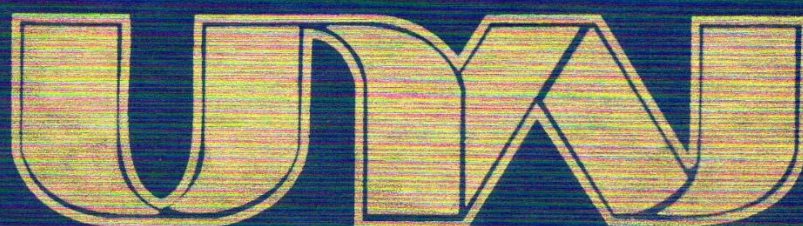


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y  
FORESTAL**



**"EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE  
OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LODOS EN LAGUNAS DE  
ESTABILIZACIÓN EN LA CIUDAD DE JULIACA"**

**Bach. Pamela Maribel Mazco Velásquez**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro**



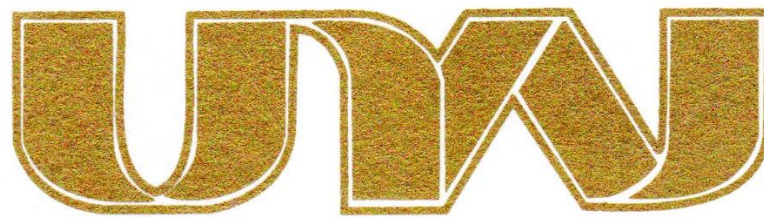
**Juliaca, 2022**







**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y  
FORESTAL**



**"EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE  
OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LODOS EN LAGUNAS DE  
ESTABILIZACIÓN EN LA CIUDAD DE JULIACA"**

**Bach. Pamela Maribel Mazco Velásquez**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro**



**Juliaca, 2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**Y FORESTAL**



**“EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE  
OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LODOS EN LAGUNAS DE  
ESTABILIZACIÓN EN LA CIUDAD DE JULIACA”**

Bach. Pamela Maribel Mazco Velásquez

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro

Juliaca-Perú

2022



Mazco P. (2022). *Efecto de la temperatura en el proceso de obtención de biogás a partir de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca (Tesis de pregrado)*.

Universidad Nacional de Juliaca.

**AUTOR:** Pamela Maribel Mazco Velásquez

**TÍTULO:** Efecto de la temperatura en el proceso de obtención de biogás a partir de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca.

**PUBLICACIÓN:** Juliaca, 2022.

**DESCRIPCIÓN:** Cantidad de páginas (131 pág.).

**NOTA:** Tesis Escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal - Universidad Nacional de Juliaca

**CÓDIGO:** 01-000017-01/M33

**NOTA:** Incluye bibliografía.

**ASESOR:** Dr. Wile Mamani Navarro.

**PALABRAS CLAVES:** Biogás, lodos residuales, tiempo, temperatura ambiental y acondicionada con cobertura.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**Y FORESTAL**

**“EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE  
OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LODOS EN LAGUNAS DE  
ESTABILIZACIÓN EN LA CIUDAD DE JULIACA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y  
FORESTAL**

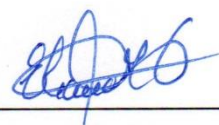
**Presentada por:**

**Bach. Pamela Maribel Mazco Velásquez**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

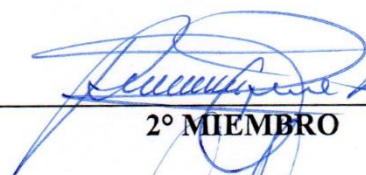
M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras

**PRESIDENTE DE JURADO**



Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo

**JURADO (Secretario)**



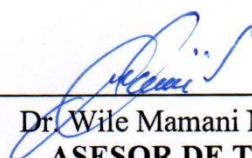
**2º MIEMBRO**

M.Sc. Edwerson William Pacori Paricahua

**JURADO (Vocal)**



**3º MIEMBRO**



**Dr. Wile Mamani Navarro**  
**ASESOR DE TESIS**



## **DEDICATORIA**

*A Dios por haber sido mi guía en cada paso de mi vida, y brindarme la fuerza y paciencia necesaria para cumplir con mis objetivos.*

*A mis padres Calisto Mazco y Santusa Velásquez por ser mi ejemplo, digno de superación y entrega, con mucho cariño y afecto.*

*A mis hermanos por su apoyo, porque son quienes alientan mi profesión.*

*A mis docentes de la Universidad Nacional de Juliaca, por contribuir con sus conocimientos en la elaboración de la presente investigación.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios Todopoderoso por permitirme culminar mi estudio superior, ya que su sabiduría, misericordia y protección estuvieron siempre presentes a lo largo de nuestras vidas.*

*A la Universidad Nacional de Juliaca y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal, por la oportunidad brindada durante los años de formación profesional y así escalar un peldaño más.*

*A mi asesor de Tesis Dr. Wile Mamani Navarro, por el apoyo incesante en la elaboración y ejecución de la Tesis.*

*A mis jurados, por la atención, motivación, interés y crítica necesarios para la realización de la presente investigación.*



## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	xvii

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática .....	1
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Problema general .....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos de investigación .....	3
1.3.1. Objetivo general .....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4. Justificación de la investigación .....	4
1.5. Hipótesis de la investigación .....	5

### CAPÍTULO II

#### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes internacionales .....	6
2.1.1. Antecedentes nacionales.....	7
2.1.2. Antecedentes regionales .....	8
2.2. Marco teórico.....	10
2.2.1. Lagunas de estabilización.....	10
2.2.2. Lodos residuales .....	13
2.2.3. Tipos de lodos.....	13
2.2.4. Características de lodos residuales .....	14
2.2.5. Metales en lodos residuales .....	15
2.2.6. Biodigestores .....	16

2.2.7. Tipos de biodigestores .....	17
2.2.8. Digestión anaeróbica .....	18
2.2.9. Biogás .....	21
2.2.10. Parámetros importantes en el proceso de obtención de biogás .....	24
2.2.11. Temperatura.....	26

### CAPITULO III

#### MATERIALES Y METODOS

3.1. Ámbito de estudio.....	27
3.2. Tipo, nivel y diseño de investigación .....	27
3.3. Población y muestra .....	27
3.3.1. Población .....	27
3.3.2. Tamaño de muestra.....	28
3.4. Instrumentos, materiales y equipos .....	29
3.5. Procedimiento metodológico.....	30
3.5.1. Determinación de las características fisicoquímicas, microbiológicas y metales totales de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca. ....	30
3.5.2. Determinación del efecto de la temperatura ambiente y acondicionada con cobertura en el tiempo y volumen en la obtención de biogás a partir de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca. ....	32
3.5.3. Análisis de datos.....	34

### CAPITULO IV

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características fisicoquímicas, microbiológicas y metales totales de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca. ....	36
4.1.1. Parámetros fisicoquímicos.....	36
4.1.2. Parámetros microbiológicos .....	38
4.1.3. Metales totales .....	39



4.2.	Efecto de la temperatura ambiente y acondicionada con cobertura en el tiempo y volumen en la obtención de biogás a partir de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca. ....	41
4.2.1.	Temperatura ambiente Vs temperatura acondicionada con cobertura.....	41
4.2.2.	Tiempo de obtención de biogás a temperatura ambiente y acondicionada con cobertura .....	41
4.2.3.	Efecto que tiene la temperatura ambiente y acondicionada con cobertura en el volumen de obtención de biogás. ....	43
4.2.4.	Prueba de hipótesis .....	45
4.2.5.	Variable: tiempo de inicio de generación de biogás.....	47
4.2.6.	Variable: Volumen de biogás generado.....	49

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES .....	53
REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS .....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.	Características y composición de lodos.....	15
Tabla 2.	Concentraciones de metales totales en lodos. ....	16
Tabla 3.	Parámetros de las condiciones óptimas esenciales para la descomposición anaeróbica CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> . ....	19
Tabla 4.	Composición típica del gas biogás (porcentaje volumétrico).....	22
Tabla 5.	Concentraciones (mg/L) de compuestos inorgánicos inhibitorios del proceso anaerobia.....	25
Tabla 6.	Condiciones en cada etapa del proceso de digestión anaerobia. ....	26
Tabla 7.	Cantidad de muestras de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca. ....	28
Tabla 8.	Métodos utilizados para los análisis de los parámetros fisicoquímicos y .....	31
Tabla 9.	Técnicas y métodos utilizados para los análisis de metales totales.....	32
Tabla 10.	Resultados de características fisicoquímicas de lodos. ....	37
Tabla 11.	Resultados de análisis microbiológico. ....	38
Tabla 12.	Resultado de la concentración de metales totales en lodos residuales .....	40
Tabla 13.	Resultado de tratamientos a temperatura ambiente y acondicionado con cobertura. ....	40
Tabla 14.	Prueba de muestras independientes.....	45
Tabla 15.	Pruebas de normalidad. ....	46
Tabla 16.	Prueba de muestras independientes.....	46
Tabla 17.	Estadísticos de grupo.....	47
Tabla 18.	Prueba de muestras independientes.....	47
Tabla 19.	Pruebas de normalidad. ....	48
Tabla 20.	Prueba de muestras independientes.....	48
Tabla 21.	Estadísticos de grupo.....	49
Tabla 22.	Prueba de muestras independientes.....	49
Tabla 23.	Pruebas de normalidad. ....	50
Tabla 24.	Prueba de muestras independientes.....	50
Tabla 25.	Estadísticos de grupo.....	51



## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Ejemplo diagrama de flujo de un sistema de lagunas de estabilización.....	10
Figura 2. Lagunas anaeróbicas. ....	11
Figura 3. Laguna aerobias. ....	11
Figura 4. Esquema simplificado del funcionamiento de una laguna facultativa. ....	12
Figura 5. Zonas de una laguna facultativa. ....	13
Figura 6. Puntos de generación de lodos en una EDAR.....	14
Figura 7. Esquema de un biodigestor y sus componentes. ....	16
Figura 10. Biodigestores discontinuos. ....	17
Figura 11. Curva de crecimiento de microorganismos.....	18
Figura 12. Fases del proceso anaeróbicos. ....	19
Figura 13. Representación esquemática de la descomposición anaeróbica.....	20
Figura 14. Cuota global de los diferentes tipos de biomasa utilizados para la producción de biogás.....	22
Figura 15. Beneficios del biogás. ....	23
Figura 16. Puntos de muestreo de lodos residuales de lagunas de estabilización Juliaca. ....	28
Figura 17. Muestreo por cuarteo.....	30
Figura 18. Monitoreo de temperatura ambiente y acondicionada con cobertura. ....	33
Figura 19. Flujograma del proceso de investigación.....	35
Figura 20. Registro de la temperatura ambiente comparada con la temperatura acondicionada con cobertura. ....	41
Figura 21. Registro del tiempo de inicio de obtención de biogás a temperatura ambiente comparada con la temperatura acondicionada con cobertura.....	42
Figura 22. Registro de tiempo de generación de obtención de biogás a temperatura ambiente comparada con la temperatura acondicionada con cobertura.....	43
Figura 23. Volumen de biogás a temperatura ambiente vs volumen de biogás a temperatura acondicionada con cobertura. ....	43
Figura 24. Extracción de lodos en las lagunas de estabilización de Juliaca. ....	55
Figura 25. Muestreo y traslado de las muestras de lodos para los análisis fisicoquímicos, microbiológicos, metales totales.....	55
Figura 26. Construcción de las hélices para mantener la humedad homogénea dentro del biodigestor tanto para temperatura ambiente como en temperatura acondicionada con cobertura. ....	55

Figura 27. Construcción de la estructura para el acondicionamiento de la temperatura ....	55
Figura 28. Monitoreo de los parámetros y finalmente la prueba de fuego realizado con mi asesor. ....	55

## ÍNDICE DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Resultados iniciales de parámetros fisicoquímicos de lodos en lagunas de estabilización de la ciudad de Juliaca .....	65
Anexo 2. Ficha de recolección de datos para temperatura ambiente y con cobertura.....	76
Anexo 3. Protocolo de Monitoreo aprobado con Resolución Ministerial N°093-2018-Vivienda.....	84
Anexo 4. Ficha de recolección de datos diarios de temperatura ambiente y presión.....	121
Anexo 5. Panel fotográfico.....	123



## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la temperatura en el proceso de obtención de biogás a partir de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca. Donde se tomaron 31 muestras puntuales por cada laguna, y los puntos de muestreo fueron de forma estratificado aleatoria, teniendo un total de 273 kg de lodos de las 8 lagunas de estabilización los mismos que se distribuyeron en dos grupos (temperatura ambiente y temperatura acondicionada con cobertura). Los resultados demostraron que la temperatura acondicionada con cobertura se obtuvo una producción de biogás a los 53 días de instalación con un volumen acumulado de 15.4 L de biogás a temperaturas que oscilaron de 293.52 K a 301.15 K, mientras que a temperatura ambiente tuvo una producción de biogás iniciando a los 66 días de la instalación, con un volumen acumulado de 5.3 L de biogás a temperaturas que fluctuaron de 285.08 K – 296.92 K, estos resultados fueron analizados utilizando la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk y para la prueba de hipótesis se utilizó el T de Student con un nivel de confianza del 95 %. En conclusión, se evidencio que existe un efecto significativo de la temperatura acondicionada con cobertura en el tiempo y volumen durante todo el proceso de la obtención de biogás, por consiguiente, brinda una alternativa para el aprovechamiento de lodo, como materia prima, mediante un proceso de producción, almacenamiento y distribución, de esta manera se podría usar como combustible en el hogar.

**Palabras claves:** Biogás, lodos residuales, tiempo, temperatura ambiental y acondicionada con cobertura.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el crecimiento poblacional generan residuos de diferentes actividades antropogénicas, una de las actividades principales es la generación de aguas residuales (MINAM, 2019), dando como producto de la depuración grandes volúmenes de lodos que al acumularse ocasionan problemas en cuanto a su almacenamiento y eliminación (Morales et al., 2017), contaminando el aire debido a la emanación de gases como metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y otros en pequeña cantidad (Benitez & Blanco, 2018).

Perú no es la excepción ya que en la actualidad la mayoría de estos residuos carecen de tratamiento y disposición adecuada (Atencio et al., 2011). Asimismo, en la ciudad de Juliaca se tienen 8 lagunas de estabilización colmatadas de lodos, causando un impacto negativo ecológico, así como un impacto social ya que las lagunas se encuentran cerca de la zona urbana, y estos contiene elevadas concentraciones de contaminantes patógenos, compuestos orgánicos tóxicos, metales pesados, entre otros (Diaz & Acosta, 2014), los efectos son reflejados en enfermedades gastrointestinales, bajo rendimiento escolar y enfermedades respiratorias (Schiffman et al., 2005).

Los lodos contienen gran cantidad de materia orgánica biodegradable, que pueden ser transformados mediante procesos físicos, químicos y biológicos con la finalidad de aprovechar y convertirlo en biogás. Sin embargo, uno de los problemas que presenta las lagunas de estabilización de la ciudad de Juliaca con respecto a la obtención de biogás son las bajas temperaturas que generalmente varía de  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  y rara vez baja a hasta  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  o sube a más de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (SENAMHI, 2020). Por lo que la temperatura está influenciada directamente en la obtención de biogás.

