,124 % a los 50,4°C de temperatura y pH de 7,18 (día 15); y al incrementarse la temperatura en el biodigestor el porcentaje de metano comenzó a descender.

En la Tabla 15, se muestra el registro de datos del tercer experimento, llevado a cabo con muestras de lodos recolectados el 10/07/2018, inicio el del proceso de digestión anaerobia termofílica 10/07/2018, rango de temperatura en la incubadora 60°C-65°C.

Tabla 15

*Datos de temperatura (T°C) de la muestra, pH, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> del proceso de digestión anaerobia termofílica de lodos, tercer experimento*

Días	Fecha	Hora	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	T°incubadora
1	11/07/2018	14:25	28,4679	9,6741	57,2
2	12/07/2018	13:37	21,376	11,9898	59,2
3	13/07/2018	12:30	15,859	17,4479	60,4
4	14/07/2018	12:42	12,7813	6,5685	60,6
5	15/07/2018	09:33	10,8574	4,7796	59,7
6	16/07/2018	15:39	10,6461	5,1502	61
7	17/07/2018	11:00	10,05	4,7701	54
8	18/07/2018	11:35	9,6539	4,3902	47
9	19/07/2018	13:27	12,6379	4,5563	61,9
10	20/07/2018	13:44	12,1436	4,5527	62
11	21/07/2018	08:22	11,3434	4,483	62,4
12	22/07/2018	08:46	9,9911	4,4598	61,6
13	23/07/2018	14:51	8,7613	4,475	62,5
14	24/07/2018	15:25	8,8556	4,5383	64,6
15	25/07/2018	15:38	7,6709	4,4145	64,8
16	26/07/2018	14:01	6,7904	4,3515	64,1
17	27/07/2018	08:57	6	4,2098	62,6
18	28/07/2018	09:17	4,7362	3,9669	62,8
19	29/07/2018	09:00	4,0704	3,9616	62,8
20	30/07/2018	10:27	3,4047	3,9562	62,8
21	31/07/2018	09:48	3,3404	1,6211	63,2
22	01/08/2018	13:47	3,5019	3,5135	63,8
23	02/08/2018	12:08	3,7835	3,7431	63,5
24	03/08/2018	09:13	8,474	2,6827	61,5
25	04/08/2018	09:00	6,4604	2,9592	62,8
26	05/08/2018	09:00	5,4536	3,0974	63,5
27	06/08/2018	14:10	4,4468	3,2357	64,2
28	07/08/2018	12:20	6,522	1,9585	62
Máximo			28,4679	17,4479	64,8
Mínimo			3,3404	1,6211	47
Promedio			9,2171	4,9824	61
Desviación estándar			15,5181	5,4558	3,4
Coeficiente de variación			1,6836	1,0950	0,1



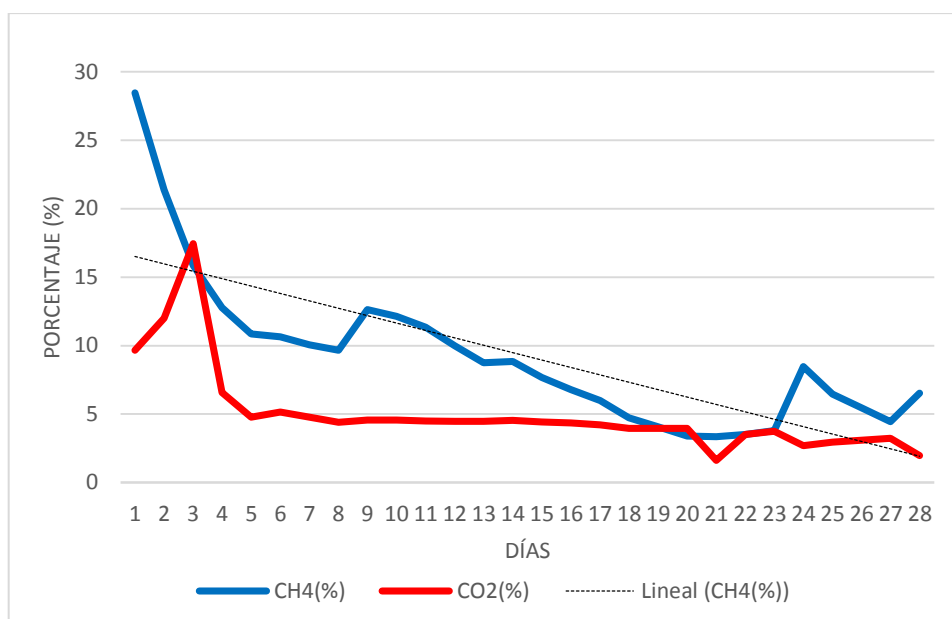
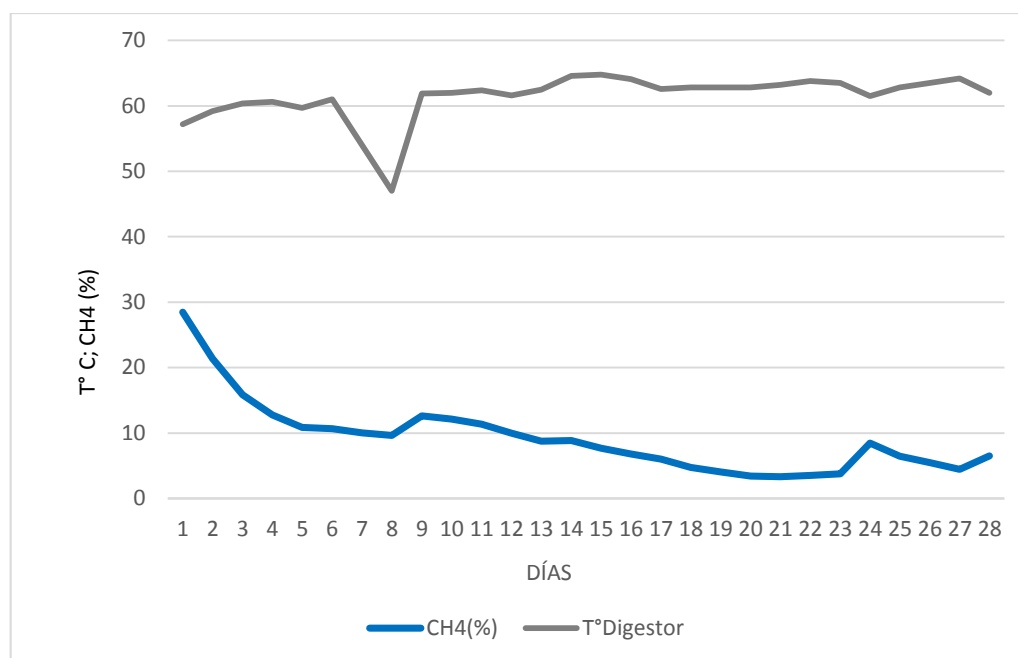


Figura 17. Relación entre % CH<sub>4</sub> y %CO<sub>2</sub>, tercer experimento realizado entre julio y agosto del 2018

Se observa en la figura 17 que el biogás producido al inicio del experimento contiene 28,4679 % CH<sub>4</sub> (valor máximo) que cae rápidamente hasta el quinto día a partir del cual disminuye muy lentamente, el noveno día se incrementa a 12,6379 % CH<sub>4</sub> pero nuevamente vuelve a disminuir hasta el día 20 (1,6211%), se mantiene constante hasta el día 23 donde se registra un pico de 8,474% luego vuelve a decrecer.

Respecto del %CO<sub>2</sub> se inicia con una lectura de 9,6741 % luego toma un valor máximo de 17,4479 % correspondiente al tercer día disminuye rápidamente y a partir del quinto día prácticamente se mantiene constante y menor que la cantidad de metano.



*Figura 18.* Relación entre % CH<sub>4</sub> y temperatura de la incubadora tercer experimento realizado entre julio y agosto del 2018

Se observa en la figura 18 que la temperatura desde el primer al quinto día se mantiene en el rango de 60°C a 65°C, entre el sexto y noveno día tiene una fluctuación y desde el noveno día se mantiene en el rango deseado; mientras tanto, la evolución del metano señala un valor de 12,6379 % al noveno día, valor que va disminuyendo hasta el día 24 en que se observa una fluctuación en el porcentaje de metano. La fluctuación de la temperatura en el experimento fue ocasionada por fallas en las fuentes de calor instaladas dentro del biodigestor.