El propósito de esta investigación fue evaluar el efecto de la temperatura ambiente y acondicionada con cobertura en el proceso de obtención de biogás, para evidenciar en cuál de estas condiciones de temperaturas tendrá un efecto en el tiempo y volumen de biogás. Asimismo, este estudio proporciona información útil sobre la obtención de biogás, cuya importancia radica en brindar una alternativa de aprovechamiento de lodos residuales empleando una tecnología sostenible que permite el uso adecuado y racional de lodos, disminuyendo el riesgo sobre la población, convirtiéndolo en un producto con valor agregado en beneficio a la población.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Situación problemática

Las lagunas de estabilización, son utilizados en todo el mundo para el tratamiento de aguas residuales (Cedeño, 2019), en estos procesos se generan grandes volúmenes de residuos sólidos heterogéneos llamado lodos (Godoy et al., 2019), esto debido al incremento de la población, de acuerdo a las cifras de la ONU, 84 millones de personas se incrementa por año (ONU, 2019), de esta manera estos se acumulan sin que los agentes naturales estabilicen o eliminen toda esa materia, debido a la velocidad con la que se genera (Ortega et al., 2016), por lo tanto son considerados contaminantes de la atmosfera ya que se genera concentraciones de gases como metano y dióxido de carbono, provocando un calentamiento de la superficie terrestre, responsables del cambio climático (Anderson et al., 2016).

En el Perú, según el reglamento de la ley integral de gestión de residuos sólidos, los lodos residuales son considerados residuos peligrosos debido a que contienen metales y deben ser dispuestos en rellenos de seguridad (MINAM, 2017). Sin embargo, un estudio en el año 2015 indico que 50% de las plantas de tratamiento de aguas residuales no realiza la remoción de lodos (SUNASS, 2016), esto conllevaría a la proliferación de focos infecciosos, riesgo a la salud, deterioró del paisaje y malos olores que están compuestos principalmente por sulfuro de hidrógeno, amoníaco (Dubis et al., 2020), y por metales pesados, como el Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Cd, Hg, y As, generando contaminación a los recursos hídricos subterráneos, suelos y aire (Sikarwar et al., 2017), ya que los contaminantes presentes en las lagunas se infiltran a la capa freática alterando las características fisicoquímicas del agua subterránea (Han et al., 2016), e impactando negativamente a la geomorfología del suelo y el paisaje dándole un aspecto de contaminación.

En la ciudad Juliaca, las lagunas de estabilización han superado su capacidad de almacenamiento (SEDA, 2007) y aún más alarmante que estas lagunas se encuentran colmatadas en un 85% con más de 80 000 m<sup>3</sup> de lodos almacenados ya que desde el funcionamiento en 1982 no se realizó ningún tipo de mantenimiento (SUNASS, 2016). Los lodos son considerados un peligro potencial para la salud debido al gran número de quistes de protozoos, óvulos parásitos y patógenos fecales (Anderson et al., 2016), cuyos efectos en la salud pública se reflejan en la irritación de las vías respiratorias, complicación de cuadros de asma, disfunciones pulmonares e incluso, muertes prematuras y alteración en el sistema inmunológico (Schiffman et al., 2005).

La cantidad de lodos almacenados en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca contiene gran cantidad de materia prima las cuales podrían ser aprovechados dándole una alternativa de solución mediante la obtención de biogás, ya que no se realiza una gestión ni manejo adecuado de estos, por lo que toda esta materia prima no tiene una utilidad. A la fecha existe muy pocos estudios con respecto a la obtención de biogás en función a la temperatura, motivo por el cual se hizo esta investigación, donde en dicha ciudad la temperatura varía un promedio de -2 °C y 18 °C y rara vez baja hasta - 6 °C o sube a más de 20 °C (SENAMHI, 2020), esto puede causar severas perturbaciones en todos los procesos para la obtención de biogás, porque tiene un impacto significativo en el crecimiento y el metabolismo de los microorganismos y causar menor eficiencia (Li, et al., 2017). Por consiguiente, surge la necesidad de plantear las siguientes interrogantes.



## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es el efecto de la temperatura en el proceso de obtención de biogás a partir de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas, microbiológicas y metales totales de lodos de lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca?
- ¿Cuál es el efecto de la temperatura ambiente y acondicionada con cobertura en el tiempo y volumen en la obtención de biogás a partir de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca?

## **1.3. Objetivos de investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

- Evaluar el efecto de la temperatura en el proceso de obtención de biogás a partir de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar las características fisicoquímicas, microbiológicas y metales totales de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca.
- Determinar el efecto que tiene la temperatura ambiente y acondicionada con cobertura en el tiempo y volumen en la obtención de biogás a partir de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca.

#### **1.4. Justificación de la investigación**

La ciudad de Juliaca ha venido sufriendo la contaminación de los gases y malos olores emitidos por lodos en lagunas de estabilización, ya que estos se encuentran adyacente a la población causando enfermedades, y malestares, cuyos efectos se reflejan en la irritación de las vías respiratorias, complicación de cuadros de asma, disfunciones pulmonares y alteración en el sistema inmunológico (Rezaie et al., 2017), por lo que se necesita aprovechar estos lodos para mitigar estos impactos, de esta manera se evitará su disposición no controlada y perjudicial al medio ambiente.

Por tanto, a través del presente investigación se busca disminuir la contaminación del aire, suelo, agua, mediante la obtención de biogás, ya que esto representa una biotecnología amigable con el medio ambiente debido a su capacidad de digerir contaminantes orgánicos y compuestos tóxicos que se encuentran en lodos, de esta manera reducir el uso de energías no renovables y acudir al uso de una energía alternativa y sostenibles (Rosa et al., 2018).

Asimismo, trae consigo un beneficio económico, ya que la producción de biogás es un proceso práctico y de costo suficientemente accesible, además de la generación de este, trae consigo subproductos que pueden ser aprovechados por el sector agropecuario (Chaouki & Isam, 2015), facultando a gobiernos regionales y provinciales, en concreto en el área de gestión ambiental, en el criterio de manejo de residuos sólidos orgánicos, además de orientar en la toma de decisiones en proyectos futuros, ya que en nuestra región todavía no se está aprovechando como fuente de energética, de este modo se busca impulsar un beneficio en la calidad de vida de los pobladores.

## **1.5. Hipótesis de la investigación**

- La temperatura si tiene efecto en el proceso de obtención de biogás a partir de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca.

### **1.5.1. Hipótesis específicas**

- Las características fisicoquímicas, microbiológicas y metales totales de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca influyen en el proceso de obtención de biogás.
- La temperatura ambiente no tiene efecto significativo en el tiempo y volumen en la obtención de biogás a partir de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca a comparación con la temperatura acondicionada con cobertura.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes internacionales

Babaei & Shayegan (2020), evaluaron la obtención de biogás operando a diferentes temperaturas, durante 108 días, donde utilizaron lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales, esto se realizó a temperaturas de 25, 28, 31 y 34 °C respectivamente, y se inició con un  $\text{pH} = 7.5 \pm 0.3$ . De acuerdo a los resultados obtenidos, la composición del biogás difería según la temperatura, demostrando que el mayor rendimiento de biogás alcanzó su valor máximo de 44.5 L/día a una temperatura de 34 °C en el día 20 y 40.3 L/día a 25 °C en el día 27 del experimento, y cuando la temperatura se redujo a 28 y 25 °C, el valor del pH alcanzó un valor inferior de 7.2, por esta razón, la producción de biogás se disminuyó.

Wati (2019), evaluó la producción de biogás a partir de lodos residuales, donde se utilizó 2 biodigestores (R1 Y R2) con capacidad de 20 L cada una. Se inicio el experimento usando la temperatura en un rango de  $38 \text{ °C} \pm 3 \text{ °C}$  y pH de 6.5 - 8.0 durante 82 días, fijadas estas variables se procedió a usar como inóculo los lodos. Teniendo como resultado la obtención de biogás con un valor de 8.16 L/día para R1 y 11.10 L/día para R2 y un pH promedio de 7.06 para R1 y de 7.14 para R2, logrando un porcentaje de degradación del 88 % y del 89 % respectivamente.

Tian et al. (2018), estudiaron la producción de biogás, a una temperatura de (9, 15, 21, 35, 45 y 55 °C), donde el inóculo estuvo compuesto de lodos residuales, por lo cual demostraron que la cantidad de biogás acumulada aumentó claramente cuando la temperatura se elevó de 9 a 35 °C, los picos de producción de biogás fueron en los 30, 17 y 6 días para temperaturas de 15, 21 y 35 °C respectivamente, pero no se observó un pico ni siquiera después de 90 días de digestión a 9 °C. Finalmente

obtuvieron la concentración de biogás de menor a mayor temperatura  $350 \pm 212$ ,  $1750 \pm 71$ ,  $1700 \pm 0$ ,  $3850 \pm 354$ ,  $4600 \pm 283$ ,  $3950 \pm 354$  mL/día.

Schultz & Silva (2018), determinaron la producción de biogás a escala laboratorio con alimentación de lodos residuales operando a diferentes temperaturas, 35 (mesófilo), 45 °C y 55 °C (termófilo) en un tiempo de 326 días. Dando los siguientes resultados, donde el valor más bajo en la producción de biogás se encontró en la fase de 35 °C, con una media de 0.66 L/día, estadísticamente diferente de las fases 45 °C y 55 °C, que promediaron 1.48 y 1.28 L/día respectivamente, y el volumen total del biogás producido durante el periodo de seguimiento fue 465.1 L.

Ventura & Moreno (2017), reportaron la obtención de biogás a partir de lodos, donde trabajaron bajo condiciones mesofílicas (35 °C), la proporción que se usó para la operación fue de 60 litros de lodos, el digester mesofílico fue operado con diferentes cargas de alimentación, dichas cargas fueron las siguientes: 0.33 kg ST/m<sup>3</sup>d, 0.45 kg ST/m<sup>3</sup>d, 0.55 kg ST/m<sup>3</sup>d, 0.75 kg ST/m<sup>3</sup>d, 1.15 kg ST/m<sup>3</sup>d, 1.5 kg ST/m<sup>3</sup>d y 2.0 kg ST/m<sup>3</sup>d, en cuanto a la producción de biogás resulto con un promedio de 1.64 L/día, 1.92 L/día, 2.1 L/día, 5 L/día, 6 L/día, 7 L/día y 9.3 L/día.

Li & Anderson (2015), evaluaron la obtención de biogás, a diferentes condiciones de temperatura 37 °C y 55 °C, con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, resultando una efectiva producción de biogás a condiciones termófilo (55 °C), donde la mejor tasa de producción de biogás fue de  $17.4 \pm 0.86$  L/día. Estos valores fueron un 32.8 % y un 7.10 % más altos que los valores respectivos de la digestión mesófila en condiciones de funcionamiento similares.

### **2.1.1. Antecedentes nacionales**

Abregúm et al. (2019), estudiaron la obtención de biogás a partir de lodos, por un período de 60 días a temperatura promedio de 19 °C, primero se analizó las características físicoquímicas, microbiológicas y metales pesados del material experimental teniendo como resultados: pH 8.16, DBO 8750 mg/L, humedad 70.3 %, nitrógeno total 569.4 mg/SO<sub>2</sub>.meq, coliformes fecales 200000 NMP/100 g, coliformes totales 390000 NMP/100 g, salmonella *sp* <3.0 NMP/g ST, arsénico <0.8 mg/kg MS, cadmio <0.10 mg/kg MS, cromo 26.07 mg/kg MS, cobre 159.33 mg/kg MS, plomo 1 mg/kg MS, níquel 0.5mg/kg MS, Zinc 0.2 mg/kg MS, mercurio <1.0



mg/kg MS, la producción de biogás estuvo compuesta de 57 % de CH<sub>4</sub> y 35.2 % de CO<sub>2</sub>, respectivamente a 19 °C.

Retamoso (2019), evaluó la influencia de la temperatura en la producción de biogás, utilizando como sustrato lodos residuales, la investigación se realizó en un invernadero y el otro a temperatura ambiente, teniendo como valor inicial de pH 6.95 y como resultado lo siguiente, el volumen acumulado de biogás a temperatura ambiental del biodigestor es de 6.8 L de biogás, iniciando a los 71 días de instalación, mientras que el volumen a temperatura con acondicionamiento de cobertura es de 15.8 L a los 56 días de instalación. El tiempo de inicio y el volumen biogás se debe a que el rango de la temperatura ambiental del biodigestor fue de 11.2 °C a 20.9 °C siendo esta menor a la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor que fue de 30 °C a 46 °C.

### **2.1.2. Antecedentes regionales**

Ojeda (2019), reportó la producción de biogás a partir de lodos de la laguna de oxidación de espinar – Puno, durante un periodo de 85 días cuya carga de lodos fue de 9 kg y la instalación de un serpentín de cobre galvanizado para mantener una temperatura constante de 35 °C y como resultado del estudio se obtuvo un promedio del volumen de gas metano de 3.33L.

Quispe (2019), evaluó la obtención de biogás utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave (región Puno), a una temperatura de 55.6 °C, durante 28 días. El trabajo de investigación produjo los siguientes resultados: 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 en la producción de biogás se obtuvo un valor promedio de 11.68 % CH<sub>4</sub>.

Huanca (2017), determinó la producción de biogás a partir de lodos de aguas residuales de Puno, donde se introdujo una cantidad de 220 L de lodos, que ocupan el 85 % del área del equipo experimental quedando un volumen libre de 15 %, para la acumulación de biogás todo a una temperatura promedio de 27.4 °C, durante los meses de Marzo - Octubre. Asimismo, se ha evaluado los parámetros fisicoquímicos encontrándose que el pH inicial fue de 7.60 y el final de 7.81, DBO<sub>5</sub> inicial de 62.30 ppm y final de 345.45 ppm, oxígeno disuelto promedio 5.50 ppm. Finalmente se obtuvo un promedio de 14.88 cm<sup>3</sup> de biogás, a partir del 5 día hasta los 47 días de fermentación anaeróbica y una producción acumulada 214.5 cm<sup>3</sup>, al final de la fermentación.

Tarapa (2015), estudió la obtención de biogás a partir de lodos sedimentados de la bahía interna de Puno Lago Titicaca, en el mismo se planteó utilizar un biodigestor a nivel de planta piloto, acondicionado en un invernadero con una temperatura promedio de 35 °C, como resultado de las características fisicoquímicas con datos iniciales pH 7.34, carbono orgánico 40 %, y datos finales de pH 7.41, carbono orgánico 8.04 %, finalmente a nivel de planta piloto se generó un volumen de 17.39 L de biogás.

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización son grandes cuerpos de aguas construidos, los cuales pueden ser usados individualmente o en serie (Zhang et al., 2021), y es recomendada para poblaciones pequeñas en las que se dispone grandes extensiones de terreno que están constituidos por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra, generalmente tiene forma cuadrada (Díaz et al., 2015) y son simples de operar y mantener ya que requieren poca mano de obra y bajo costo de capital, porque no depende de equipos mecanizados o caros (Shao et al., 2020), estos suelen clasificarse en: aerobias, anaerobias, facultativas, maduración (Dhir et al., 2017).