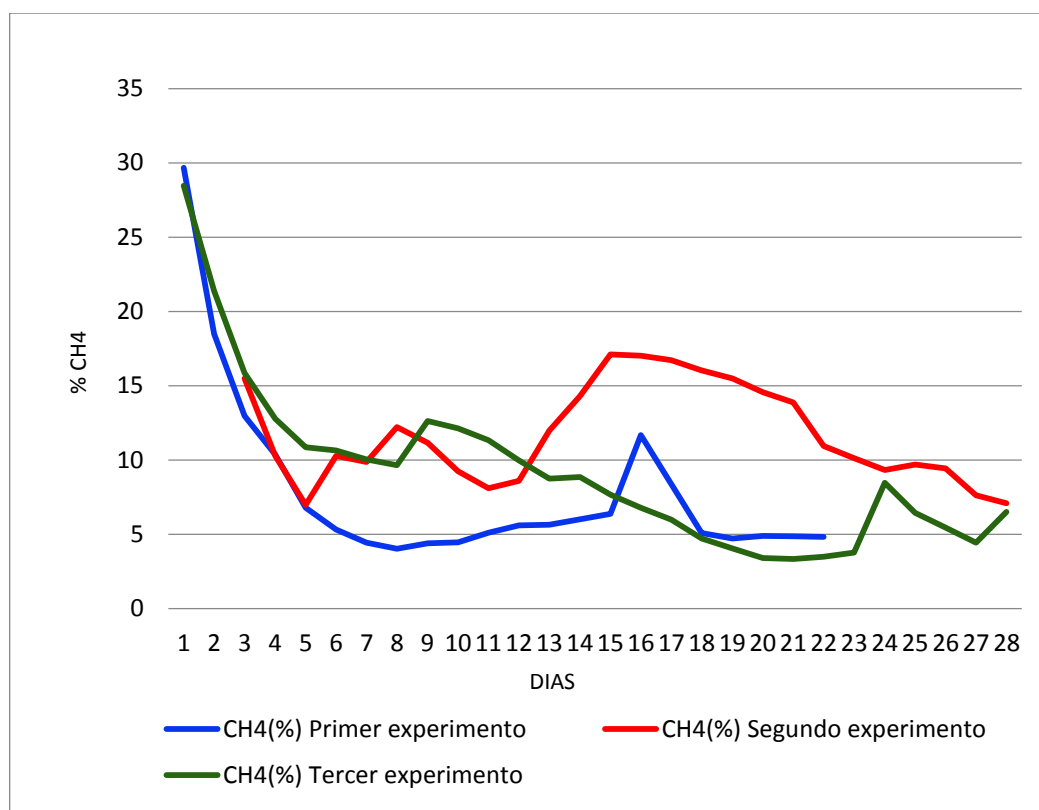


Figura 19. Comparación de % CH<sub>4</sub> obtenido en los tres experimentos

En la Figura 19 se observa que en los tres experimentos, los valores de porcentaje de metano por día difieren entre sí, en ninguno de los casos se ha alcanzado lo propuesto como hipótesis del trabajo, obtener un porcentaje de metano superior al 50% en un proceso anaerobio termofílico, a pesar de que, el rango de temperatura empleado debe optimizar el proceso según Varnero (2011) y lograr resultados en menor tiempo según Gutiérrez *et al.* (2012).

Sin embargo, la mejor producción de metano fue durante el primer experimento alcanzando un máximo de 29,6704 %CH<sub>4</sub> correspondiente al día primer día del proceso de digestión anaerobia para un rango de temperaturas de 55 a 60°C; el valor de 17,124%CH<sub>4</sub> del segundo experimento fue obtenido el día 15, para un rango de temperaturas de 55°C a 60°C y un pH de 7,18 cercano a la neutralidad, para producción óptima de metano tal como lo requiere Parra-Orobio *et al.* (2014); asimismo el valor de 28,467% CH<sub>4</sub> del tercer experimento es el máximo producido y corresponde al primer día de iniciado el proceso de digestión anaerobia; la evolución del metano en el proceso anaerobio termofílico del segundo experimento ha sido superior a los otros dos experimentos.

Para ver la relación entre las variables del proceso, se han analizado los datos usando el paquete InfoStat versión 2017, los resultados se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16

*Correlación de Spearman CH<sub>4</sub>(%) y CO<sub>2</sub> (%); regresión CH<sub>4</sub>(%) respecto al tiempo de retención (N° días); regresión %CH<sub>4</sub> y T° lodos; y regresión %CH<sub>4</sub> y pH de los experimentos realizados entre febrero y agosto del 2018*

	<b>Primer experimento</b>	<b>Segundo experimento</b>	<b>Tercer experimento</b>
Correlación de Spearman entre CH <sub>4</sub> (ppm) y CO <sub>2</sub> (ppm)			
<i>r</i>	0,54	0,29	0,87
<i>n</i>	1281	1410	1291
Regresión de %CH <sub>4</sub> y días: $y = a + bx$			
<i>a</i>	14,13	12,74	18,21
<i>b</i>	-0,57	-0,10	-0,68
R <sup>2</sup>	0,32	0,05	0,67
<i>p</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Regresión de %CH <sub>4</sub> y T°lodos: $y = a + bx$			
<i>a</i>	130,90	44,57	52,38
<i>b</i>	-2,21	-0,63	-0,69
R <sup>2</sup>	0,29	0,43	0,20
<i>p</i>	<0,0083	<0,0001	<0,0085
Regresión de %CH <sub>4</sub> y pH: $y = a + bx$			
<i>a</i>	193,57	19,17	---
<i>b</i>	-25,28	-1,10	---
R <sup>2</sup>	0,68	0,0019	---
<i>p</i>	<0,0001	<0,6032	---
Número de datos, n	22	24	28

El coeficiente, *r*, de Spearman indica la relación que existe entre la producción de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, así para el primer experimento indica que la asociación lineal (correlación) entre la producción de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> es regular (54%), para el segundo experimento es mala (30%) y para el tercer experimento es buena (87%) Martínez *et al.* (2009) en todos los experimentos el signo del coeficiente de Spearman es positivo lo que quiere decir que a medida que aumenta la producción de CH<sub>4</sub> debe aumentar el porcentaje de CO<sub>2</sub>.

La regresión de CH<sub>4</sub> y días:  $y = a + bx$ , donde *y* representa el porcentaje de CH<sub>4</sub> y *x* el número de días, indican que en los tres experimentos la producción del CH<sub>4</sub> va disminuyendo a medida que pasan los días puesto que *b* (pendiente de la recta que indica la evolución de la producción del CH<sub>4</sub>) es negativo, en el segundo

experimento este descenso es más lento puesto que  $b=-0,10$ , se puede corroborar con las figuras 11, 14 y 17 donde se muestra la línea de tendencia, aunque de acuerdo a los valores de  $R^2$  el ajuste no debe ser lineal.

Al determinar la regresión de  $CH_4$  y  $T^\circ$  de lodos:  $y = a + bx$ , donde  $y$  representa la producción de  $CH_4$  y  $x$  la temperatura de los lodos, se observa que la producción de metano disminuye a pesar de que la temperatura de los lodos tienden a mantenerse constante.

Al determinar la regresión de  $CH_4$  y pH:  $y = a + bx$ , donde  $y$  representa la producción de  $CH_4$  y  $x$  el pH de los lodos, indican que en los tres experimentos la producción del  $CH_4$  va disminuyendo a medida que aumenta el pH.

#### 4.2.1. Discusión

El máximo valor obtenido 29,6704 % $CH_4$  corresponde a un día de haber iniciado la digestión anaeróbica en el primer experimento. El valor de 17,124%  $CH_4$  corresponde al segundo experimento obtenido a los 16 días, y el máximo valor 28,4679 % $CH_4$  del tercer experimento corresponde a un día de digestión anaeróbica. El promedio obtenido en el primer experimento fue 7,92% $CH_4$ , en el segundo 11,68 % $CH_4$  y en el tercero fue de 9,22 % $CH_4$ ; se observa el mejor resultado en el segundo experimento, de manera similar a la Figura 14 se aprecia la evolución del metano hasta el día 21 en el rango termofílico de 55°C a 60°C.

El metano máximo registrado es menor a los expresados por Botero y Preston (1987) que considera un porcentaje de variación de 60 % a 70% mientras que Besel (2007) indica de 50 % a 70%, pero para Deublein y Steinhauser (2008) es 55 % a 70% de metano, mucho menor también que los obtenidos por Arévalo y Lituma (2010) quienes obtuvieron 67% de metano en el biogás producido con lodos en un proceso termofílico; mucho menor aún que Villafuerte (2014) quién determinó un 56.42% de metano producido por lodos sedimentados de la bahía interior de Puno en un proceso mesofílico (menor que 45°C).

Comparado con otro método de obtención de metano, el valor del metano máximo registrado en la presente investigación es menor que los obtenidos por Ferrer *et al.* (2011) mediante un proceso psicofílico (menor que 25°C) con digestores tubulares instalados a gran altura como Yanacocha ubicada a 3300 m.s.n.m.

región Cajamarca y Yanaoca ubicada a 3900 m.s.n.m. región Cusco con tiempo de retención hidráulica de 90 y 100 días, obtuvieron biogás con un porcentaje de metano de  $67 \pm 14$  y  $63 \pm 7$  respectivamente, utilizando estiércol de vaca con pH de 8,6 y 8,30.

#### 4.3. Calidad del bioabono generado mediante digestión anaerobia termofílica utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave – Puno

Finalizado el proceso de digestión anaerobia de los lodos residuales, el investigador, midió la temperatura, el pH, conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales disueltos (STD), se muestran en la tabla 17 junto con los datos iniciales para la respectiva comparación.

Tabla 17

*Datos de temperatura, pH, CE y STD de los lodos registrados por el investigador antes y después de someterlos al proceso de digestión*

Experimento	Temperatura de lodos (°C)		pH		CE (μS/cm)		STD (mg/L)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Primero	15,7	42,7	6,86	7,61	1192,7	5026,3	940,26	2513,93
Segundo	11,3	36,2	6,67	7,56	1379,7	4473,3	1088,36	2748,81
Tercero	9,3	56,4	7,01	7,78	1284,29	7674,8	1284,29	3778,17

La Tabla 17 muestra que al finalizar el experimento la temperatura de los lodos son superiores a 36°C, esto como consecuencia de haber sido sometidas al proceso de digestión anaerobia termofílica, los datos se registraron después de desconectar las incubadoras. El pH alcalino en los tres experimentos pero inferiores a 8, es un indicador que ha existido actividad microbológica puesto que inicialmente el pH se encontraba por debajo de 7 en los dos primeros experimentos y en el tercero se tenía 7,01. La conductividad eléctrica se ha incrementado en cuatro veces aproximadamente su valor inicial en los tres experimentos, se clasifican como suelo salino (Cañihua y Salcedo, 2016). Los sólidos totales disueltos también han sufrido un incremento de aproximadamente 2,5 veces su valor inicial, se visualiza en la figura 20.