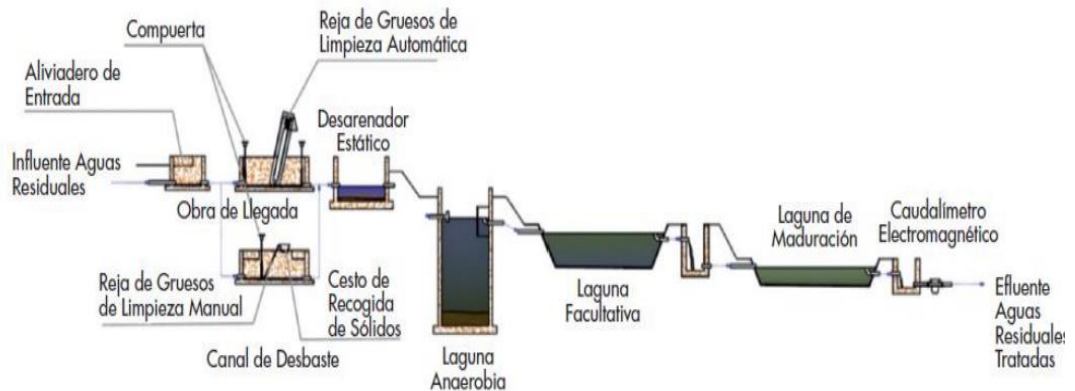


Figura 1. Ejemplo diagrama de flujo de un sistema de lagunas de estabilización: Torres (2019).

#### a. Lagunas anaerobias

Son las que reciben y degradan mayor cantidad de materia orgánica por acción de bacterias anaeróbicas, sin la presencia de oxígeno disuelto en el agua (Alabort, 2015), estos son utilizados normalmente como la primera fase en el tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales con alto contenido en materia orgánica biodegradable (Ho & Goethals, 2020), lo que da lugar a la producción de biogás, como metano  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  y sulfuro de hidrógeno (Guo et al., 2020).

Las lagunas anaerobias tienen lugar mediante las etapas siguientes:

- **Hidrólisis:** La descomposición de los compuestos orgánicos por las bacterias en moléculas complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos y solubles en agua (Hung et al., 2008).

- **Formación de ácidos:** Los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos, produciéndose su conversión en ácidos orgánicos volátiles (Polprasert & Kittipongvises, 2011).
- **Formación de metano:** Una vez que se han formado los ácidos orgánicos, una nueva categoría de bacterias actúa y los utiliza para convertirlos finalmente en metano y dióxido de carbono (Hung et al., 2008).

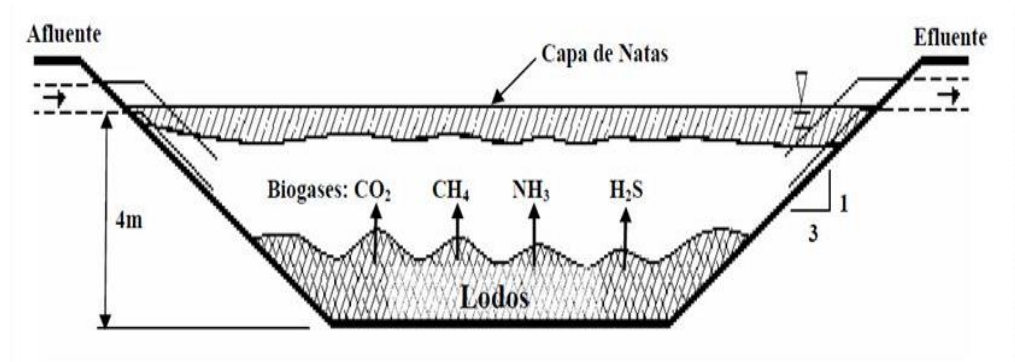


Figura 2. Lagunas anaeróbicas: Martínez et al. (2011).

#### b. Lagunas aerobias

En estos sistemas, la simbiosis entre bacterias y algas se aprovecha para degradar la materia orgánica; las primeras consumen materia orgánica y oxígeno y producen  $\text{CO}_2$  (Ali et al., 2020), mientras que las segundas consumen  $\text{CO}_2$  y producen oxígeno por medio de la fotosíntesis, lo que mantiene concentraciones de oxígeno disuelto adecuadas en la zona superior de la laguna (Liu et al., 2016).

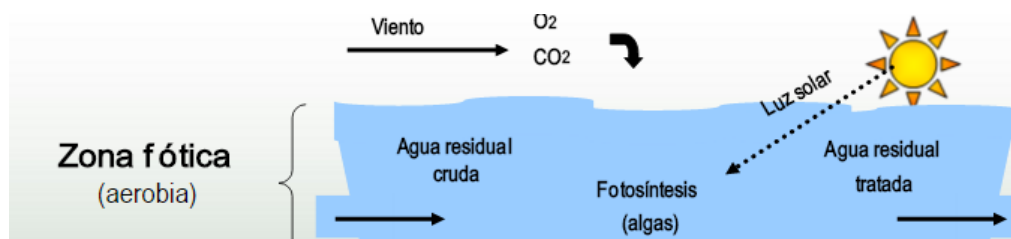
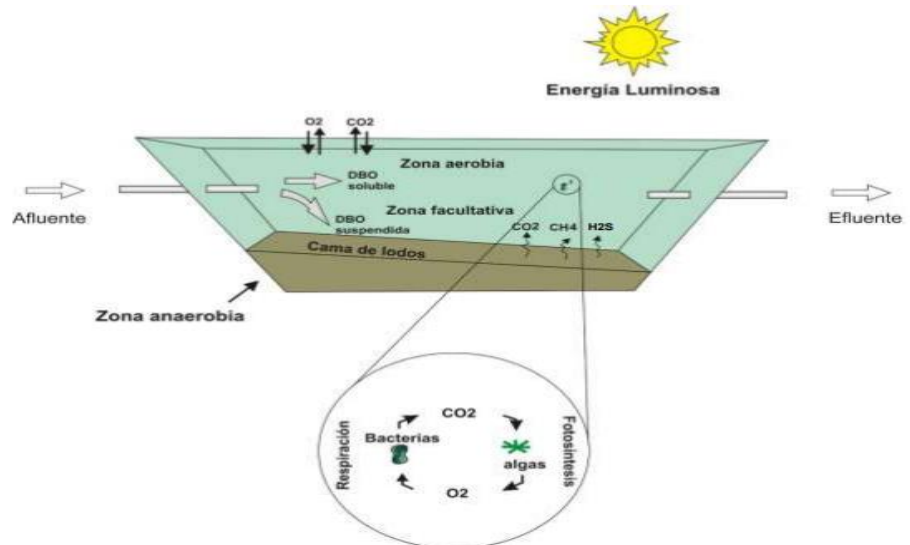


Figura 3. Laguna aerobia: Huaranga (2011).

La penetración de la luz y la actividad fotosintética pueden extenderse sólo de 5 a 15 cm de profundidad (Garrido et al., 2018), dado que el crecimiento de las algas está restringido en los estanques en los que la profundidad de mezcla es superior a 5 veces la profundidad (Liu et al., 2016).

### c. **Lagunas facultativas**

Las lagunas facultativas, son aquellos que existe una combinación de bacterias anaeróbicas, aeróbicas y facultativas (capaces de crecer tanto en presencia como en ausencia de oxígeno) que estabilizan los efluentes (Ewing et al., 2015). La finalidad de estas lagunas es la estabilización es que contiene materia orgánica en un medio oxigenado proporcionando principalmente por las algas presentes (Smyth et al., 2018).



*Figura 4.* Esquema simplificado del funcionamiento de una laguna facultativa: Benavides & Rodríguez (2017).

La profundidad de las lagunas facultativas suele estar comprendida entre 1 y 2 m para facilitar así un ambiente oxigenado en la mayor parte del perfil vertical (Ewing et al., 2014), en este proceso se liberan nutrientes solubles y dióxido de carbono en grandes cantidades, estos son utilizados por las algas en su crecimiento de esta forma, la actividad de ambas es mutuamente beneficiosa (Treviño & Cortés, 2016).



En una laguna facultativa existen tres zonas:



Figura 5. Zonas de una laguna facultativa: Birchall et al. (2008).

### 2.2.2. Lodos residuales

Los lodos o biosólidos son subproductos líquidos, sólidos o semisólidos generados durante los procesos mecánicos, biológicos y químicos de purificación de las aguas servidas donde contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismos, metales pesados y agua (Cupe & Juscamaita, 2018), están formados principalmente por agentes contaminantes, debido a la acumulación de materias en suspensión y compuestos orgánicos en las condiciones de tratamiento (Díaz et al., 2015).

### 2.2.3. Tipos de lodos

#### a. Lodos primarios

Los lodos primarios, son producidos durante los procesos de tratamiento primario de aguas residuales (Amador & Bataller, 2015), esto ocurre después del desarenado y consiste en productos no disueltos de las aguas residuales (Oropeza et al., 2006), la cantidad de lodo producido está en función del caudal de agua tratada, cantidad de sólidos contenidos en dicho agua y de la eficiencia del sistema de decantación (Arif et al., 2020), y es altamente fermentables y su humedad varía entre un 93 % y un 99 % (Dentel et al., 2015).

#### b. Lodos secundarios

Los lodos secundarios, también conocidos como lodos en exceso, lodos biológicos o lodos activados, se producen de forma aeróbica en el tratamiento biológico (Anh & Sillanpää, 2020). Los lodos secundarios se componen principalmente de microorganismos y sólidos suspendidos adsorbidos y coloides adsorbidos.

La cantidad de lodos secundarios producidos depende principalmente de la edad del lodo y de la carga másica a la que tiene lugar el proceso biológico, es decir, de su grado de estabilización (Rosińska, 2019).

### c. Lodos terciarios

Lodos terciarios se producen a través de procesos de tratamiento posteriores, con adición de agentes floculantes (Anh & Sillanpää, 2020), se forma en los procesos de tratamiento avanzados que eliminan nutrientes químicos o mejoran la calidad de las aguas residuales (Sillanpää et al., 2020), las características de estos lodos son muy diferentes, ya que dependen de los tratamientos a los que han sido sometidos (Dentel & Qi, 2015).

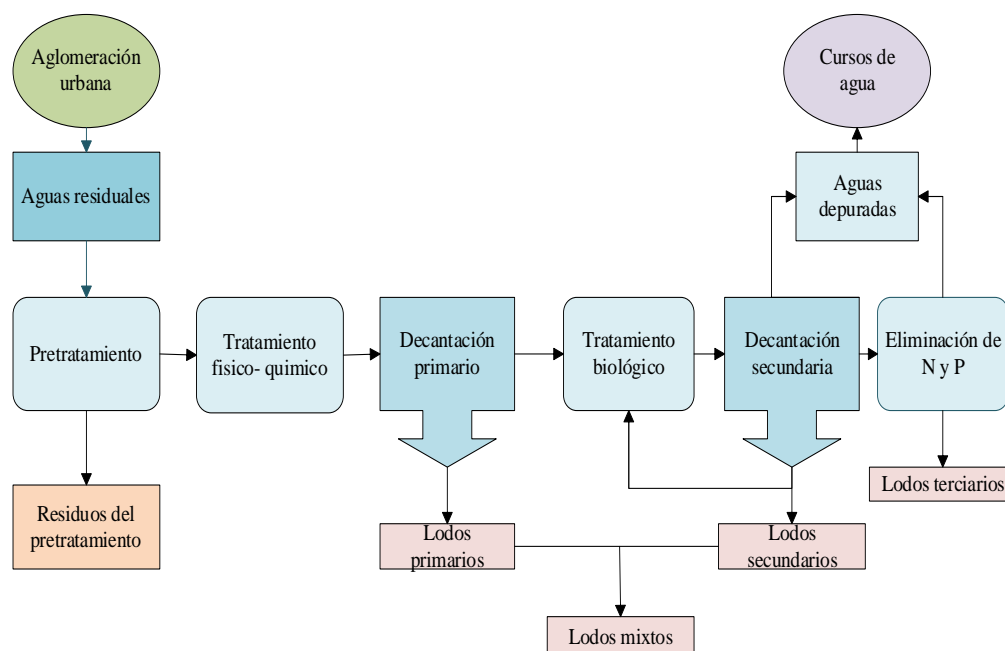


Figura 6. Puntos de generación de lodos en una EDAR: Sillanpää et al. (2020).

#### 2.2.4. Características de lodos residuales

Las características de lodos dependen principalmente de su origen, su tiempo de retención y el proceso de tratamiento (Zhang et al., 2021). La presencia de estos componentes en lodos es muy variable y depende de las características de las aguas residuales crudas y el sistema de tratamiento, por lo general se caracteriza por altos contenidos de metales pesados lo que incrementa el riesgo sanitario y medioambiental (Shao et al., 2020).

Tabla 1

*Características y composición de lodos.*

<b>Parámetros</b>	<b>Lodos primarios</b>	<b>Lodos secundarios</b>	<b>Lodos terciarios</b>
pH	5.5 - 6.5	6.5 - 7	6.8 - 7.6
Contenido de agua (%)	92 - 96	97.5 - 98	94 - 96
Grasas (%)	12 - 14	3 - 5	4 - 12
Proteínas (%)	4 - 14	20 - 30	10 - 20
Carbohidratos (%)	8 - 10	6 - 8	5 - 8
Nitrógeno (%)	2 - 5	1 - 6	3 - 7
Fosforo (%)	0.5 - 1.5	1.5 - 2.5	0.5 - 1.5
Bacterias patógenas (NMP/ 100 mL)	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>5</sup>	100 - 1000	10 - 100
Metales pesados (%)	0.2 - 2	0.2 - 2	0.2 - 2

Fuente: Oropeza (2006).

### **2.2.5. Metales en lodos residuales**

En la caracterización de lodos existe el contenido de metales pesados, los cuales están representados por un grupo de elementos químicos (Wang et al., 2020), aunque se presentan en concentraciones permisibles en lodos para su manejo de forma segura (Amador & Bataller, 2015), estos pueden contaminar las aguas subterráneas y aguas superficiales (Reuna & Väisänen, 2020) y pueden entrar en el cuerpo humano a través del efectos fitotóxicos, siendo la cadena suelo, cultivo y alimentación, amenazando así la salud humana (Geng et al., 2020).

Tabla 2

*Concentraciones de metales totales en lodos.*

<b>Metal</b>	<b>Concentración (mg/kg de lodo seco)</b>
Cadmio	20 - 40
Cobre	1 000 - 1 750
Níquel	300 - 400
Plomo	750 - 1 200
zinc	2 500 - 4000
Mercurio	16 - 25
Cromo	1 000 - 1 500
Arsénico	20 - 40
Selenio	50 - 100

Fuente: Amador & Bataller (2015).

### 2.2.6. Biodigestores

Son contenedores, con forma de cubeta o estanque, y pueden colocarse bajo tierra o en la superficie (Kiran et al., 2016), la cual consiste en una cámara cerrada donde se coloca la materia orgánica y sufre descomposición anaerobia, generando biogás que se acumulará en la parte superior de esa cámara (Ramos & Moreno, 2017).

Asimismo, son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás a partir de desechos agrícolas, estiércol entre otros, lo que permiten reducir la emisión descontrolada de metano (Tamkin et al., 2015).

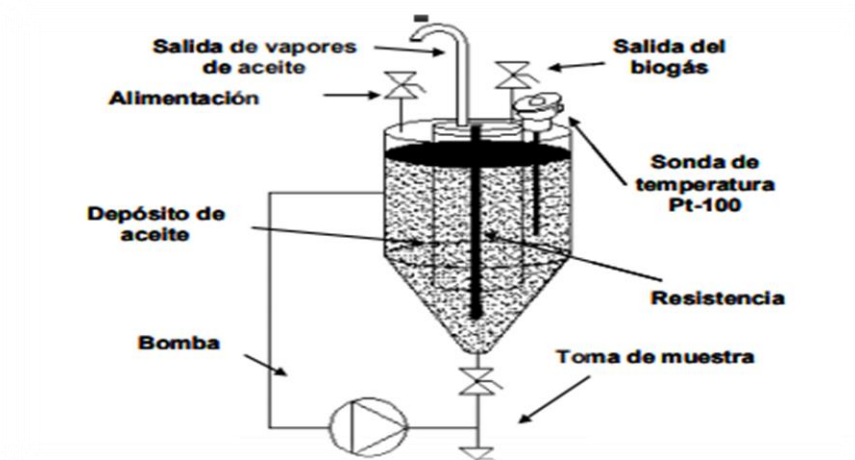


Figura 7. Esquema de un biodigestor y sus componentes: Ventura & Moreno (2017).

### 2.2.7. Tipos de biodigestores

Actualmente existe tres tipos de biodigestores, una de tipo discontinuo, continuo y semidiscontinuo, cada una de ellas adaptada a una realidad diferente y a una necesidad de biogás (Deganutti et al., 2020), los más sencillos caen dentro de la clasificación de digestores discontinuos o de cargas por lotes y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación (Balmant et al., 2014).

#### a. Biodigestores discontinuos (tipo bach)

Los biodigestores se cargan con las materias primas en una sola carga o lote, cada cierto tiempo de acuerdo a la cantidad de gas generado o de materia prima utilizada (FAO, 2011), se debe vaciar por completo el biodigestor y cargarlo iniciando de nuevo el proceso; conformado a su vez por una salida de gas (Tamkin et al., 2015), y una vez completada la degradación de los residuos hasta cierto punto, se vacían y se deja un 10 a 15% del contenido digerido como semilla para el siguiente ciclo de por lotes (reactores discontinuos secuenciados), dentro de las ventajas de este biodigestor están la facilidad de construcción, y el proceso de digestión (Uçkun Kiran et al., 2016).

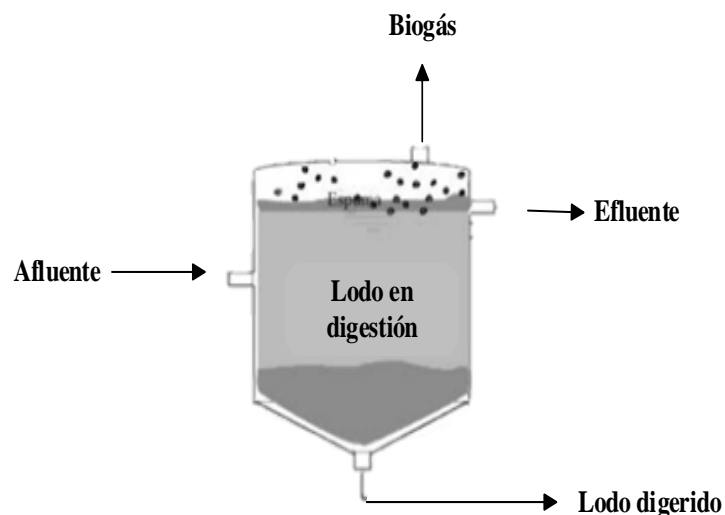


Figura 8. Biodigestores discontinuos: Rafael et al. (2021).

### 2.2.8. Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica se produce cuando la materia orgánica se descompone biológicamente en ausencia de oxígeno (Ileleji et al., 2020), en un entorno anaeróbico, los microorganismos especializados descomponen la materia orgánica compleja (carbohidratos, proteínas y grasas) en moléculas de menor masa atómica que son solubles en agua (azúcares, aminoácidos y ácidos grasos) de esta manera, reduce los patógenos olores, sólidos totales y libera biogás (Christy et al., 2014), mientras convierte un sustrato orgánico inestable, en un material más estable y rico en nutrientes (Ileleji et al., 2020).

Las poblaciones de microorganismos poseen una cinética de crecimiento descrita por las siguientes fases:

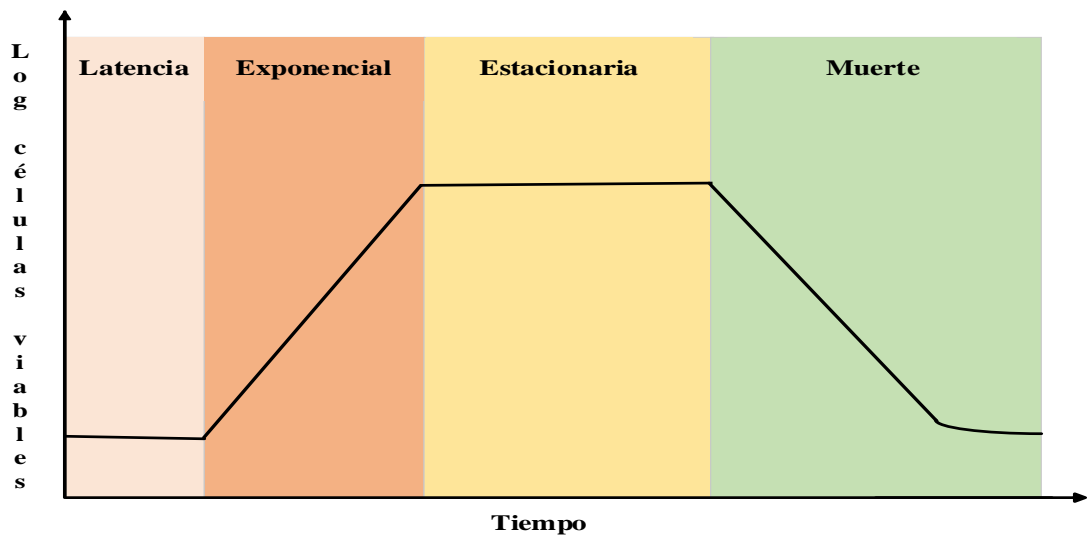


Figura 9. Curva de crecimiento de microorganismos: Christy et al. (2014).

La conversión de la materia orgánica presente en lodos se divide en cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Ramos & Moreno, 2017).



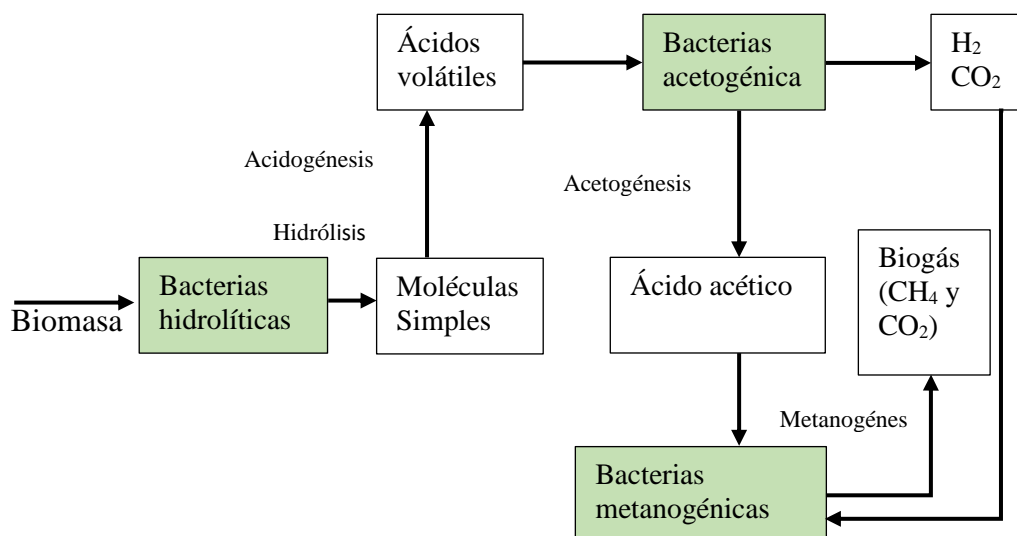


Figura 10. Fases del proceso anaeróbicos: Ruíz & Vargas (2016).

Asimismo, la digestión anaeróbica es tanto una tecnología de tratamiento de residuos, que mejora la calidad del medio ambiente, como una tecnología de producción de energía sostenible (Christy et al., 2014), ya que produce una fuente de energía limpia que contiene  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  y el  $\text{CH}_4$  tiene un alto contenido energético (50 - 55 MJ/kg) que puede utilizarse para aplicaciones de calor, electricidad y combustible (Tabatabaei et al., 2020).

Tabla 3

*Parámetros de las condiciones óptimas esenciales para la descomposición anaeróbica  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ .*

Parámetro	Proceso	Rangos
pH	Hidrólisis	5.5 - 6.5
	Acidogénesis	6.5 - 8.5
	Metanogénesis	6.5 - 8.2
Temperatura	psicrófilo	5 - 15 °C
	Mesófilo	20 - 40 °C
	Termófilo	50 - 65 °C
C: N relación		20-35
TRH		debe ser < 2 - 4 días
OLR		15 g/L COD
MC		60 % - 75 % (agua)

*MC: Contenido de humedad; TRH: Tiempo de retención hidráulica; OLR: Tasa de carga orgánica: Weatherford & Zhai (2015).*

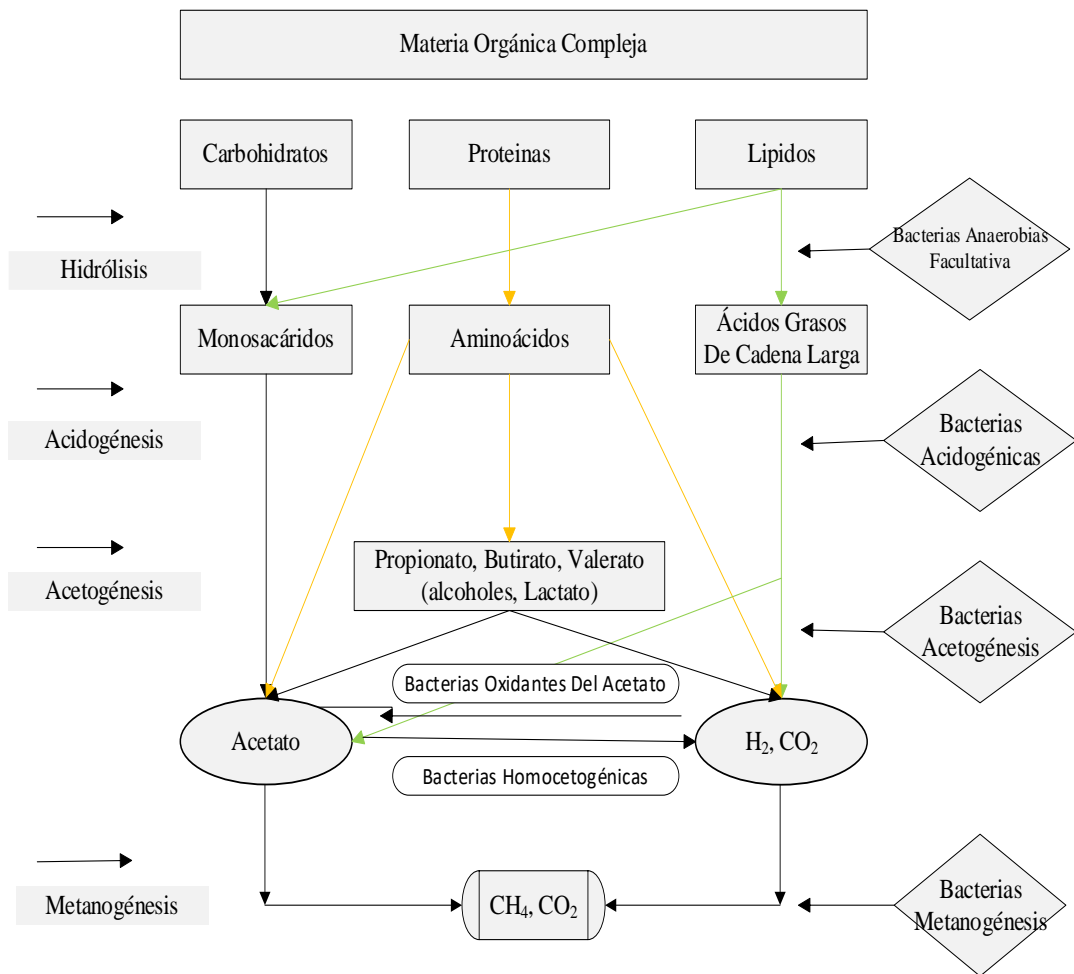


Figura 11. Representación esquemática de la descomposición anaeróbica: Christy et al. (2014).

### a. Hidrólisis

La hidrólisis es el primer paso esencial, ya que la biomasa está normalmente compuesta por polímeros orgánicos muy grandes, de modo que serían inutilizables (Sevillano et al., 2017). Las reacciones de degradación son catalizadas por bacterias hidrolíticas y fermentativas que constituyen principalmente una mezcla de celulasas, amilasas, proteasas y lipasas (Achinas et al., 2020), estos grandes polímeros, es decir, las proteínas, las grasas y los hidratos de carbono, se descomponen en moléculas pequeñas, como aminoácidos, ácidos grasos y azúcares simples (Kirk & Gould, 2020).

### b. Acidogénesis

La acidogénesis es el siguiente paso de la digestión anaeróbica en el que los microorganismos acidogénicos descomponen aún más los productos de la biomasa tras la hidrólisis (Sevillano et al., 2017), estas bacterias fermentadoras

producen un ambiente ácido en el digestor mientras crean amoníaco, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, ácidos grasos volátiles más cortos, ácidos carbónicos, alcoholes y tienen una alta tasa de crecimiento y pueden tolerar pH de (5 - 6) (Kiran et al., 2016).

**c. Acetogénesis**

Las bacterias acetogénicas son anaerobias estrictas, tienen un pH óptimo alrededor de 6 y se aíslan principalmente de hábitats anóxicos (Ramos & Moreno, 2017), la acetogénesis lleva tiempo ya que el crecimiento de las bacterias acetogénicas son lentos (Kiran et al., 2016), y es un sub paso de la etapa de formación de ácido y se completa mediante la fermentación de hidratos de carbono, dando lugar a acetato, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub> que pueden ser utilizados por los metanógenos para formar metano (Achinas et al., 2020).

**d. Metanogénesis**

La metanogénesis constituye la etapa final de la digestión anaeróbica en la que los metanógenos crean metano a partir de los productos finales de la acetogénesis (Sevillano et al., 2017). Hay dos grupos microbianos diferentes que producen metano y dióxido de carbono a partir de diferentes sustratos (Kirk & Gould, 2020).

El primer grupo es de los metanógenos acetoclásticos que crecen en el ácido acético y producen metano (Kiran et al., 2016), el segundo grupo es el de los metanógenos utilizadores de hidrógeno que utilizan el hidrógeno y el dióxido de carbono para producir metano (Kiran et al., 2016).