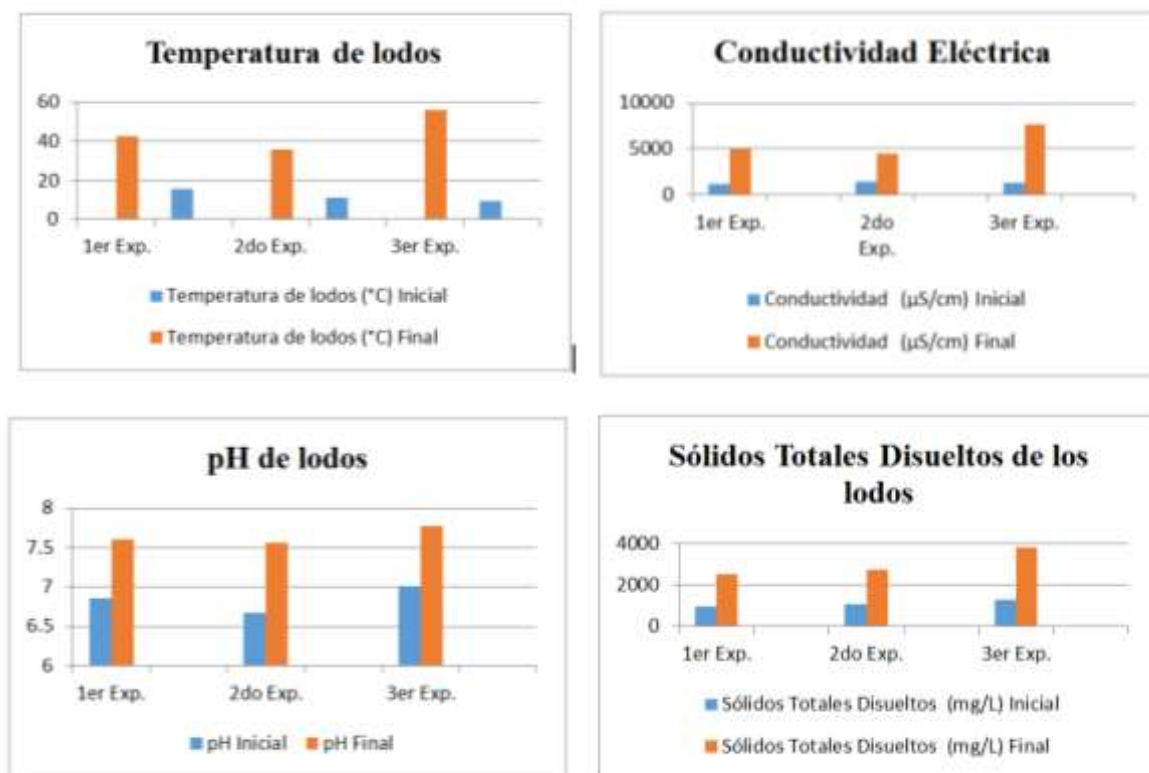


Figura 20. Resumen gráfico de temperatura, pH, CE y STD de lodos residuales

Los datos que se muestran en las tablas 18, 19 y 20, corresponden a la caracterización de lodos digeridos (bioabono), analizados en Laboratorios Analíticos del Sur (Anexo 1, 5 y 3 correspondientes al análisis físico, químico, microbiológico de los lodos residuales digeridos del primer, segundo y tercer experimento respectivamente). Para medir la calidad del biosólido, los datos de las muestras compuestas de los tres experimentos, se han comparado con la norma EPA 503, el Reglamento para el reaprovechamiento de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales N°015-2017-VIVIENDA del Ministerio de vivienda de Perú y los Estándares de calidad ambiental (ECA) del Suelo DS-N°011-2017-MINAM del Ministerio del Ambiente del Perú.

Tabla 18

*Análisis de nutrientes de lodos residuales digeridos de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave*

Componentes	Unidad	Vera-Reza et al. (2015)			Montes et al. (2004)			Experimento		
		T3	T4	T I	T I	Primer	Segundo	Tercer		
Fosforo (P)	mg/kg	3210,5	2684,2	122 ppm	3 814	3 724	2 753			
Potasio (K)	mg/kg	2,14	2,25	580 ppm	3 370	3 100	3 620			
Nitrógeno total (N)	%	1,45	1,33	0,37	1,9769	1,6138	1,6288			
Materia orgánica	%	21,70	17,48	7,32	38,94	35,2	40,9			
Humedad	%	----	----	----	88,647	83,955	94,34			
Carbono orgánico	%	12,587	10,14	4,25	22,587	20,4	23,7			
pH	upH	6,30	6,21-	6,72	7,65	7,12	8,19			
C/N		8,68	7,62	11,49	11,42	12,641	14,55			

T3: lodo residual + 50 lombrices + composta, T4: lodo residual + 50 lombrices + material vegetal fresca

T I: tratamiento I



#### 4.3.1. Características físico químicas del bioabono

Los resultados correspondientes a análisis de nutrientes, presentes en el bioabono, (Anexos, 1, 3 y 5) se muestran en la Tabla 18, se acompaña también datos de análisis finales de lodos obtenidos por Vera-Reza *et al.* (2015) y Montes *et al.* (2004).

El análisis de nutrientes en el biosólido muestra que la cantidad de fósforo (Tablas 10 y 19) se ha incrementado en el primer experimento, pero ha disminuido en el segundo y tercer experimento.

La cantidad de potasio ha tenido un decremento mínimo en el primer experimento, se ha incrementado en 101% en el segundo experimento y en el tercero se ha incrementado en un 12%.

El nitrógeno total registró una diferencia entre los datos iniciales (Tabla 10) y finales (Tabla 19) de 300%, 12% y 1% para el primer, segundo y tercer experimento respectivamente, un valor muy grande, en el primer experimento, que comparado con los valores finales de los tres experimentos permite afirmar que pudo haber un error en el análisis por parte del laboratorio del INIA (Anexo 7), en vista de que los resultados de los experimentos dos y tres, tanto iniciales como finales son muy parecidos.

En cuanto al carbono, ha sufrido un incremento, ocasionando que la relación carbono nitrógeno también se incremente en los tres experimentos 11,42; 12,647 y 14,55 respectivamente.

El pH determinado por los laboratorios ha registrado de 7,65 para el primero, 7,12 para el segundo y 8,19 para el tercer experimento que difieren de las lecturas efectuadas por el investigador de 7,61, 7,56 y 7,78 respectivamente.

Tabla 19

*Análisis microbiológico de lodos residuales digeridos de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave*

Componentes	Unidad	503 EPA			RM-024-2017-VIVIENDA			Experimento		
		Clase A	Clase B	Clase A y B	Clase A y B	Primer	Segundo	Tercer		
Coliformes fecales	NMP/g	$<10^3$	$< 2 \times 10^6$	$<10^3$	$<3$	$<3$	$<3$	$<3$	$<3$	
Salmonella ssp.	NMP/g	$<3/4$	----	$<1/10$	Ausencia	$<3$	$<3$	$<3$	$<3$	
Huevos de helmintos	HH/g	$<1/4$	----	$<1/4$	2	0	0	0	0	

#### 4.3.2. Características microbiológicas del bioabono

El análisis microbiológico del bioabono (Tabla 19), muestra en el segundo y tercer experimento que la presencia de coliformes fecales ( $<3$  NMP/g), salmonella ( $<3$  NMP/g) y huevos de helmintos (0 HHg/g) en el biosólido cumple con los requisitos para considerarse de clase A según las normas EPA 503, Resolución Ministerial N°024-2017-VIVIENDA, DS-N°011-2017-MINAM que faculta al bioabono ser utilizado con fines agrícolas; pero en el primer experimento se reporta la presencia de 2 huevos de helmintos por 4 gramos descalificando esta pretensión para los lodos digeridos, por tanto, se debe considerar al biosólido como clase B, que lo faculta para ser utilizado con restricciones sanitarias según la localización de los suelos y/o tipo de cultivo.

Tabla 20

*Análisis de presencia de metales en lodos residuales digeridos de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave*

Componentes	Unidad	503 EPA		RM-024-2017-VIVIEND A			DS-N°011-2017-MINAM			Experimento							
		Clase A	Clase B	Clase	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo comercial / Industrial/ Extractivo	Primer	Segundo	Tercer	Clase A y B	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo comercial / Industrial/ Extractivo	Primer	Segundo	Tercer
				A y B													
Arsénico	mg/kg	41	75	40	50	50	140	140	2,382	13,39	11,24						
Cadmio	mg/kg	39	85	40	1,4	10	22	22	7,1022	5,7297	6,7551						
Cromo	mg/kg	1200	3000	1200	---	400	1000	1000	21,725	19,508	25,658						
Mercurio	mg/kg	17	57	17	6,6	6,6	24	24	0,21790	<i>a</i> <0,041	0,23975						
Níquel	mg/kg	420	420	400	70	140	800	800	9,9809	10,392	11,057						
Plomo	mg/kg	300	840	400	70	140	800	800	30,50	22,42	18,40						
Selenio	mg/kg	36	100	---	---	---	---	---	<i>a</i> <0,2	<i>a</i> <0,2	<i>a</i> <0,2						
Zinc	mg/kg	2800	7500	2400	---	---	---	---	324,9	360	287,4						
Cobre	mg/kg	1500	4300	1500	---	---	---	---	78,29	89,27	89,99						
Molibdeno	mg/kg	---	75	---	---	---	---	---	<i>a</i> <0,038	1,7825	1,5386						

### 4.3.3. Metales pesados presentes en el bioabono

Los datos consignados en la Tabla 20 son el resultado del análisis de metales pesados presentes en los lodos digeridos, es decir en el bioabono o biosólido.