**2.2.9. Biogás**

El biogás es un gas inodoro e incoloro que arde como una llama azul clara similar a la del gas GLP (Christy et al., 2014), y se genera a partir de diferentes sustratos mediante la digestión de la materia prima, donde los microorganismos facilitan el proceso de conversión de la materia (Adams, 2018) y suele estar compuesto por metano (60 %), dióxido de carbono (40 %), vapor de agua y trazas de sulfuro de hidrógeno (Ileleji et al., 2020), el biogás puede utilizarse gas natural (calefacción, sistemas combinados de calor y electricidad, pilas de combustible) (Surroop et al., 2019).

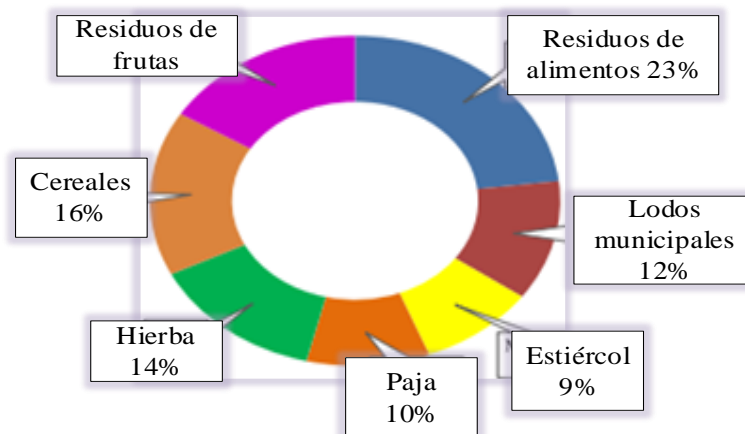
Tabla 4

*Composición típica del gas biogás (porcentaje volumétrico).*

<b>Componente de biogás</b>	<b>Componente del biogás (%)</b>
Metano (CH <sub>4</sub> )	45 - 65
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	30 - 40
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.3 - 3
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	0 - 1
oxígeno (O <sub>2</sub> )	0 - 2

Fuente: Kirk & Gould (2020).

Asimismo, la composición del biogás depende del sustrato que se utilice para alimentar el biodigestor, de la tecnología utilizada y de la temperatura de procesos.



*Figura 12.* Cuota global de los diferentes tipos de biomasa utilizados para la producción de biogás: Tabatabaei et al. (2020).

Al igual que el gas natural, el biogás tiene una amplia variedad de usos, pero al ser un derivado de la biomasa, constituye una fuente de energía renovable. Existen diversos beneficios derivados del proceso de conversión de residuos orgánicos en biogás ver figura 13.

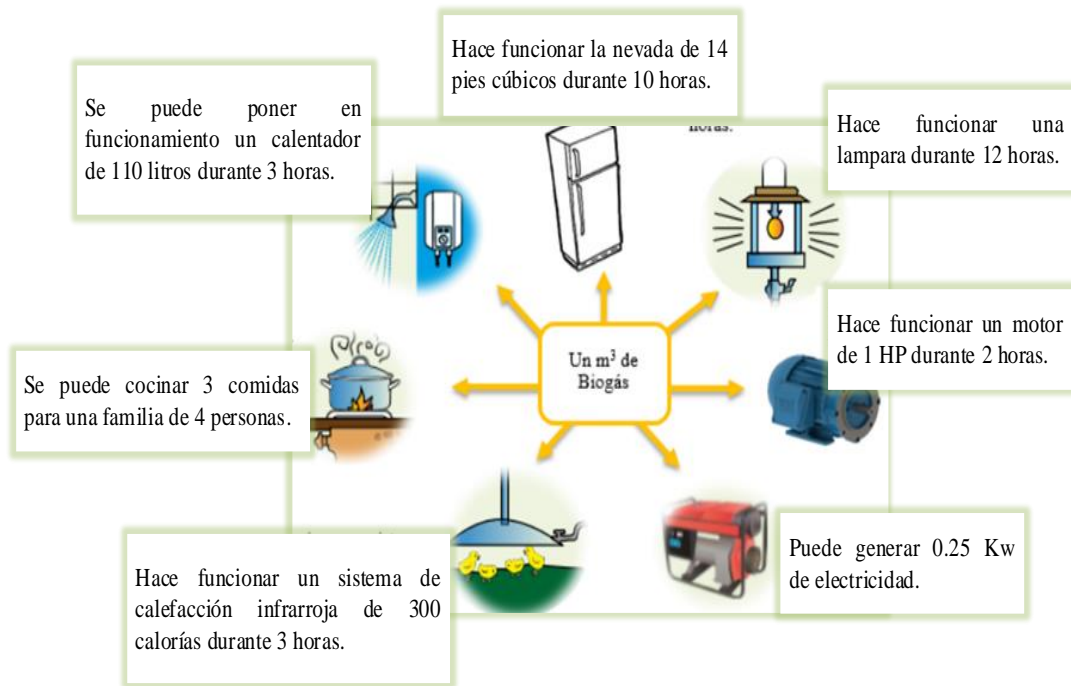


Figura 13. Beneficios del biogás: Quincho (2020).

**a. Metano (CH<sub>4</sub>)**

El metano es el principal componente del biogás, y le confiere la capacidad calorífica que este tiene con una concentración de entre 45 % y 70 % molar (FAO, 2019). Asimismo, el metano retiene el calor en la atmósfera y ayuda a mantener un ambiente cálido, el problema es cuando hay demasiado metano: las capas de gases de invernadero se vuelven más grandes, reteniendo más calor de forma excesiva, calentando el planeta (Mendoza & Jimenez, 2017).

**b. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

Dióxido de carbono es el segundo gas más importante por su proporción, su concentración varía en un rango de 25 % a 45 % molar (FAO, 2019), es un compuesto incoloro e inodoro que en concentraciones bajas no es tóxico y en concentraciones altas provoca alta frecuencia respiratoria (Sevillano et al., 2017). Su eliminación no es aconsejable salvo en los casos de almacenaje del biogás a altas presiones (Humberto & Gonzalez, 2015).

### **c. Sulfuro de hidrogeno (H<sub>2</sub>S)**

Sulfuro de hidrógeno, es generado por microorganismos anaeróbicos reductores de sulfato ante la presencia de este, en cantidades que varían en función de la composición del sustrato utilizado para alimentar el biodigestor (Humberto & Gonzalez, 2015). Aún en muy bajas concentraciones, el H<sub>2</sub>S es tóxico para humanos y animales, y altamente corrosivo (Sevillano et al., 2017), en una muestra cruda de biogás, el valor de H<sub>2</sub>S puede variar en un rango entre 5 000 y 50 000 partes por millón (FAO, 2019).

## **2.2.10. Parámetros importantes en el proceso de obtención de biogás**

Los parámetros vitales que influyen en la producción de biogás son el diseño del digestor, el tipo de inóculo el pH, la temperatura, la relación C/N, el tiempo y de retención de sólidos (TRS), agitación, metales pesados (Christy et al., 2014). Sabiendo que la digestión anaerobia es un proceso bioquímico complejo, es necesario mantener las condiciones óptimas para la realización tanto de las reacciones químicas en el biodigestor (Sevillano et al., 2017).

### **a. Humedad**

Las condiciones anaeróbicas que favorecen la generación de metano es del 50 al 70 % de humedad (Cárdenas et al., 2013). Es recomendable la recirculación, ya que si se aumenta la humedad levemente se acelera el proceso de generación de gas considerablemente (Rafael et al., 2021), la cantidad de agua existente en la materia a utilizar se obtiene al secarse el material a 104 °C, hasta que pierda peso (Reyes, 2017).

### **b. Nutrientes**

Las diversas materias primas utilizadas en el proceso de biodigestión pueden ser de origen vegetal, animal, agrícola, entre otros (FAO, 2011). La presencia o no de carbono, nitrógeno, hidrógeno, fósforo, permite la obtención de biogás de manera proporcional a la cantidad del nutriente.

Cabe destacar, que en caso de lodos, los sistemas de tratamiento de aguas residuales aceleran el proceso de generación de gas (Mayanga & Bonilla, 2007), mientras que para el sector rural el estiércol contiene el carbono necesario para la producción de biogás (Pérez, 2010).

### c. Tiempo de retención hidráulica

También se conoce como tiempo de residencia hidráulica, una medida del tiempo medio que el efluente industrial (líquido) permanece en un biorreactor (Khanal et al., 2017). Por lo tanto, representa el tiempo que la materia orgánica permanece en contacto con los microbios (Reyes, 2017).

El tiempo de permanencia dentro del biodigestor depende también de las características del sustrato y del contenedor; la temperatura de la región, entre mayor temperatura menor tiempo de retención será necesario (Rafael et al., 2021).

### d. pH

Debido a la compleja composición de la biomasa, es difícil alcanzar un estado estable durante la descomposición anaerobia, la metanogénesis se produce en un rango de pH entre 6 y 8.5, con un rango óptimo de pH óptimo de 7.0 a 8.0. (Kiran et al., 2016). Por otra parte, pH con valores menos de 6.2 interrumpen la producción de biogás (Rafael et al., 2021).

### e. Sustancias inhibidoras

Las sustancias inhibidoras (tóxicas) pueden entrar al biodigestor a través de las materias primas que ingresan a este; de acuerdo a la concentración de estas pueden fomentar o inhibir el proceso (Rafael et al., 2021). Los sistemas anaerobios son particularmente vulnerables a altas concentraciones de metales pesados estos han llegado a detener completamente la producción de biogás (Sevillano et al., 2017).

Tabla 5

*Concentraciones (mg/L) de compuestos inorgánicos inhibitorios del proceso anaerobia.*

<b>Metal</b>	<b>Límite de toxicidad (mg/L)</b>
Cr	< 180
Cu	< 50
Ni	< 30
Cd	> 10
Pb	> 250
Zn	< 1700

Fuente: Campos (2001).



### 2.2.11. Temperatura

La producción de biogás está altamente influenciada por la temperatura, ya que afecta al rendimiento bacteriano dentro de un digestor anaeróbico (Pramanik et al., 2019). La mayoría de los digestores convencionales funcionan en la gama mesofílica, es decir, entre 12 y 35 °C (Sevillano et al., 2017), normalmente se clasifican en tres tipos, es decir, temperaturas psicrófilos, mesófilas y termófilas (Im et al., 2020).

- **Psicrófilo ( $T^{\circ} < 25^{\circ} \text{C}$ ):** A bajas temperaturas la aclimatación de los microorganismos al medio es lenta, estas condiciones de temperatura son aconsejables para el tratamiento de residuos ganaderos y vertidos urbanos (Tyagi et al., 2014).
- **Mesófilo ( $25^{\circ} \text{C} < T^{\circ} < 45^{\circ} \text{C}$ ):** En este intervalo de operación trabajan la mayoría de digestores, a partir de 25 °C la producción de biogás aumenta un 1 % por cada grado de temperatura aumentado (Sáez, 2017).
- **Termófilo ( $T^{\circ} > 45^{\circ} \text{C}$ ):** Las temperaturas elevadas incrementan la velocidad de crecimiento de los microorganismos, y proporcionan un mayor rendimiento del proceso, también favorecen la eliminación de patógenos (Tyagi et al., 2014).

Tabla 6

*Condiciones en cada etapa del proceso de digestión anaerobia.*

<b>Parámetro</b>	<b>Hidrólisis</b>	<b>Acidogénesis</b>	<b>Acetanogénesis</b>
Temperatura	< 20 °C	Entre 30 °C y 40 °C	Entre 50 °C y 70 °C
pH	7.2 - 7.4	7 - 7.2	6.5 - 7.5

Fuente: Gonzales et al. (2015).

Para cada fases de la digestión anaerobia se requieren condiciones climatológicas (Sevillano et al., 2017). De tal manera, en zonas tropicales se tiene el clima óptimo de manera natural; las temperaturas bajas retrasan el proceso de producción de biogás (Rafael et al., 2021).

## **CAPITULO III**

### **MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. Ámbito de estudio**

La presente investigación se llevó a cabo en lagunas de estabilización de la ciudad de Juliaca, en la comunidad Chilla, el mismo que se encuentra a 5 km de la ciudad. Posteriormente se continuó con los análisis de los datos (temperatura ambiente y acondicionada con cobertura) en las instalaciones Universidad Nacional de Juliaca (Sede Ayabacas), ubicada en el distrito de San Miguel, Provincia de San Román.

#### **3.2. Tipo, nivel y diseño de investigación**

El tipo y nivel de investigación es aplicada, y el diseño de la investigación es experimental, ya que en el estudio se llegará a conocer el efecto de la temperatura en el proceso de obtención de biogás bajo condiciones rigurosamente controladas.

#### **3.3. Población y muestra**

##### **3.3.1. Población**

La población de estudio está constituida por lodos almacenados en las 8 lagunas de estabilización de la ciudad de Juliaca.

### 3.3.2. Tamaño de muestra

El número de muestras se realizó de acuerdo a lo sugerido en el protocolo de monitoreo de biosólidos (ver anexo 3), donde se obtuvieron 31 muestras puntuales por cada laguna, debido al caudal de 260 L/s de ingreso a las lagunas de estabilización (SEDA, 2007), y los puntos de muestreo fueron de forma estratificado aleatorio, el peso total de las muestras realizada se expresa en la tabla 7.

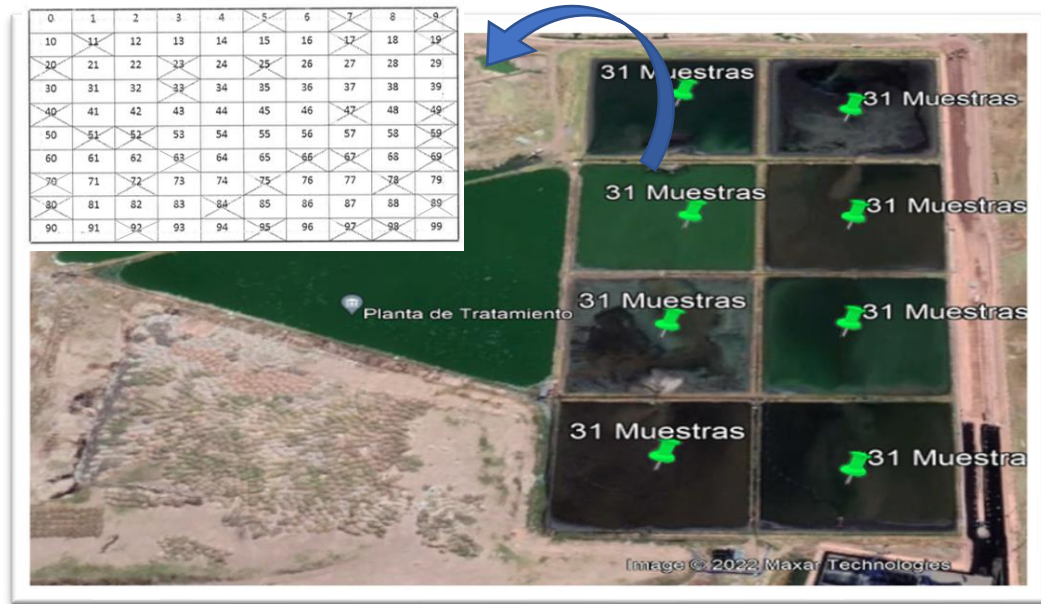


Figura 14. Puntos de muestreo de lodos residuales de lagunas de estabilización – Juliaca.

Tabla 7

*Cantidad de muestras de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca.*

Lagunas	Tamaño de muestra			
	Muestra puntual por laguna	Peso de la muestra puntual (kg)	Peso de la muestra compuesta (kg)	Peso total de las muestras de las 8 lagunas
Lag. 1	31 puntos	1.1	34.1	273 kg
Lag. 2	31 puntos	1.1	34.1	
Lag. 3	31 puntos	1.1	34.1	
Lag. 4	31 puntos	1.1	34.1	
Lag. 5	31 puntos	1.1	34.1	
Lag. 6	31 puntos	1.1	34.1	
Lag. 7	31 puntos	1.1	34.1	
Lag. 8	31 puntos	1.1	34.1	

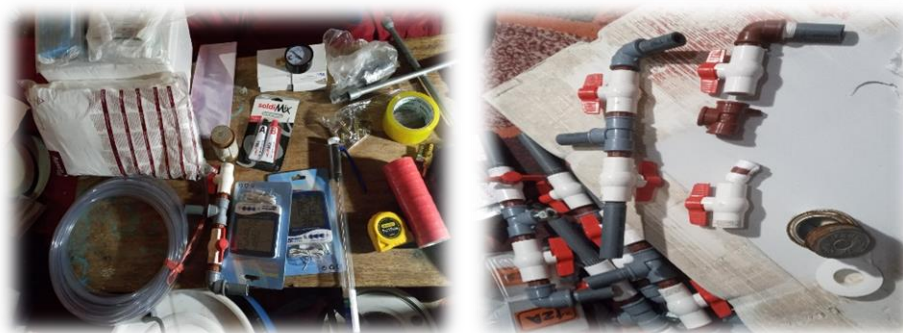
### **3.4. Instrumentos, materiales y equipos**

#### **3.4.1. Instrumentos y equipos de campos**

Se utilizó una cámara fotográfica (CANON - serie 4x), GPS de mano (GARMIN - montana 650), 6 manómetros de presión (NOVUS – DPGM8001), 2 termómetros Sh (BOECO - calidad A1), 1 termómetros tipo T con vástago (BOECO - serie TP 101), kit de muestreo de lodos, 2 baldes de 20 L, 1 cuchara de acero inoxidable, 1 flexómetro, 1 pala muestreador de acero fundido, 1 paquete de guantes de látex quirúrgico, 1 caja de barbijo 3M.

#### **3.4.2. Materiales para el acondicionamiento del biodigestor**

Se utilizó 6 bidones de 60 L, 6 paletas, 6 rodajes, 6 retenes, 6 tubos de hierro galvanizado de 2 pulgadas, 6 adaptadores de 1/2 pulgada, 24 pernos, 1 tubo PVC de 5 cm, 6 codos PVC de 90° de 1/2 pulgada, 6 tee PVC de 1/2 pulgada, 6 reducciones campana de 1/2 pulgada a tres cuartos, 2 niples PVC de 1/2 pulgada, 6 llaves de paso PVC de 1/2 pulgada, 6 cámaras de carretilla, 2 pegamentos PVC, 6 teflones, 1/2 kilo de clavos de dos pulgadas, 1 paquete de cinta de madera, 4 puntales de 1m, plástico agrofilm de 4 x 3 m.



*Figura 15. Materiales para el biodigestor.*

#### **3.4.3. Equipos y materiales de escritorio**

Computadora personal (HP - Serie 240 G7), memoria USB, papeles A4, cuaderno de apuntes, lapiceros, impresora (EPSON - serie L3150), carpera de recopilación de datos.

#### **3.4.4. Material biológico**

El material biológico consto de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca.

### 3.5. Procedimiento metodológico

#### 3.5.1. Determinación de las características fisicoquímicas, microbiológicas y metales totales de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca.

##### a. Análisis fisicoquímico y microbiológico

Los lodos residuales fueron extraídos de las 8 lagunas de estabilización de la ciudad de Juliaca para ello se empleó la metodología establecida en el protocolo de monitoreo de biosólido aprobado con Resolución Ministerial N° 093-2018-Vivienda (ver anexo 3), previamente se extrajo manualmente materiales no biodegradables, por otro lado, se extrajo una muestra compuesta empleando el método de cuarteo hasta obtener 2 kg de muestra homogénea (figura 16) seguidamente se envasó en bolsa ziploc rotulada, posteriormente se transportó en una caja de almacenamiento térmico con refrigerante ice (4 °C) (Vivienda, 2018).

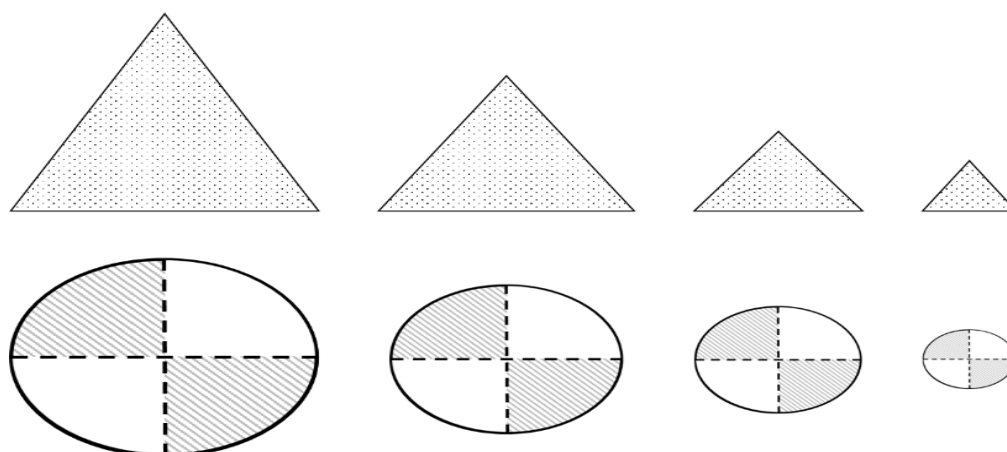


Figura 16. Muestreo por cuarteo: Lassaga (2011).

Los análisis fueron realizados, por el laboratorio certificado denominado laboratorios analíticos del Sur E.I.R.L ubicado en el Parque Industrial Rio Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa- Perú, a fin de efectuar el análisis de parámetros microbiológicos tales como; huevos de helmintos, coliformes fecal, salmonella, y parámetros fisicoquímicos como; pH, humedad, fosforo, potasio, carbono orgánico, materia orgánica y nitrógeno total las técnicas y métodos utilizados se describen en la tabla 8.

Tabla 8

*Métodos utilizados para los análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de lodos.*

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método de ensayo aplicado</b>
<b>Parámetros fisicoquímicos</b>		
pH	-	7023 Determinación de pH 1:2 potenciometría en suelos.
Humedad	%	7097 Método de ensayo para la determinación de humedad a 70 °C.
Fosforo	mg/kg	7003 EPA 200.7. Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos.
Potasio	mg/kg	7004 EPA 200.7. Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos.
Carbono orgánico	%	7021 Método de ensayo para carbono orgánico total - fotometría en suelos y sedimentos.
Materia orgánica	%	7006 Método de ensayo para materia orgánica- fotometría en suelos y sedimentos.
Nitrógeno total	g/kg	7005 Método de ensayo para nitrógeno total por destilación-fotometría en suelos y sedimentos.
<b>Parámetros microbiológicos</b>		
Coliformes fecal	NMP/g	7070 Numeración de coliforme fecal. ISO 4831:2006 - técnica del número más probable en sedimentos.
Salmonella	NMP/g	7114 Detección de salmonella: SMEWWAPHA-AWWA-WEF. Part -9260 B.
Huevos de helmintos	Pres. o Aus./g	7020 Recuento huevos y larvas de helmintos.

Fuente: Laboratorios analíticos del Sur (LAS) Arequipa – Perú, 2021.

#### **b. Análisis de metales totales**

Se extrajo una muestra compuesta empleando el método de cuarteo hasta obtener 1 kg de muestra homogénea, seguidamente se envasó en bolsa ziploc rotulada, este fue transportado en una caja de almacenamiento térmico con refrigerante ice (4 °C) para el análisis de la concentración de los metales pesados totales; arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc, debido a que las investigaciones demuestran la existencia de estos metales pesados en los lodos residuales (Emamjomeh & Farzadkia, 2017), los análisis fueron realizados por el laboratorio certificado denominado Laboratorio Analíticos del Sur E.I.R, ubicado en el Parque Industrial Rio Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa- Perú, las técnicas y métodos utilizados se describen en la tabla 9.

Tabla 9

*Técnicas y métodos utilizados para los análisis de metales totales.*

Variable	Unidad	Método de ensayo aplicado
<b>Contenido de metales totales</b>		
Arsénico (As)	mg/kg	7002 EPA 200.7 Determinación de Arsénico en Suelos y Sedimentos (Lixiviación Acida) por ICP -OES.
Cadmio (Cd)	mg/kg	7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES.
Cobre (Cu)	mg/kg	7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES.
Cromo (Cr)	mg/kg	7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES.
Níquel (Ni)	mg/kg	7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES.
Plomo (Pb)	mg/kg	7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES.
Zinc (Zn)	mg/kg	7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES.
Mercurio (Hg)	mg/kg	7022 EPA 200.7 Determinación de Mercurio en Suelos y sedimentos (Lixiviación Acida).

Fuente: Laboratorios analíticos del Sur (LAS) Arequipa – Perú, 2021.

### **3.5.2. Determinación del efecto de la temperatura ambiente y acondicionada con cobertura en el tiempo y volumen en la obtención de biogás a partir de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca.**

#### **a. Medición de temperatura ambiente y acondicionada con cobertura**

Se determinó mediante el termómetro Sh-110 BOECO - calidad A1, es un equipo que tiene certificado de calibración por el instituto nacional de calidad-Perú (INACAL), mediante este equipo se monitoreo la temperatura ambiente y acondicionada con cobertura (fig. 17), durante los meses de Mayo - Agosto en los horarios de 7:00 am, 1:00 pm y 6:00 pm diariamente, donde el instrumento se dispuso en el medio de los tres biodigestores a temperatura ambiente y acondicionado con cobertura (invernadero) durante 3 minutos y posteriormente se registró los datos.



*Figura 17.* Monitoreo de temperatura ambiente y acondicionada con cobertura.

Para ver el efecto del tiempo en el proceso de obtención de biogás a temperatura ambiente y acondicionada con cobertura, se realizó de acuerdo a los métodos directos mediante la técnicas de observación (Retamoso, 2019), registrándose en una ficha de recolección de datos a temperatura ambiente y acondicionada con cobertura (ver anexo 2), donde se registró desde la fecha de inicio y durante la producción de biogás.

**b. Determinación del volumen a temperatura ambiente y acondicionada con cobertura.**

Según España (2018), en su investigación realizada utilizó la fórmula de los gases ideales deducida por Émile Clapeyron, para calcular la producción de biogás del biodigestor a partir de residuos orgánicos, tomando como referencia la fórmula siguiente:

$$PV=nRT \tag{1}$$

Donde:

P: presión (atm.)

V: volumen del biodigestor = 60 L

n: número de moles (mol) = Variable calculada

R: constate universal de los gases= 0.082 atm.L/K mol

T: temperatura del biodigestor (K)

Pasos para el cálculo del volumen:



Paso 1: Se calcula el número de moles con la formula descrita.

Paso 2: Se asume que 1 mol de gas ideal ocupa un volumen de 22.4 L en condiciones normales, por lo tanto, con el número de moles calculado se aplica la regla de tres simples para hallar el volumen del biogás.

Nota: Para la temperatura interna del biogás se considera 1 °C más que la temperatura del ambiente según Noreña (2018). Dado que 1 mol de gas ideal ocupa un volumen de 22.4 L en condiciones normales, realizando la regla de tres simples:

$$x = (b \cdot c) / a \tag{2}$$

Donde:

a: 1 mol

b: 22.4 L de gas

c: número de moles calculado (mol)

x: volumen de biogás (L de gas/día)

### 3.5.3. Análisis de datos.

Para poder comprobar la normalidad de los datos obtenidos, se utilizó la prueba de Shapiro – Wilk y para ello se utilizó el software SPSS. Asimismo, para la prueba de hipótesis se utilizó el T de Student con un nivel de confianza del 95 %.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \tag{3}$$

Donde:

$\mu$ : media de la población.

$\bar{x}$ : media de la distribución de los datos.

n: tamaño de la muestra.

s: error estándar de la muestra.

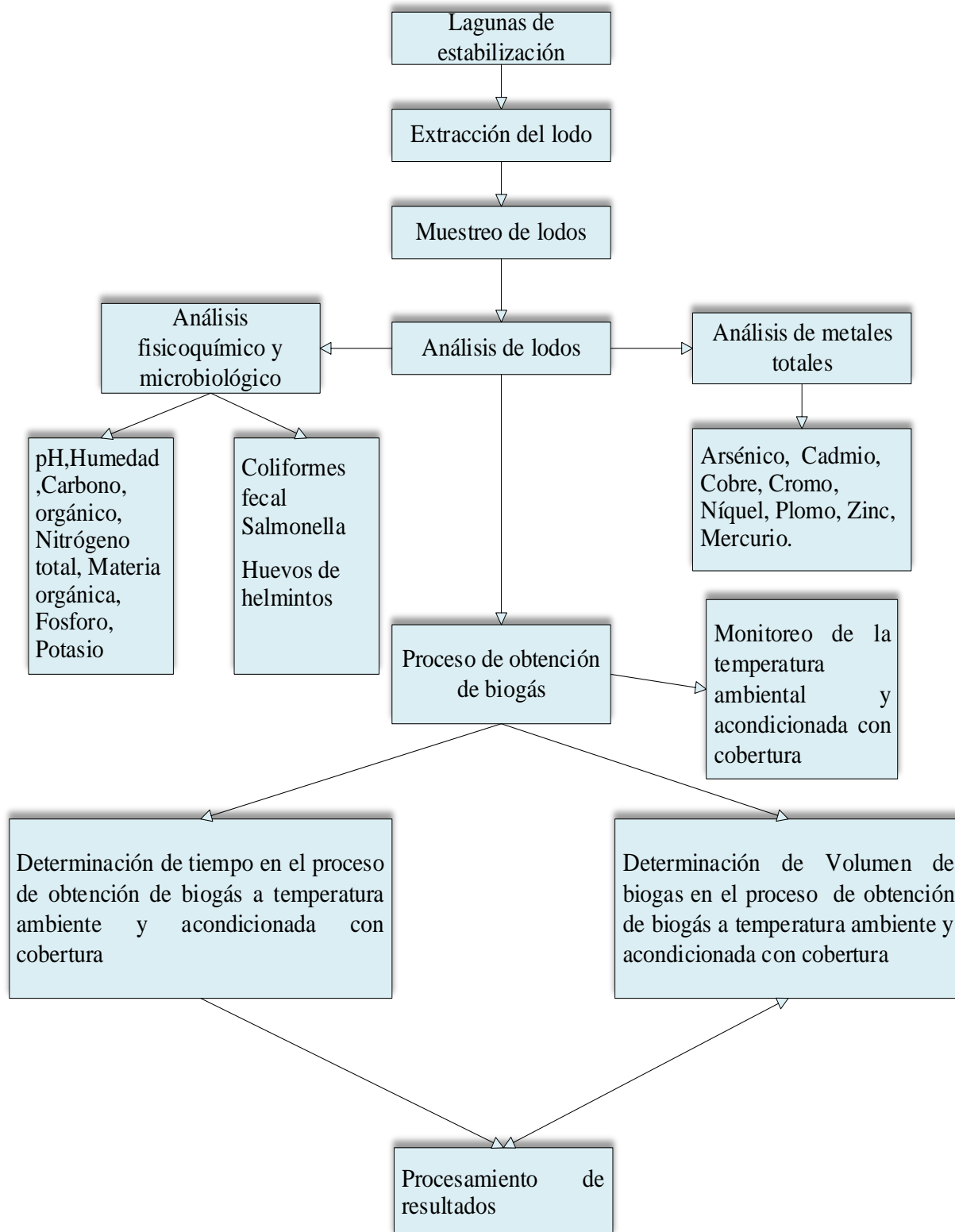


Figura 18. Flujoograma del proceso de investigación.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **4.1. Características fisicoquímicas, microbiológicas y metales totales de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca.**

##### **4.1.1. Parámetros fisicoquímicos**

En la Tabla 10 se puede evidenciar los resultados de las características fisicoquímicas de lodo empleado en la presente investigación, las muestras de lodos tuvieron un pH inicial de 6.93, lo que indica que los lodos son ligeramente ácido, de igual manera, Huanca (2017) quien reportó un pH de 7.60 en muestras de lodos, de la misma forma Tarapa (2015) obtuvo un pH de 7.34 y según Varnero (2011) en el manual de biogás establece que el pH debe oscilar entre 6.5 y 8 para que la digestión se desarrolle satisfactoriamente y producir biogás, por lo cual el valor obtenido se encuentra dentro del rango óptimo.