Se observa que los metales presentes en el biosólido a pesar de diferir considerablemente en cantidad para las diferentes muestras son mucho menores a las normas 503 EPA y RM-024-2017-VIVIENDA, por tanto se clasificarían como biosólido de clase A; sin embargo de acuerdo al DS-N°011-2017-MINAM el biosólido, solamente, podría utilizarse para Suelo residencial/ parque o suelo comercial/Industrial/extractivo mas no como suelo agrícola debido la presencia de cadmio (7,1022 mg/kg; 5,7297 mg/kg y 6,7551 mg/kg) en la muestra de lodos que son superiores a 1.4 mg/kg. Por tanto, se debe hacer otro tratamiento para eliminar o disminuir la presencia de cadmio en los lodos residuales que puede ser aumentando el pH o utilizando enmiendas que incrementen los iones de calcio tal como lo sugiere Herrera (2011).

### 4.3.4. Discusión

Respecto del conteo inicial de patógenos  $2,4 \times 10^3$ ,  $9,3 \times 10^6$  y  $2,4 \times 10^6$  NMP/g de coliformes fecales (Tabla 11) se han reducido todos a un número menor que 3 NMP/g (tabla 19) después de haber sido sometidos los lodos a 28 días de digestión anaerobia termofílica, mientras que Arévalo y Lituma (2010) reportaron coliformes totales 97,2 NMP/g y huevos de helmintos 2,4 HH/g, se redujeron los patógenos después de 39 días de digestión, sin embargo, no lograron eliminar los huevos de helmintos de manera similar a Terreros-Mecalco *et al.* (2009) que solamente logró reducir el 85 % de huevos de helmintos en su investigación anaerobia de dos fases; los resultados fueron favorables para Rubio *et al.* (2002), quienes bajo condiciones termofílicas (55°C) y tiempo de retención de 12 y 8 días lograron que de  $1,30 \times 10^5$  NMP/g se redujera a 345 NMP/g coliformes fecales, de manera similar a la investigación realizada se obtuvieron resultados por debajo de los límites máximos permisibles.

Respecto de los nutrientes, los valores obtenidos de nitrógeno, fósforo y potasio de los lodos residuales de la ciudad de Ilave son similares a los resultados obtenidos por Vera-Reza *et al.* (2015), para Montes *et al.* (2004) la diferencia está

en el contenido de nitrógeno 0,37%, aun así de acuerdo a su contenido de materia orgánica obtiene una relación C/N 11,49 superior al de Vera-Reza *et al.* (2015) superior también a la relación obtenida en el primer experimento pero menor que el segundo y tercero.

El análisis de nutrientes final de los lodos residuales, hace notar que la calidad de los lodos digeridos no es constante, esto porque sus condiciones iniciales también fueron diferentes, pues, estas variaciones ocurren entre otros factores debido a la época del año y las condiciones climáticas (Rodríguez, 2010).

En vista de que se propone asignar al biosólido la calidad de bioabono de clase A, procedamos a analizarlo como fertilizante del tipo abono compuesto (compuesto y de mezcla) por contener tres de los nutrientes básicos: nitrógeno, fósforo y potasio; puede contener también nutrientes secundarios (azufre, calcio, magnesio) y micronutrientes (metales: hierro, manganeso, zinc, cobre, molibdeno, níquel y no metales: boro y cloro) (Cañihua y Salcedo, 2016).

Tabla 21

*Presencia de nutrientes en el bioabono*

<b>Experimento</b>	<b>Nitrogeno (N)</b>	<b>Fósforo (P)</b>	<b>Potasio (K)</b>	<b>Fórmula del nutriente</b>
Primer	19769	3814	3370	5: 1: 1
Segundo	16138	3724	3100	4: 1: 1
Tercer	16288	2753	3620	6: 1: 1

La fórmula aproximada del nutriente del bioabono obtenido (que se refiere a las proporciones relativas de los nutrientes respectivos) de acuerdo al Programa de fertilizantes de la FAO (2002), que se muestra en la Tabla 21, difiere mucho de las fórmulas para el fertilizante compuesto complejo NPK que tiene entre otros las siguientes proporciones: 1-1-1, 1-2-1, 1-2-2, en ningún caso el nitrógeno es superior a 4, 5 o 6 veces la cantidad de fósforo y potasio. Aun considerando que, el requerimiento de nutrientes y la respuesta al bioabono utilizado como fertilizante es diferente para las distintas variedades de cultivos (FAO, 2002), para ser utilizado el biosólido con fines agrícolas, necesariamente deberán añadirse

complementos fertilizantes simples de acuerdo a las características del lodo y tomando en cuenta el cultivo a realizar, además de considerar el tiempo de aplicación tal como lo mencionan Durazno y Díaz (2009).

En la tabla 20, el análisis de metales presentes en los lodos digeridos muestra valores que están por debajo de los límites máximos permisibles a excepción del cadmio 7,1022 mg/kg, 5,7297 mg/kg y 6,7551 mg/kg que está por encima de 1.4 mg/kg según DS-N°011-2017-MINAM, de forma análoga al análisis de metales pesados en Montes *et al.* (2004) que registra 5,2 mg/kg de cadmio también superior a la norma peruana.

## CONCLUSIONES

- Los lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave inicialmente contienen patógenos que sobrepasan los límites máximos permisibles según EPA 503, RM-024-2017-VIVIENDA; el contenido de metales pesados es inferior a lo permitido por las normas EPA 503, RM-024-2017-VIVIENDA, excepto el cadmio que supera a la norma DS-N°011-2017-MINAM; y de acuerdo al contenido de nutrientes se obtuvieron relaciones C/N de 1,984; 12,175 y 12,641 para el primer, segundo y tercer experimento respectivamente, los valores del segundo y tercer experimento garantizan la producción de metano.
- La cantidad del biogás obtenido mediante digestión anaerobia termofílica utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave-Puno, registró un valor promedio de 11,68 %CH<sub>4</sub> para un rango termofílico de 55°C a 60°C y pH 7,15. El porcentaje de metano obtenido, en el biogás, no fue superior al 50% propuesto en la hipótesis, esta baja producción de metano se debe al alto contenido de nitrógeno en los lodos.
- La calidad del bioabono generado mediante digestión anaerobia termofílica utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave-Puno fue clasificado como bioabono de clase B por la presencia de huevos de helmintos (en el primer experimento) de acuerdo a las normas EPA 503, RM-024-2017-VIVIENDA y la existencia de cadmio en los lodos (en los tres experimentos) de acuerdo a la norma DS-N°011-2017-MINAM por encima de los límites máximos permisibles, viabilizando su uso como abono orgánico para fines residenciales/parques o comerciales/ industriales solamente pero no para ser usado como abono en suelos agrícolas.



### RECOMENDACIONES

- Se recomienda registrar datos de producción de metano en el rango termofílico, desde el primer día de implementado el proceso, cada tres, seis u ocho horas, lo ideal sería automatizar el proceso de digestión anaerobia.
- Para obtener biogás con mayor porcentaje de metano se recomienda realizar más experimentos pero considerando la codigestión.
- La presencia de cadmio presente en los lodos residuales, por encima de lo permitido por la norma peruana, permite recomendar que se investiguen alternativas de reducción de cadmio.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Apaza, S. (2017a). *Plan de desarrollo urbano sostenible de Ilave 2017 - 2030*. Ilave, Puno: Municipalidad Provincial del Collao - Ilave, Puno, Perú.
- Apaza, S. (2017b). *Plan local de seguridad ciudadana del distrito de Ilave 2017*. Provincia El Collao, Ilave, Puno, Perú. Obtenido el 25 de agosto, 2018. Recuperado de [https://www.municollao.gob.pe/images/documentos/2017/PLAN\\_LOCAL\\_DE\\_SEGURIDAD\\_CIUDADANA\\_2017.pdf](https://www.municollao.gob.pe/images/documentos/2017/PLAN_LOCAL_DE_SEGURIDAD_CIUDADANA_2017.pdf)
- Arévalo, P., & Lituma, P. (2010). Digestión de lodos residuales de las lagunas de oxidación de Ucubamba, Cuenca. *La Granja. Revista de Ciencias de La Vida*, 11(1), 31–35.
- Barrios, C. (2009). El cambio climático en la contextualización de los proyectos de desarrollo. *DELOS Revista Desarrollo Local Sostenible*, 2(5), 1–20.
- Bedoya-Urrego, K., Acevedo-Ruiz, J. M., Peláez-Jaramillo, C. A., & Agudelo-López, S. del P. (2013). Caracterización de biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando , Itagüí ( Antioquia , Colombia ). *Revista de Salud Pública*, 15(5), 778–790.
- Bertomeu, J. (2014). PH-metros y otros instrumentos de medida electroquímica. *Abriendo Las Cajas Negras: Colección de Instrumentos Científicos de La Universitat de València*, 1–4. Extraído el 20 Octubre, 2018. Recuperado de, [www.uv.es/bertomeu/material/museo/instru/pdf/10.pdf](http://www.uv.es/bertomeu/material/museo/instru/pdf/10.pdf)
- Besel, S. A. (Departamento de E. (2007). *Biomasa: Digestores anaerobios*. Madrid, España: IDAE Instituto para la diversificación y ahorro de la Energía.
- Botero, R., & Preston, T. R. . (1987). *Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización*. Cali, Colombia.
- Cañihua, J., & Salcedo, S. M. (2016). *Nutrición y fertilidad de suelos*. (INIA, Ed.). Salcedo, Puno, Perú: Programa Presupuestal 089: Reducción a la Degradación de los Suelos Agrarios.