El valor de la humedad fue de 78 %, según Mahmudul et al. (2021), indica que el contenido de humedad debe estar en el rango de 60 % - 75 %, por lo cual, el resultado obtenido favorecerá en la etapa inicial del proceso de la descomposición anaeróbica, mientras que Abregú et al. (2019) obtuvo 70.3 %, de la misma manera Quispe (2019) reportó el contenido de humedad de 83.9 %, y el porcentaje de materia orgánica que se tuvo fue de 81.54 %, de la misma forma, Tarapa (2015) obtuvo 31.03 %, lo que indica Sevillano et al. (2017) en su artículo de investigación que para una óptima producción de biogás los lodos deben contener mayor al 50 % de materia orgánica, ya que en su mayoría estos se convierten en metano y están presentes en todos los procesos.

Tabla 10

*Resultados de características fisicoquímicas de lodos.*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valores iniciales de lodos (M-1)</b>
pH	-	6.93
Humedad	%	78
Fósforo (P)	mg/kg	1340
Potasio (K)	mg/kg	2877
Nitrógeno total (N)	g/kg	24.3
Materia orgánica (MO)	%	81.54
Carbono orgánico	%	47.3
C/N		19.5

Respecto de los nutrientes, los valores obtenidos de fósforo, potasio y nitrógeno fueron de 1340 mg/kg, 2877mg/kg, 24.3 g/kg respectivamente, superando los resultados obtenidos por otras investigaciones, como Quispe (2019) quien obtuvo 3724mg/kg, 3100 mg/kg, 1.6138 % respectivamente, estos elementos son esenciales para garantizar el crecimiento y la actividad de las bacterias (Acosta, 2005). Asimismo, la relación de C/N fue de 19.5 mientras que Tarapa (2015) obtuvo 13.7, según la investigación de Varnero (2011) establece en el manual de biogás que el carbono y nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas por lo que la relación óptima de estos dos elementos se considera en un rango de 20 a 30.

Por ende, las características fisicoquímicas del inoculo son apropiadas para llevar a cabo el proceso de digestión anaeróbica, debido a su alta concentración de asociaciones microbianas, el cual lo convierte en un inóculo eficaz para la producción de biogás.

#### 4.1.2. Parámetros microbiológicos

En la Tabla 11 se presentan los resultados obtenidos de la caracterización microbiológica de lodos residuales en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca, donde la concentración de coliforme fecal fue de  $15 \times 10^6$  NMP/ 1g ST, helmintos y parásitos 18 N°/ 4g ST y por último existió la presencia de salmonella, por tal motivo, de acuerdo al decreto supremo N°015-2017-VIVIENDA sobrepasan los límites máximos permisibles, por lo tanto necesitan tratamiento para eliminar los patógenos presentes. Asimismo, Quispe (2019) obtuvo concentraciones de coliforme fecal  $2.4 \times 10^6$ , salmonella ssp.  $< 3$ , huevos de helmintos 1. Por tanto, el proceso anaerobio es una alternativa para lograr este fin, puesto que, el rango termofílico asegura la eliminación de los patógenos, huevos y larvas de insectos (Acosta, 2005).

Tabla 11

*Resultados de análisis microbiológico.*

Parámetro	Detalle	Unidad	M-1	M-2
			Temperatura Ambiente	Temperatura con Cobertura
Coliforme fecal	Inicial	(NMP/ 1g ST)	$15 \times 10^6$	$15 \times 10^6$
	Final	(NMP/ 1g ST)	430	230
	% remoción	-	99.80	99.56
	limite	(NMP/ 1g ST)	$< 1000.000$	$< 1000.000$
Helmintos y parásitos	Inicial	(N°/ 4g ST)	18	18
	Final	(N°/ 4g ST)	3	0
	% remoción	-	83.3	100
	limite	(N°/ 4g ST)	$< 1$	$< 1$
Salmonella	Inicio	(N°/ 4g ST)	presencia	presencia
	Final	(N°/ 4g ST)	ausencia	ausencia
	limite	(N°/ 4g ST)	$< 1$	$< 1$

Finalmente, en la tabla 11 también revelan los resultados finales de los parámetros microbiológicos (temperatura acondicionada con cobertura y temperatura ambiente), donde se observa que las concentraciones más representativas fueron con temperatura acondicionada con cobertura dando como resultado, coliforme fecal con una remoción de 99.56 %, helmintos y parásitos 100 % de remoción y ausencia de salmonella, demostrando que cumple con el parámetro de higienización que

establece el Decreto Supremo N° 015-2017-TR, que aprueba el reglamento para el reaprovechamiento de los lodos. Por tanto, esto indica que la digestión anaeróbica reduce la cantidad de coliformes fecales, salmonella y organismos patógenos.

#### **4.1.3. Metales totales**

En la tabla 12 se observa las concentraciones de metales totales en lodos donde se obtuvieron concentraciones de 0.75 mg/kg, 22.13 mg/kg, 27.9 mg/kg, 7.6 mg/kg, 7.75 mg/kg, 130.29 mg/kg de cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y zinc respectivamente, estos valores obtenidos son menores a los límites de inhibición y toxicidad de metales mostrados en la tabla 5, donde según Campos (2001) indica que para cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y zinc deben tener valores mayores a 10 mg/L, 180 mg/L, 50 mg/L, 30 mg/L, 250 mg/L, 1700 mg/L respectivamente, para que se consideren elementos inhibidores.

Asimismo, Abregú et al. (2019) obtuvo resultados de cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y zinc con concentraciones de <0.10 mg/Kg, 26.07 mg/Kg, 159.33 mg/Kg, 0.5 mg/kg, 1 0.2 mg/kg respectivamente. Por otro lado, Quispe (2019) reportó los valores obtenidos de cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y zinc en lodo de 5.72 mg/kg, 19.50 mg/kg, 89.27 mg/kg, 10.39 mg/kg, 22.42 mg/kg, 360 mg/kg respectivamente, datos superiores en su mayoría a los datos obtenidos, lo que indica que las altas concentraciones de metales totales actúan de forma letal sobre los microorganismos y han llegado a detener completamente la producción de biogás. Por tanto, los valores obtenidos de metales totales en lodos no influirán significativamente en la producción de biogás.

Tabla 12

*Resultado de la concentración de metales totales en lodos residuales.*

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite de toxicidad (mg/kg)
Arsénico	mg/kg	5.14	-
Cadmio	mg/kg	0.757	> 10
Cromo	mg/kg	22.13	< 180
Cobre	mg/kg	27.9	< 50
Plomo	mg/kg	7.75	> 250
Mercurio	mg/kg	1.04	-
Níquel	mg/kg	7.6	< 30
Zinc	mg/kg	130.29	< 1700

Asimismo, en la tabla 13 se muestra las concentraciones finales de metales totales (arsénico cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc) después de la obtención del biogás, concluyendo que todas las concentraciones de metales totales, tanto para temperatura ambiente como para temperatura con cobertura están por debajo de los límites establecidos por el decreto supremo Limite D.S. 015-2017-VIVIENDA, por ende, pueden ser clasificados como biosólidos de clase A y/o de clase B.

Tabla 13

*Resultado de tratamientos a temperatura ambiente y acondicionado con cobertura.*

Parámetro	Detalle	Unidad	M-1	M-2	Limite D.S. 015-2017-Vivienda
			Temperatura Ambiente	Temperatura con Cobertura	
Arsénico	Final	mg/kg	33.83	28.55	40
Cadmio	Final	mg/kg	1.643	1.387	40
Cromo	Final	mg/kg	42.82	36.61	1200
Cobre	Final	mg/kg	138.6	93.2	1500
Plomo	Final	mg/kg	45.51	42.82	400
Mercurio	Final	mg/kg	12.28	9.75	17
Níquel	Final	mg/kg	19.22	17.92	400
Zinc	Final	mg/kg	1723	1278	2400

## 4.2. Efecto de la temperatura ambiente y acondicionada con cobertura en el tiempo y volumen en la obtención de biogás a partir de lodos en lagunas de estabilización en la ciudad de Juliaca.

### 4.2.1. Temperatura ambiente Vs temperatura acondicionada con cobertura

En la figura 19 se observa la oscilación de la temperatura ambiente y acondicionada con cobertura durante un periodo de 90 días, donde se registró diariamente los datos.

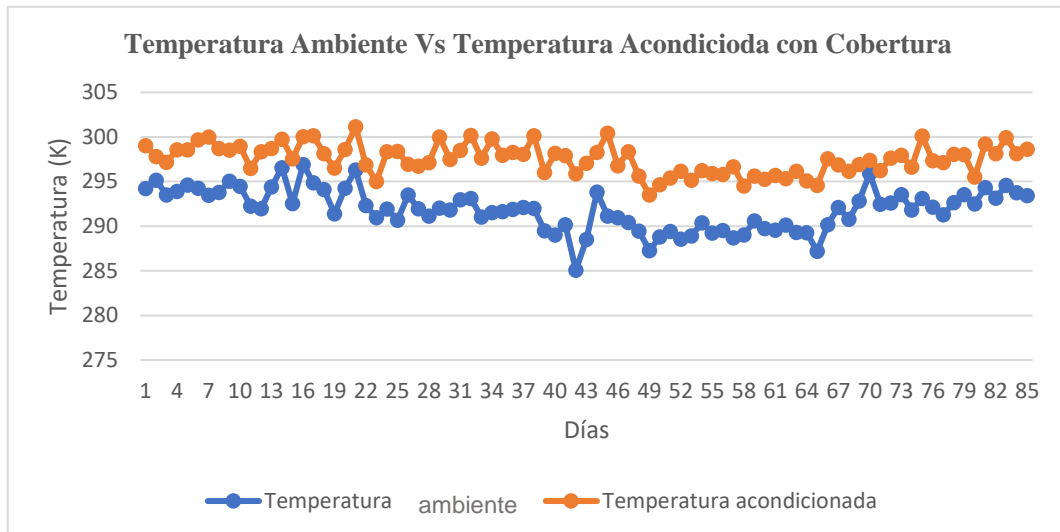


Figura 19. Registro de la temperatura ambiente comparada con la temperatura acondicionada con cobertura.

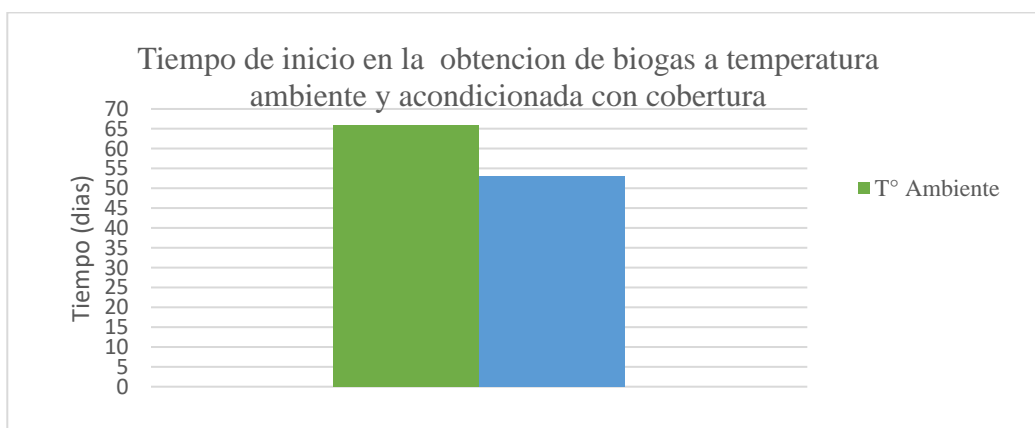
Asimismo, se aprecia que el pico más alto de la temperatura ambiente del biodigestor es de 296.92 K, mientras que el de la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor es de 301.15 K y los picos más bajos son 285.08 K y 293.52 K respectivamente, se lograron temperaturas altas en el biodigestor acondicionada con cobertura a comparación con el biodigestor a temperatura ambiente como se muestra en la figura.

### 4.2.2. Tiempo de obtención de biogás a temperatura ambiente y acondicionada con cobertura

En la figura 20 se aprecia el tiempo de inicio de obtención de biogás, donde a temperatura acondicionada con cobertura inicio a los 53 días, pero a temperatura ambiente tuvo un inicio de 66 días después de la instalación de los biodigestores. El tiempo de inicio se debe a que el rango de la temperatura ambiente del biodigestor fue de 285.08 K a 296.92 K siendo esta menor a la temperatura acondicionada con cobertura del biodigestor que fue de 293.52 k a 301.15 k, según Retamoso (2019), obtuvo el tiempo de inicio de la producción de biogás que fue a los 71 días de



instalación, y acondicionada con cobertura a los 45 días, esto se debió a que el rango de la temperatura ambiente fue de 284.35 K a 294.05 K, siendo esta menor a la temperatura con acondicionamiento de cobertura que fue de 303.15 K a 319.15 K. Asimismo, Abregú et al. (2019) quien obtuvo, biogás a partir de los 30 días de instalación de su prototipo, la diferencia de estos resultados se debe a la temperatura ambiente a la que está expuesto y al tiempo que el inóculo requiere para adaptarse al sustrato y el medio ya que el aumento de la temperatura incremento la velocidad de crecimiento de los microorganismos y acelera el proceso de digestión, dando lugar a la obtención de biogás en menor tiempo.



*Figura 20.* Registro del tiempo de inicio de obtención de biogás a temperatura ambiente comparada con la temperatura acondicionada con cobertura.