- Cárdenas-Cleves, L. M., Parra-Orobio, B. A., Torres-Lozada, P., & Vásquez-Franco, C. H. (2016). Perspectivas del ensayo de Potencial Bioquímico de Metano - PBM para el control del proceso de digestión anaerobia de residuos. *Rev.ion.*, 29(1), 95–108. Recuperado de <https://doi.org/10.18273/revion.v29n1-2016008>
- CEIC. (2011). *Estudio básico del biogás*. España: Agencia andaluza de la energía.
- Cepero, L., Savran, V., Blanco, D., Díaz, M. R., Suárez, J., & Palacios, A. (2012). Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. *Pastos Y Forrajes*, 35(2), 219–226.
- Colomer, F. J., Gallardo, A., Robles, F., Bovea, M. D., & Herrera, L. (2010). Opciones de valorización de lodos de distintas estaciones depuradoras de aguas residuales. *Ingeniería*, 14(3), 177–190.
- Decreto Supremo N°015-2017-VIVIENDA, Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, Diario Oficial El Peruano, 22 de junio del 2017.
- Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad ambiental (ECA) para suelo, Diario Oficial El Peruano, 2 de diciembre del 2017.
- Deublein, D., & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from Waste and Renewable Resources*. doi: 10.1002/9783527632794
- Durazno, G., & Díaz, J. (2009). *Modelo de gestión para el manejo del sistema de extracción, deshidratación y disposición final de lodos de lagunas de estabilización*. (Tesis de maestría). Universidad del Azuay, Ecuador.
- Esteban, M. (2014). *Co-digestión anaerobia de lodo de EDAR con residuos orgánicos de diferente naturaleza: combinación de técnicas experimentales y herramientas matemáticas*. (Tesis doctoral). Tecnun Universidad de Navarra, España.
- FAO. (2002). *Los fertilizantes y su uso: una guía de bolsillo para los oficiales de extensión*. Somalia: Water and Land Information.
- Ferrer, I., Garfí, M., Uggetti, E., Ferrer-Martí, L., Calderon, A., & Velo, E. (2011). Biogas production in low-cost household digesters at the Peruvian Andes. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 1668–1674.

- Flotats, X., Campos, E., & Bonmatí, A. (1997). Aprovechamiento energético de residuos ganaderos. *3r Curs d'Enginyeria Ambiental Aprofitament energètic de residus orgànics*. Lleida, 27-29 octubre 1997.
- Forget, A. (2011). *Manual de diseño y de difusión de biodigestores familiares, con enfoque en biodigestores tubulares*. Recuperado de <http://www.astridforget.com/wp-content/uploads/2015/01/Manual-%C3%A9cnico-y-difusi%C3%B3n-AF-biodigestores-VF-110617.pdf>
- Forster-Carneiro, T., Riaú, V., Pérez, M., & De La Rubia, M. A. (2008). Puesta a punto de técnicas microbiológicas para la determinación de biosólidos clase A y B en lodos de EDAR. *Tecnología Del Agua*, 28(300), 38–46.
- Friehe, J., Weiland, P., & Schattauer, A. (2010). Fundamentos de la digestión anaeróbica. In F. N. R. e. V. (FNR) (Ed.), *Guía sobre el biogás desde la producción hasta el uso*. Gülzow, Alemania: FNR, Abt. Öffentlichkeitsarbeit.
- García, K., & Pérez, M. (2010). Codigestion de estiércol vacuno y lodos de depuradora: influencia de las condiciones de temperatura. *Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente*, 14, 111–115.
- González, E., Tornero, M. A., Ángeles, Y., & Bonilla, N. (2009). Concentración total y especiación de metales pesados en biosólidos de origen urbano. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 25(1), 15–22.
- Gutiérrez, G. de J., Moncada, I., Meza, M. M., Félix, A., Balderas, J. de J., & Gortáres, P. (2012). Biogás: una alternativa ecológica para la producción de energía. *[Ide@s CONCYTEG 7*, 7(85), 881–894.
- Hernández, A. (1992). *Depuración de aguas residuales*. Madrid, España: Paraninfo S.A.
- Herrera, T. (2011). La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. *Venesuelos*, 8(1 y 2), 42–47.
- Horn, M. (2009). Matriz energética en el Perú y contribución de las energías renovables Aprovechamiento descentralizado de fuentes renovables de energía. *Friedrich Ebert Stiftung*, 13.

- Mamani, Y. (2017). *Evaluación de la operatividad y rediseño de la laguna de estabilización del distrito de Ilave, provincia del Collao*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Mancillas-Salas, S., Rodríguez-de la Garza, J. A., & Ríos-González, L. (2012). Bioestimulación de la digestión anaerobia. *Revista Científica de La Universidad Autónoma de Coahuila*, 4(8), 56–62.
- Martí, N. (2006). Phosphorus precipitation in anaerobic digestion process. In Universal-Publishers (Ed.), *Dissertation.com* (p. 25).
- Martínez, R. M., Tuya, L. C., Martínez, M., Pérez, A., & Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman. Caracterización. *Rev Haban Cienc Méd La Habana*, VIII(2).
- McKean, S. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal Una guía teórica y práctica de metodologías. *Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT*. Recuperado de <https://doi.org/10.1163/15733823-00192P02>
- Montes, G., Jiménez, H., & Solís, S. (2004). Lodos residuales compostados; una alternativa de sustrato para la producción de planta de Agave durangensis. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 10(1), 21–24.
- Oakley, S. (2005). Lagunas de estabilización en Honduras. Manual de diseño, operación y mantenimiento , monitoreo y sostenibilidad de lagunas de estabilización en Honduras.
- PanReac, Applichem, & Chimica, N. (2011). Determinación De Nitrógeno Por El Método Kjeldahl. *PanReac Applichem ITW Reagents*. Barcelona, España. Recuperado de [http://www.uv.es/gidprl/practica\\_Kjeldahl/index.html](http://www.uv.es/gidprl/practica_Kjeldahl/index.html)
- Parra-Orobio, B. A., Torres-Lozada, P., Marmolejo-Rebellón, L. F., Cárdenas-Cleves, L. M., Vásquez-Franco, C., Torres-López, W. A., & Ordóñez-Andrade, J. A. (2014). Influencia del pH sobre la digestión anaerobia de biorresiduos de origen municipal. *Rev., U. D. C. A. Act & Div. Cient.*, 17(2), 553–562.
- Programa SIGAR. (2014). *Diagnóstico y categorización de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en el anillo circunlacustre del lago Titicaca*. La Paz, Bolivia.

- Ramírez, R., & Pérez, M. I. (2006). Evaluación del potencial de los biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo de rabano rojo (*Raphanus sativus* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 59(2), 3543–3556.
- Resolución Ministerial N°093-2018-VIVIENDA, Protocolo de Monitoreo de Biosólidos Lima, Perú, 13 de marzo del 2018.
- Riau, V., De la Rubia, M. A., Forster-carneiro, T., & Pérez, M. (2007). Comparación entre la digestión anaerobia mesofílica y termofílica de lodos de depuradora. *II congreso Internacional Smallwart: Tratamiento de aguas residuales en pequeñas colectividades*. Universidad de Cádiz, España.
- Rincón, M., Rincón, N., Araujo, I., Díaz, A., & Mata, J. (2010). Estabilización anaerobia mesofílica y termofílica de lodos activados provenientes de la industria cervecera. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 20(1), 5–21.
- Robles-Gil, S. (2001). Información climatológica para la aplicación de la energía de la biomasa. La Paz, B.C.S. México: Comisión de climatología/Organización Meteorológica Mundial.
- Rodríguez, J. A. (2010). *Estudio comparativo de diferentes tecnologías de higienización de lodos de depuradora con fines para su reutilización*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Rodríguez, L. A. (2014). *Viabilidad técnica para producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos-FORSU*. (Título de especialista en Gestión de Residuos Sólidos). Universidad EAN, Bogotá, Colombia.
- Rubio, L. A., Orozco, S., Nathali, C., & Noyola, A. (2002). Estabilización de lodos de desecho por digestión anaerobia termofílica. *Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales*, 1–13.
- Sosa, R., Chao, R., & del Rio, J. (1999). Aspectos Bioquímicos y tecnológicos del tratamiento de residuales agrícolas con producción de biogás. *Revista Computarizada de Producción Porcina*, 6(2), 5–19.

- Strande, L., Ronteltap, M., & Brdjanovic, D. (2014). *Manejo de Lodos Fecales*. Londres: IWA Publishing.
- Terreros-Mecalco, J., Olmos-Dichara, A., Noyola-Robles, A., Ramírez-Vives, F., & Monroy-Hermosillo, O. (2009). Digestión anaerobia de lodo primario y secundario en dos reactores UASB en serie. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 8(2), 153–161. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62011384001>
- USEPA. (1994). EPA A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule Excellence in compliance through optimal technical solutions. *Epa-832/R-93/003*, (September).
- Utria, E., Reynaldo, I., Cabrera, A., Morales, D., Morúa, A., & Álvarez, N. (2006). Caracterización de los biosólidos de aguas residuales de la estación depuradora de aguas residuales “Quibú.” *Cultivos Tropicales*, 27(3), 83–87. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215825013%0ACómo>
- Varnero, M. T. (2011). *Manual del biogás*. Santiago de Chile, Chile: P. CHI/00/G32, Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables.
- Vásquez, G. (2016, October). Puno, Cultura y Desarrollo llave en la Historia. *Diario Los Andes*. Notas sobre Trayectoria Histórica de llave. Recuperado de <http://punoculturaydesarrollo.blogspot.com/2016/10/llave-en-la-historia.html>
- Vera-Reza, A. M., Sánchez-Salinas, E., Ortiz-Hernández, M. L., Peña-Camacho, J. L., & Ortega-Silva, M. M. (2015). Estabilización de lodos residuales municipales por medio de la técnica de lombricompostaje. *ResearchGate*. México.
- Villafuerte, N. (2014). *Digestión anaerobia de los lodos sedimentados en la bahía interior de Puno-Lago Titicaca, para la obtención de biogás y biosólido estable*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Wang, T., Kang, D. H., Yu, Y. J., Gu, J. H., & Yang, L. R. (2012). Determination of macro and trace elements in rare earth magnesium cast iron by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Yejin Fenxi/Metallurgical Analysis*, 32(5), 66–69.



**ANEXOS**



**Anexo I.** Análisis físico, químico, microbiológico de los lodos residuales digeridos (Primer experimento) de las lagunas de estabilización de aguas servidas – ciudad de Ilave, efectuado en Laboratorio Analíticos del Sur.



## Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

### INFORME DE ENSAYO LAS-18-01794

Pág: 1/5

#### Hoja de Datos

Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Dirección: AV. EL EJERCITO NRO 329 BARRIO SANTA ROSA PUNO - PUNO - PUNO  
 Atención: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Proyecto: Evaluación y comparación de la calidad del biocombustible gaseoso y biofertilizante obtenidos por digestión anaerobia termofílica de los lodos residuales de las lagunas de estabilización secundaria de aguas servidas - Región de Puno

Producto(s) Declarado(s): Sedimentos  
 Nro de muestras: 3  
 Muestreo a cargo de(s): Dr. Angel Canales Gutierrez  
 Registro de muestreo: 008-18  
 Fecha de recepción: 21/03/2018  
 Fecha de ensayo: 21/03/2018  
 Fecha de emisión: 03/04/2018  
 Condiciones de recepción de la muestra: ADECUADAS  
 Observaciones: ----

#### Método de ensayo aplicado

- \*7002 EPA 200.7 Determinación de Arsénico en Suelos y Sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7020 Recuento Huevos y larvas de Helmintos patógenos.
- \*7022 EPA 200.7 Determinación de Mercurio en Suelos y sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7023 Determinación de pH 1.2 potenciométrica en suelos
- \*7070 Numeración de Coliformes Fecal. ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en sedimentos
- \*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C
- \*7114 Detección de Salmonella. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part -8250 B(item1,2d,3,4,5,7,8),22nd Ed. Detección de Patógenos Bacterias Salmonella en sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD18000023	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACIÓN ILAVE	19L ILAVE / EL COLLAD / PUNO	8222.796N , 133.096E ; 8222.846N, 133.016E; 8222.852N, 133.112E ; 8222.800N, 133.190E	20/03/18	12:00 p.m.
SD18000024	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACIÓN SECUNDARIA PUNO	19L PUNO / PUNO / PUNO	8246.702N , 392.673E ; 8246.953N, 392.592E; 8246.910N, 392.786E ; 8247.030N, 392.637E	20/03/18	12:05 p.m.
SD18000025	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACIÓN SECUNDARIA JULIACA	19L / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	8286432N , 382010E ; 8286370N, 382096E; 8286327N, 382034E ; 8286302N, 381990E	20/03/18	12:10 p.m.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 Omar A. Juárez Soto  
 Gerente de Operaciones  
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114425

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 1703



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-01794

Hoja de resultados

03/04/2018

Pág.: 2/5

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7003	*7002	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003
		Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD18000023	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	<0.24	> 10 000	2.362	25.20	212.17	<0.0079	> 10 000	7.1022	7.92711	21.725	78.27	> 10 000
SD18000024	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA PUNO	42.99	> 10 000	16.87	43.63	377.17	<0.0079	> 10 000	8.4096	5.91899	26.099	205.0	> 10 000
SD18000025	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA JULIACA	4.743	> 10 000	20.12	34.59	336.28	0.027416	> 10 000	6.4020	8.59835	44.249	121.1	> 10 000

*(Signature)*  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

\*"Valor numérico" = Límite de detección del método, "Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 1685



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-01794

Hoja de resultados

03/04/2018

Pág.: 3/5

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7022	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003
		Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD18000023	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	0,21790	3 370	21,853	7 681	252,48	**0,038	174	9,9809	3 814	30,50	**0,049	**0,2
SD18000024	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA PUNO	1,7786	3 320	26,286	8 395	419,48	6,0247	385	10,937	6 721	56,75	1,1340	**0,2
SD18000025	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA JULIACA	18,363	4 520	16,901	3 981	313,74	**0,038	214	14,441	6 186	53,90	0,50629	**0,2

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 1686



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-01794

Hoja de resultados

03/04/2018

Pág.: 4/5

MT=metales totales

Código interno	Nombre de Muestra	*7003	*7002	*7001	*7003	*7003	*7003	*7005	*7006	*7023		*7037
		Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn	N	MO	pH	Temp De Lect	H2O
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	g/Kg	%			
SD18000023	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	<0,085	106,2	611,30	<0,13	51,644	324,9	19,709	38,94	7,85	16,7	88,647
SD18000024	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA PUNO	4,9272	252,4	472,53	<0,13	51,342	885,2	42,212	68,53	7,50	16,3	94,674
SD18000025	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA JULIACA	1,5567	222,5	547,07	<0,13	46,957	795,0	29,855	58,32	7,71	17,2	84,328

*[Signature]*  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 Nº 1687



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-01794

Hoja de resultados

03/04/2018

Pág.: 5/5

Código Interno	Nombre de Muestra	17114	17020	17070
		Salmonella Pres. o Aus./g	Helminfos y Parásitos N°/g	Coliforme Fecal NMP/g
SD18000023	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	Ausencia	2	<3
SD18000024	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA PUNO	Ausencia	6	360
SD18000025	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA JULIACA	Ausencia	2	46x10 <sup>4</sup>

*José A. Ortiz Condon*  
 Josa A. Ortiz Condon  
 Microbiología  
 Biólogo C.B.P. 13052

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 Nº 1688

**Anexo 2.** Análisis inicial físico, químico, microbiológico de los lodos residuales (Segundo experimento) de las lagunas de estabilización de aguas servidas – ciudad de Ilave, efectuado en Laboratorio Analíticos del Sur.



## Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

### INFORME DE ENSAYO LAS-18-03186

Pág: 1/5

#### Hoja de Datos

Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Dirección: AV. EL EJERCITO NRO 329 BARRIO SANTA ROSA PUNO - PUNO - PUNO  
 Atención: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Proyecto: Evaluación y comparación de la calidad del biocombustible gaseoso y biofertilizante obtenidos por digestión anaerobia fermentica de los lodos residuales de las lagunas de estabilización secundaria de aguas servidas - Región de Puno

Producto(s) Declarado(s): Sedimentos Lodos Residuales  
 Nro de muestras: 3  
 Muestreo a cargo de(s): Dr. Angel Canales Gutierrez  
 Registro de muestreo: 013-18  
 Fecha de recepción: 26/05/2018  
 Fecha de ensayo: 26/05/2018  
 Fecha de emisión: 06/06/2018  
 Condiciones de recepción de la muestra: ADECUADAS  
 Observaciones: -----

#### Método de ensayo aplicado

- \*7002 EPA 200.7 Determinación de Arsénico en Suelos y Sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7020 Recuento Huevos y larvas de Helmintos patógenos.
- \*7021 Método de Ensayo para Carbono Orgánico Total como Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7022 EPA 200.7 Determinación de Mercurio en Suelos y sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7023 Determinación de pH 1.2 potenciométrica en suelos
- \*7070 Numeración de Coliformes Fecales. ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en sedimentos
- \*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C
- \*7114 Detección de Salmonela: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part -9250 B(Items 1,2,d,3,4,6,7,8),22nd Ed. Detección of Pathogenic Bacteria Salmonella en sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD18000036	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	19L / ILAVE / EL COLLADO / PUNO	8222,796N , 433,096E ; 8222,848N, 433,016E; 8222,802N, 433,112E ; 8222,800N, 433,190E	25/05/18	06:50 a.m.
SD18000037	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA PUNO	19L / PUNO / PUNO / PUNO	8246,702N , 392,673E ; 8246,953N, 392,592E; 8246,916N, 392,786E ; 8247,038N, 392,637E	25/05/18	06:00 a.m.
SD18000038	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA JULIACA	19L / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	8288432N , 382010E ; 8288370N, 382096E; 8288327N, 382034E ; 8288392N, 381990E	25/05/18	05:30 a.m.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 Omar A. Juárez Soto  
 Gerente de Operaciones  
 M. Sc. Ingeniero Químico CP 114426

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 1704



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Rio Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-03186

Hoja de resultados

06/06/2018

Pág.: 2/5

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7001	*7003	*7002	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003
		Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD18000036	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	**0,24	5 520	16,4	10,11	175,71	0,054317	> 10 000	3,3729	4,9174	11,078	67,4	> 10 000
SD18000037	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA PUNO	6,673	5 800	28,59	35,98	269,34	0,053983	> 10 000	4,8583	5,76184	11,015	130,2	> 10 000
SD18000038	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA JULIACA	3,330	7 210	44,67	19,32	272,1	0,09149	> 10 000	4,9558	4,77874	34,11	145	> 10 000

*[Signature]*  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 1705



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-03186

Hoja de resultados

06/06/2018

Pág.: 3/5

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7022	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003
		Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD18000036	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	≈0,041	1 540	9,6106	5 204	294,37	2,6694	172	0,56228	4 786	33,62	0,90773	≈0,2
SD18000037	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA PUNO	1,4923	1360	15,597	6608	864,97	3,6929	1750	0,68162	8812	64,39	2,2553	≈0,2
SD18000038	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA JULIACA	27,898	1720	8,575	3055	362,63	3,0416	212	0,94836	8749	71,51	2,532	≈0,2

*[Firma]*  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 1706





# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-03186

Hoja de resultados

06/06/2018

Pág.: 4/5

MT=metales totales

Codigo Interno #	Nombre de Muestra	'7003	'7003	'7003	'7003	'7003	'7003	'7005	'7016	'7021	'7023		'7097
		Sn	Sr	Ti	Ti	V	Zn	N	MO	CO/MO	pH	Temp. De Lect.	H2O
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	%	%	En pulpa	C	%
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	g/Kg					
SD18000036	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	2,4918	105,7	116,54	<0,13	27,322	462,0	14,39	30,2	17,52	7,06	21,4	86,96
SD18000037	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA PUNO	5,4813	301,7	88,254	<0,13	34,348	706,7	23,86	37,9	21,98	7,30	1,4	80,43
SD18000038	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA JULIACA	7,7379	239,6	48,216	<0,13	27,315	1 255	24,66	39,4	22,85	6,92	21,1	74,54

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114428

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 1707



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-03186

Hoja de resultados

06/06/2018

Pág.: 5/5

Codigo Interno #	Nombre de Muestra	*7114	*7020	*7070
		Salmonella Pres. o Aus./g	Helminfos y Parasitos N°/g	Coliforme Facal NMP/g
SD18000036	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	Ausencia	3	93x10 <sup>6</sup>
SD18000037	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA PUNO	Ausencia	3	24x10 <sup>6</sup>
SD18000038	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGUNA DE OXIDACION SECUNDARIA JULIACA	Ausencia	1	26x10 <sup>6</sup>

*[Handwritten Signature]*  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Jose A. Ortiz Condica  
Microbiología  
B.Olego C.B.P. 13052

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 1708

**Anexo 3.** Análisis físico, químico, microbiológico de los lodos residuales digeridos (Tercer experimento) de las lagunas de estabilización de aguas servidas – ciudad de Ilave, efectuado en Laboratorio Analíticos del Sur.



## Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

### INFORME DE ENSAYO LAS-18-05809

Pág: 1/6

#### Hoja de Datos

Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Dirección: AV. EL EJERCITO NRO 328 BARRIO SANTA ROSA PUNO - PUNO - PUNO  
 Atención: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Proyecto: *Evaluación y comparación de la calidad del biocombustible gaseoso y biofertilizante obtenidos por digestión anaerobia térmica de los lodos residuales de las lagunas de estabilización secundaria de aguas servidas - Región de Puno.*

Producto(s) Declarado(s): Sedimentos Lodos Residuales  
 Nro de muestras: 1  
 Muestreo a cargo de(): Dr. Angel Canales Gutierrez  
 Registro de muestreo: 027-18  
 Fecha de recepción: 16/08/2018  
 Fecha de ensayo: 16/08/2018  
 Fecha de emisión: 07/09/2018  
 Condiciones de recepción de la muestra: ADECUADAS  
 Observaciones: —

#### Método de ensayo aplicado

- \*7002 EPA 200.7 Determinación de Arsénico en Suelos y Sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7022 EPA 200.7 Determinación de Mercurio en Suelos y sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7004 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7021 Método de Ensayo para Carbono Orgánico Total como Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7023 Determinación de pH 1:2 potenciométrica en suelos
- \*7007 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C
- \*7114 Detección de Salmonella: SNEWY-APHA-AWWA-WEF. Part. 0205 B(0dem1,24,3,4,5,7,8),22nd Ed. Detección of Pathogenic Bacteria Salmonella en sedimentos
- \*7020 Recuento Huevos y larvas de Helminthos patógenos.
- \*7070 Numeración de Coliformos Fecal. ISO 4831:2005. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD18000074	MUESTRA COMPUESTA FINAL DE LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	19L / ILAVE / EL CALLAO / PUNO	8222,796 N,433,096 E; 8222,846N, 433,016 E; 8222,852 N,433,112 E; 8222,800 N, 433,190E	16/08/18	05:40 p.m.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 Omar A. Juárez Soto  
 Gerente de Operaciones  
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4846



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-05809

Hoja de resultados

07/09/2018

Pág.: 2/6

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003 Ag	*7003 Al	*7002 As	*7003 B	*7003 Ba	*7003 Be	*7003 Ca	*7003 Cd	*7003 Co	*7003 Cr	*7003 Cu
		MT mg/Kg	MT mg/Kg	MT mg/Kg	MT mg/Kg	MT mg/Kg	MT mg/Kg	MT mg/Kg	MT mg/Kg	MT mg/Kg	MT mg/Kg	MT mg/Kg
SD18000074	MUESTRA COMPUESTA FINAL DE Lodos Residuales de la Laguna de Oxidación Ilave	≤0,24	> 10 000	11,24	29,42	209,82	≤0,0079	> 10 000	6,7551	6,21581	25,858	89,99

*(Handwritten Signature)*  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4847



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-05809

Hoja de resultados

07/09/2018

Pág.: 3/6

MT=metales totales

Codigo Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7022	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003
		Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD18000074	MUESTRA COMPUESTA FINAL DE LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	> 10 000	0,23925	3 620	24,481	6 710	180,07	1,5386	191	11,057	2 753	18,40

Laboratorios Analíticos del Sur S.R.L.  
Omar A. Juarez  
Gerente General  
A. B. Ingeniero Químico - 144582

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4848



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-05809

Hoja de resultados

07/09/2018

Pág.: 4/6

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003
		Sb	Se	Sn	Sr	Tl	Tl	V	Zn
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
SO18000074	MUESTRA COMUESTA FINAL DE LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	0,19934	<0,2	0,13266	88,82	339,20	<0,13	34,326	287,4

Laboratorios Analíticos del Sur S.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente General  
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4849



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-05809

Hoja de resultados

07/09/2018

Pág.: 5/6

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7005	*7006	*7021	*7023		*7097
		N mg/Kg	MO %	CO/MO %	pH En pulpa	Temp. De Lect. C	H2O %
SD18000074	MUESTRA COMPUESTA FINAL DE LÓDOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	16268	40,9	23,7	8,19	22,2	94,34

*(Signature)*  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, <sup>o</sup><Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4850



## Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

### INFORME DE ENSAYO LAS-18-05809

Hoja de resultados

07/09/2018

Pág.: 6/6

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7114 Salmonella NMP1g de mat. Seca	*7020 Helmintos y Parásitos H24g	*7070 Coliforme Fecal NMP1g
SO18000074	MUESTRA COMPUESTA FINAL DE LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	<3	0	<3

*Jose A. Ortíz*  
Laboratorios Analíticos del Sur  
José A. Ortíz  
Microbiología  
Ejército C. 13009

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4851



**Anexo 4.** Análisis inicial físico, químico, microbiológico de los lodos residuales (Tercer experimento) de las lagunas de estabilización de aguas servidas – ciudad de Ilave, efectuado en Laboratorio Analíticos del Sur.



## Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

### INFORME DE ENSAYO LAS-18-04944

Pág: 1/6

#### Hoja de Datos

Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Dirección: AV. EL EJERCITO NRO 328 BARRIO SANTA ROSA PUNO - PUNO - PUNO  
 Atención: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Proyecto: Evaluación y comparación de la calidad del biocombustible gaseoso y biofertilizante obtenidos por digestión anaerobia termofílica de los lodos residuales de las lagunas de estabilización secundaria de aguas servidas - Región de Puno

Producto(s) Declarado(s): Sedimentos Lodos Residuales  
 Nro de muestras: 1  
 Muestreo a cargo de: Dr. Angel Canales Guíñez  
 Registro de muestreo: 018-18  
 Fecha de recepción: 11/07/2018  
 Fecha de ensayo: 11/07/2018  
 Fecha de emisión: 02/08/2018  
 Condiciones de recepción de la muestra: ADECUADAS  
 Observaciones: —

#### Método de ensayo aplicado

- \*7002 EPA 200.7 Determinación de Arsénico en Suelos y Sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7022 EPA 200.7 Determinación de Mercurio en Suelos y sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7021 Método de Ensayo para Carbono Orgánico Total como Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7023 Determinación de pH 1:2 potenciométrica en suelos
- \*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C
- \*7114 Detección de Salmonella: SNEWW-APHA-AIWWA-WEF. Part -8280 B (Idem 1,2d,3,4,6,7,8), 32nd Ed. Detección of Pathogenic Bacteria Salmonella en sedimentos
- \*7020 Recuento Huevos y larvas de Helminfos patógenos
- \*7070 Numeración de Coliformes Fecales. ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique in sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD18000043	MUESTRA COMPLETA DE LODOS RESIDUALES DE LAGOS DE OXIDACION ILAVE	19L / ILAVE / EL CALLAO / PUNO	8222,796 N,433,096 E; 8222,846N 433,016 E; 8222,852 N,433,112 E; 8222,800 N, 433,190E	10/07/18	05:30 a.m.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 Omar A. Juárez Soto  
 Gerente de Operaciones  
 I. So. Ingeniería Química CP-114426

\*"Valor numérico" = Límite de detección del método, \*"Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier emmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 3725



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-04944

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 2/6

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7003	*7002	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	
		Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD18000043	MUESTRA COMPUESTA DE Lodos RESIDUALES DE LAGOS DE OXIDACION ILAVE	<0,24	> 10 000	13,38	28,55	200,66	0,016546	> 10 000	5,7297	6,15389	19,508	89,27	

*(Handwritten signature)*  
Laboratorios Analíticos del Sur S.R.L.  
Omar A. Juárez Goto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico CP 114426

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 3726



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-04944

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 3/8

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7022	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003
		Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD18000043	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGOS DE OXIDACION ILAVE	> 10.000	≈0,041	3.100	23,521	7.757	256,92	1,7825	146	10,392	3.724	22,42

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 3727



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-04944

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 4/6

MT=metales totales

Codigo Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003
		Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Ti	V	Zn
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD18000043	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGOS DE OXIDACION ILAVE	0,56805	≈0,2	≈0,005	100,8	458,55	≈0,13	41,881	360

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
Sr. Ingeniero Químico CIP 114426

\*<Valor numérico> = Limite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Limite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 3728



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-04944

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 5/6

Codigo Interno #	Nombre de Muestra	*7005	*7006	*7021	*7023		*7097
		N	MO	COMO	pH	Temp. De Lect.	H2O
		mg/Kg	%	%	En pulpa	C	%
SD18000043	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGOS DE OXIDACION ILAVE	16138	35,2	20,4	7,12	20,1	83,955

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
I. Sc. Ingeniero Químico CIP 114428

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 3729



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-04944

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 6/6

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7114 Salmonella NMPIg de mat. Seca	*7620 Helminfos y Parásitos HH4g	*7076 Coliforme Fecal NMPIg
SD18000043	MUESTRA COMPUESTA DE LODOS RESIDUALES DE LAGOS DE OXIDACION ILAVE	<3	4	24x10 <sup>5</sup>

*José A. Ortiz Condón*  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
José A. Ortiz Condón  
Microbiología  
Biólogo C.B.P. 13052

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 3759

**Anexo 5.** Análisis físico, químico, microbiológico de los lodos residuales digeridos (Segundo experimento) de las lagunas de estabilización de aguas servidas – ciudad de Ilave, efectuado en Laboratorio Analíticos del Sur.



## Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

### INFORME DE ENSAYO LAS-18-04951

Pág: 1/6

#### Hoja de Datos

**Señores:** UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
**Dirección:** AV. EL EJERCITO NRO 320 BARRIO SANTA ROSA PUNO - PUNO - PUNO  
**Atención:** UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
**Proyecto:** Evaluación y comparación de la calidad del biocombustible gaseoso y biofertilizante obtenidos por digestión anaerobia termofílica de los lodos residuales de las lagunas de estabilización secundaria de aguas servidas - Región de Puno

**Producto(s) Declarado(s):** Sedimentos Lodos Residuales  
**Nro de muestras:** 1  
**Muestreo a cargo de(l):** Dr. Angel Cenates Quiñero  
**Registro de muestreo:** 020-18  
**Fecha de recepción:** 11/07/2018  
**Fecha de ensayo:** 11/07/2018  
**Fecha de emisión:** 02/08/2018  
**Condiciones de recepción de la muestra:** ADECUADAS  
**Observaciones :** ----

#### Método de ensayo aplicado

- \*7002 EPA 200.7 Determinación de Arsénico en Suelos y Sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7022 EPA 200.7 Determinación de Mercurio en Suelos y sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7021 Método de Ensayo para Carbono Orgánico Total como Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7023 Determinación de pH 1:2 potenciometría en suelos
- \*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C
- \*7114 Detección de Salmonella: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part. 9260 B (dems 1,2d,3,4,5,7,8), 22nd Ed. Detección of Pathogenic Bacteria Salmonella en sedimentos
- \*7020 Recuento Huevos y larvas de Helmintos patógenos.
- \*7070 Numeración de Coliformes Fecales, ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD18000050	MUESTRA COMPUESTA FINAL DE LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	YIK / ILAVE / EL CALLAO / PUNO	8222,706 N, 433,096 E; 8222,846N, 433,016 E; 8222,852 N, 433,112 E; 8222,800 N, 433,190E	09/07/18	01:00 p.m.

*(Firma)*  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniería Química CIP-114426

\*"<Valor numérico"> = Límite de detección del método, \*"<Valor Numérico"> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 3760



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-04951

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 2/6

MT=metales totales

Codigo Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7003	*7002	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003
		Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD18000050	MUESTRA COMPUESTA FINAL DE LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	≤0,24	> 10 000	12,71	28,9	188,73	0,023119	> 10 000	6,1181	8,17893	18,461	82,51

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omer A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico CP 114426

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*b<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 3761





# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-04951

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 3/6

MT=metales totales

Codigo Interno	Nombre de Muestra	*7003	*7022	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003
		Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb
#		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD18000050	MUESTRA COMPUESTA FINAL DE Lodos Residuales de la Laguna de Oxidación Ilave	> 10 000	≈0,041	3 280	26,952	> 10 000	249,87	1,8941	150	10,153	3 382	17,26

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omer A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico CIP: 114426

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, <sup>b</sup><Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 3762



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-04951

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 4/6

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003
		Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
SD18000050	MUESTRA COMPUESTA FINAL DE Lodos Residuales de la Laguna de Oxidación Ilave	<<0,049	<<0,2	<<0,085	107,2	423,42	<<0,13	43,528	320,2

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

\*<Valor numérico = Limite de detección del método, \*\*<Valor Numérico = Limite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 3763



## Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

### INFORME DE ENSAYO LAS-18-04951

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 5/6

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7005	*7004	*7021	*7022		*7097
		N mg/Kg	MO %	CO'MO %	pH En pulpa	Temp De Lect. C	H2O %
SD18000050	MUESTRA COMPUESTA FINAL, DE Lodos Residuales de la Laguna de Oxidación Ilave	15875	32,0	18,6	7,91	20,5	93,220

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniería Química CP 114426

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 3764



## Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

### INFORME DE ENSAYO LAS-18-04951

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 6/6

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7114 Salmonella NMPig de mat. Seca	*7020 Helmintos y Parásitos HHI4g	*7070 Coliforme Fecal NMPig
SD18000050	MUESTRA COMPUESTA FINAL DE LECOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE OXIDACION ILAVE	<3	0	<3

*José A. Ortiz Condori*  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
José A. Ortiz Condori  
Microbiología  
Biólogo C.B.P. 13052

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 3765

**Anexo 6.** Análisis microbiológico inicial (Primer experimento) en lodos residuales de la laguna de oxidación de la Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ilave-Puno, realizado en Laboratorio de Ecología Acuática UNA – Puno.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA ACUÁTICA**



**ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

**ASUNTO** : ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO MUESTRAS DE LODOS DE PUNO, JULIACA E ILAVE

**PROCEDENCIA** : DE PUNO, JULIACA E ILAVE

**INTERESADO** : BLANCA JACQUELINE QUISPE AUCCA

**MOTIVO** : Análisis Microbiológico

**MUESTREO** : 14/02/2018 (por el Interesado)

**ANÁLISIS** : 14/02/2018

**PROYECTO** : UNA-PUNO

**RESULTADOS**

MUESTRA DE LODOS	INDICADOR BACTERIOLÓGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS
	Coliformes fecales EN NMP/g DE MUESTRA	Salmonella spp EN NMP/g DE MUESTRA	HUEVOS DE HELMINTOS/g DE MUESTRA
JULIACA	2400	300	48
PUNO	2400	500	52
ILAVE	2400	800	35

**Método:** Método propuesto por la Organización Internacional de Químicos Asociados  
 Coliformes fecales NMP  
 Salmonella sp NMP/g  
 Huevos de helmintos HH/g

**Observación:** Las muestras se recibieron en el Laboratorio de Microbiología.

*[Firma manuscrita]*  
 Benito Longo Palacios  
 BIÓLOGO  
 D.P. N° 2125

**Anexo 7.** Análisis de nutrientes (Primer experimento) en lodos residuales de la laguna de oxidación de la Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ilave-Puno, realizado en el Laboratorios de Análisis del Ministerio de Agricultura INIA - Puno.



MINISTERIO DE AGRICULTURA  
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA  
 LABORATORIO DE ANALISIS  
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO  
 ANEXO SALCEDO  
 Ofc. Principal: Av. La Molina 1781 - La Molina Lima



**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**

SOLICITANTE : Blanca Jacqueline Quispe Aucua  
 DIRECCIÓN :  
 PROCEDENCIA : Ilave-Puno y Juliaca.  
 PRODUCTO : Lodos Residuales de Aguas Servidas.  
 CANTIDAD :  
 MUESTRA : Laguna de Estabilización Primaria de Aguas Residuales de la Ciudad de Ilave.  
 TIPO DE ANÁLISIS : Análisis de NPKyMO.  
 N° DE ANÁLISIS : 04.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 09 de Febrero del 2018  
 FECHA DE CERTIFICACIÓN : 23 de Febrero del 2018

**DETERMINACIONES QUÍMICAS:**

Determinaciones	MP-P Laguna de oxidación Puno	MI-P Laguna de oxidación Ilave	MJ-P Laguna de oxidación Juliaca
Nitrógeno %	6,23	6,77	6,08
Fósforo %	1,68	1,41	1,50
Potasio %	3,48	3,38	3,55
MO %	22,60	23,16	21,00
C.E mmhos/cm 25°C	3,060	3,014	3,039
pH	7,40	7,31	8,30

**Referencias:**

Methods of analysis for soils, plants and waters, University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta impresión, Octubre 1988. 156p.  
 Nitrógeno: Método semimicrokjeldahl (Digestión con ácido sulfúrico)  
 Fósforo: Método del Metavanadato de amonio (Espectrofotómetro digital 21)  
 Potasio: Ataque con ácido sulfúrico (Fotómetro de flama)  
 pH - Potenciometría  
 CE: Conductímetro de 02 años.

**Conclusiones:**

La muestra analizada de Lodos Residuales CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales, utilizados en el análisis.

**Nota:** Ninguna.

**Validez del Certificado:**

El presente Certificado es válido, si permanece en el papel original. El documento en su papel original tendrá validez por el periodo de noventa (90) días calendario a partir de la fecha de emisión. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).



INIA  
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO  
 Ing° JORGE GAMBHUA ROJAS  
 Jefe Laboratorio Análisis  
 SALCEDO

Los resultados son aplicables a esta muestra.

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n  
 Puno, Puno, Perú  
 T- (051) 262.817 8948 9090