En la figura 21 se aprecia el tiempo de generación de biogás, donde el tiempo que duro más en la obtención de biogás fue a temperatura acondicionada con cobertura durando un promedio de 33 días, respecto a temperatura ambiente que duro un tiempo de solo de 19 días, por lo que se muestra claramente la influencia de la temperatura en el tiempo de obtención de biogás como se muestra en la figura 21. Según Varnero (2011), en el manual de biogás indica que las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica y la velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura, mientras más estable sea la temperatura, menor es el tiempo o fermentación para obtener una buena producción de biogás.

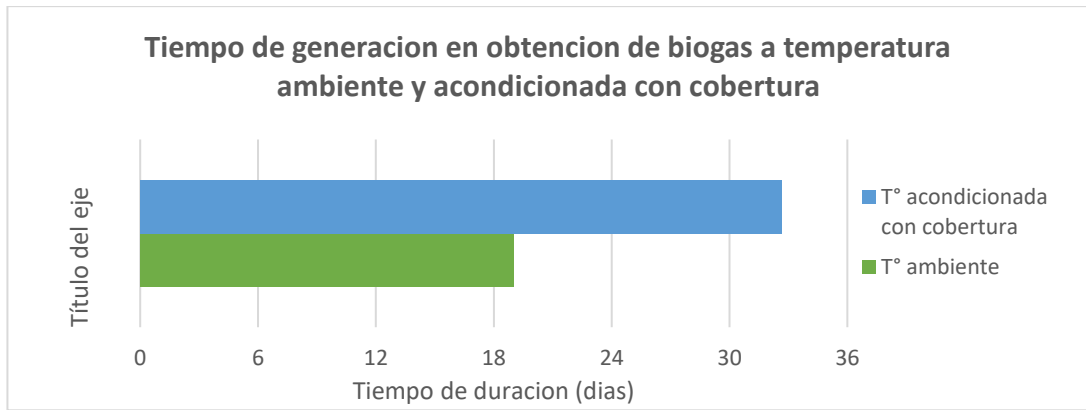


Figura 21. Registro de tiempo de generación de obtención de biogás a temperatura ambiente comparada con la temperatura acondicionada con cobertura.

#### 4.2.3. Efecto que tiene la temperatura ambiente y acondicionada con cobertura en el volumen de obtención de biogás.

En la figura 22 se observa la variación del volumen en la producción de biogás a temperatura ambiente y a temperatura acondicionada con cobertura durante el periodo de 19 días y 33 días respectivamente, para calcular la producción de biogás del biodigestor se realizó mediante la fórmula de los gases ideales especificado en el capítulo de la metodología donde se trabajó con la temperatura y presión obtenidos en campo.

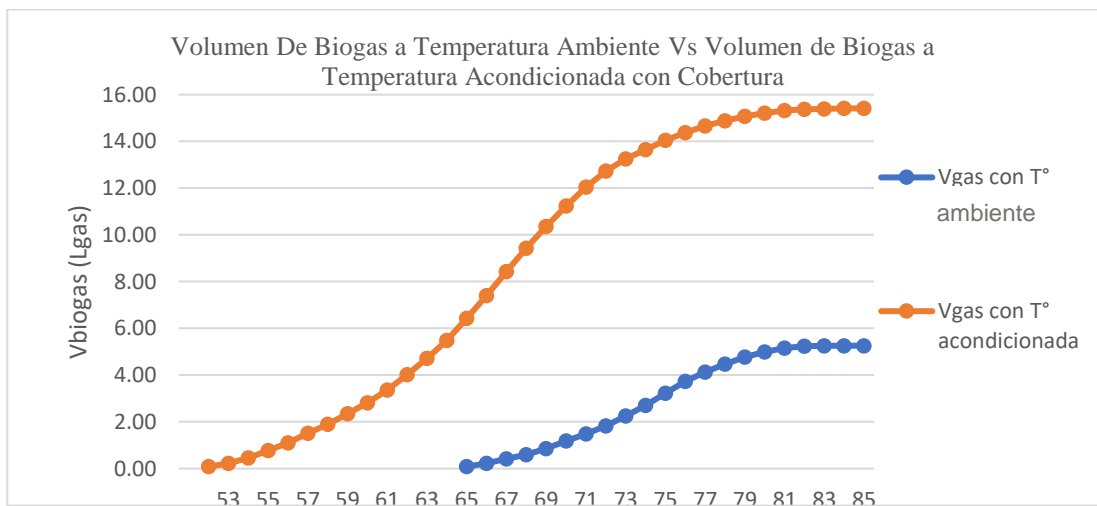


Figura 22. Volumen de biogás a temperatura ambiente vs volumen de biogás a temperatura acondicionada con cobertura.

En la figura 22 se observa una gran diferencia en el volumen de producción de biogás donde el volumen acumulado a temperatura ambiente es de 5.2 L de biogás durante el periodo de 21 días, mientras que el volumen acumulado a temperatura con

acondicionamiento de cobertura del biodigestor es de 15.4 L de biogás, esto se debe a las temperaturas registradas ya que aceleran el inicio de la producción de biogás.

El volumen de producción de biogás indicados se debe a que el rango de la temperatura ambiental del biodigestor fue de 287.18 K a 295.92 K, siendo esta menor a la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor que fue de 294.5 K a 300.12 K. Datos similares fueron reportados por Tarapa (2015) quien generó un volumen de biogás de 17.39 L a condiciones de cobertura con una temperatura promedio de 35°C, de la misma manera Retamoso (2019) obtuvo el volumen acumulado a temperatura ambiente de 6.8 L de biogás, mientras que el volumen a temperatura con acondicionamiento de cobertura es de 15.8 L y según López (2016) indica que el recubrimiento y/o acondicionamiento diario en el biodigestor tiene efectos directos en el proceso de obtención de biogás, ya que protege de los cambios drásticos de temperatura de esta manera mantiene la temperatura, permitiendo dar condiciones óptimas a los microorganismos en una digestión anaeróbica.

Asimismo, según Ojeda (2019) reportó la producción de biogás a partir de lodos de la laguna de oxidación manteniendo una temperatura constante de 35 °C, donde el promedio del volumen de gas obtenido fue de 3.33 L, por esta razón Villagómez et al. (2002), indica que en los sistemas anaerobios las bajas concentraciones de biogás se debe a altas concentraciones de metales pesados.

#### 4.2.4. Prueba de hipótesis

**Variable: tiempo de generación de biogás**

Hipótesis

Ho: No existe diferencia significativa en cuanto a tiempo de generación de biogás entre la media a temperatura acondicionada con cobertura y la media a temperatura ambiente.

Ha: Existe diferencia significativa en cuanto a tiempo de generación de biogás entre la media a temperatura acondicionada con cobertura y la media a temperatura ambiente.

Alfa = 5% = 0.05

Si P-valor  $\leq$  alfa, se rechaza Ho, (se acepta Ha).

**Prueba estadística**

T de Student

Tabla 14

*Prueba de muestras independientes.*

	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias							
	F	Sig.	t	Grados de libertad	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
								Inferior	Superior	
Duración	Se han asumido varianzas iguales	0.0727	0.442	-12.65	4	0	-1366.667	105.409	-1659.33	1074.004
	No se han asumido varianzas iguales			12.965	3.448	0	-1366.667	105.409	1678.755	1054.578

Decisión: Existe diferencia significativa en cuanto a tiempo de generación de biogás entre la media a temperatura acondicionada con cobertura y la media a temperatura ambiente, porque el P-valor es menor que 0.05.

## Supuestos

### Normalidad (Shapiro–Wilk)

Ho=Los datos tienen una distribución normal.

Ha=Los datos NO tienen una distribución normal.

Si P-valor=>alfa, se acepta Ho

Tabla 15

#### Pruebas de normalidad.

	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	Grados de libertad	Sig.
Duración	control	0.175	3	.	1.000	3	1,000
	Cobertura	0.253	3	.	0.964	3	0.637

a. Corrección de la significación de Lilliefors.

Decisión: La variable tiempo de generación de gas en ambos grupos tienen una distribución normal, porque los p-valor son mayores que 0.05.

Igualdad de varianza (prueba de levene)

Ho= Las varianzas son homogéneas.

Ha= Las varianzas no son homogéneas.

Si P- valor=> alfa, se acepta Ho

Tabla 16

#### Prueba de muestras independientes.

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
								Inferior	Superior	
Duración	Se han asumido varianzas iguales	0.727	0.442	-12.965	4	0.000	-1366.667	105.409	-1659.30	1074.004
	No se han asumido varianzas iguales			-12.965	3.448	0.00	-1366.667	105.409	1678.755	1054.578

Decisión: Las varianzas son homogéneas, porque el P-valor es mayor que 0.05.

## Medias

Tabla 17

*Estadísticos de grupo.*

	Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Error típ. de la media
Duración	Control	3	190.000	100.000	0.57735
	Cobertura	3	326.667	152.753	0.88192

Con cobertura la duración de generación de gas es mayor respecto a sin cobertura.

### 4.2.5. Variable: tiempo de inicio de generación de biogás

Hipótesis

Ho: No existe diferencia significativa en cuanto a tiempo de inicio en la obtención de biogás entre la media de la temperatura acondicionada con cobertura y la media a temperatura ambiente (control).

Ha: Existe diferencia significativa en cuanto a tiempo de inicio en la obtención de biogás entre la media de la temperatura acondicionada con cobertura y la media a temperatura ambiente (control).

Alfa = 5% = 0.05

Si P-valor  $\leq$  alfa, se rechaza Ho, (se acepta Ha).

Prueba estadística

### T de Student

Tabla 18

*Prueba de muestras independientes.*

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	Grados de libertad	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Tiempo	Se han asumido varianzas iguales	0.000	1.000	15.922	4	0.000	1300.000	0.81650	1073.304	1526.696
	No se han asumido varianzas iguales			15.922	4,000	0.000	1300.000	0.81650	1073.304	1526.696

Decisión: Existe diferencia significativa en cuanto a tiempo de inicio de generación de gas entre la media de la temperatura acondicionada con cobertura y la media a temperatura ambiente (control), porque el P-valor es menor que 0.05.

**Supuestos:**

**Normalidad (shapiro-wilk)**

Ho = Los datos tienen una distribución normal.

Ha = Los datos NO tienen una distribución normal.

Si P-valor = > alfa, se acepta Ho

Tabla 19

*Pruebas de normalidad.*

	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Grados de libertad	Sig.	Estadístico	Grados de libertad	Sig.
Tiempo	control	0.175	3	.	1.000	3	1.000
	Cobertura	0.175	3	.	1.000	3	1.000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Decisión: La variable tiempo de generación de gas en ambos grupos tienen una distribución normal, porque los p-valor son mayores que 0.05.

**Igualdad de varianza (prueba de levene)**

Ho = Las varianzas son homogéneas.

Ha = Las varianzas no son homogéneas.

Si P- valor = > alfa, se acepta Ho

Tabla 20

*Prueba de muestras independientes.*

	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias							
	F	Sig.	t	Grados de libertad	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
								Inferior	Superior	
Tiempo	Se han asumido varianzas iguales	0.000	10.000	15.922	4	0.000	100.000	0.81650	1073.304	1526.696
	No se han asumido varianzas iguales			15.922	4.000	0.000	1300.000	0.81650	1073.304	1526.696

Decisión: Las varianzas son homogéneas, porque el P-valor es mayor que 0.05.

## Medias

Tabla 21

*Estadísticos de grupo.*

	Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Error típ. de la media
Tiempo	Control	3	660.000	100.000	0.57735
	Cobertura	3	530.000	100.000	0.57735

Con cobertura el inicio de generación de biogás es en menor tiempo.

### 4.2.6. Variable: Volumen de biogás generado

Hipótesis

Ho: No existe diferencia significativa en cuanto a volumen de biogás generado entre la media a temperatura acondicionada con cobertura y la media a temperatura ambiente (control).

Ha: Existe diferencia significativa en cuanto a volumen de biogás generado entre la media a temperatura acondicionada con cobertura y la media a temperatura ambiente (control).

Alfa = 5% = 0.05

Si P-valor  $\leq$  alfa, se rechaza Ho, (se acepta Ha).

Prueba estadística

### T de Student

Tabla 22

*Prueba de muestras independientes.*

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	Grados de libertad	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Volumen de gas	Se han asumido varianzas iguales	2.899	0.164	47.832	4	0.000	101866.667	2129.684	107779.618	95953.715
	No se han asumido varianzas iguales			47.832	2.270	0.000	101866.667	2129.684	110061.541	93671.792



Decisión: Existe diferencia significativa en cuanto a volumen de biogás generado entre la media a temperatura acondicionada con cobertura y la media a temperatura ambiente (control)., porque el P-valor es menor que 0.05.

**supuestos:**

**Normalidad (shapiro-wilk)**

Ho=Los datos tienen una distribución normal.

Ha=Los datos no tienen una distribución normal.

Si P-valor=>alfa, se acepta Ho

Tabla 23

*Pruebas de normalidad.*

	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Grados de libertad	Sig.	Estadístico	Grados de libertad	Sig.
Volumen de gas	Control	0.280	3	.	0.938	3	0.520
	Cobertura	0.215	3	.	0.989	3	0.799

Decisión: La variable tiempo de generación de biogás en ambos grupos tienen una distribución normal, porque los p-valor son mayores que 0.05.

Igualdad de varianza (prueba de levene)

Ho= Las varianzas son homogéneas.

Ha= Las varianzas no son homogéneas.

Si P- valor=> alfa, se acepta Ho

Tabla 24

*Prueba de muestras independientes.*

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	Grados de libertad	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Volumen de gas	Se han asumido varianzas iguales	2.899	0.164	47.832	4	0.000	101866.667	2129.684	107779.618	95953.715
	No se han asumido varianzas iguales			47.832	2.270	0.000	101866.667	2129.684	110061.541	93671.792

Decisión: Las varianzas son homogéneas, porque el P-valor es mayor que 0.05.

## Medias

Tabla 25

*Estadísticos de grupo.*

	Tratamiento	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Volumen de gas	Control	3	51.167	0.09292	0.05364
	Cobertura	3	153.033	0.35698	0.20610

Con cobertura el volumen de gas generado es mayor respecto al a temperatura sin cobertura.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Según el análisis de resultados, el presente estudio reveló que las características fisicoquímicas pH, humedad, fosforo, potasio, carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total, son apropiadas para la producción de biogás, y las características microbiológicas; coliforme fecal, helmintos y parásitos, salmonella, demostraron que las concentraciones más representativas fueron con temperatura con cobertura, de igual manera las concentraciones de arsénico cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc están por debajo de los límites establecidos por el decreto supremo Limite D.S. 015-2017-VIVIENDA.

El tiempo de inicio en la obtención de biogás fue más significativa con temperatura acondicionada con cobertura, siendo a los 53 días de instalación del biodigestor y a temperatura ambiente a los 66 días, concluyendo que el aumento de temperatura acelera el proceso de digestión, dando lugar a la obtención de biogás en menor tiempo. Asimismo, la temperatura acondicionada con cobertura si tuvo un efecto significativo en el proceso de obtención de biogás, con un volumen acumulado de 15.3 L de biogás a comparación con la temperatura ambiente que se obtuvo un volumen acumulado de 5.11 L de biogás.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar análisis inicial del sustrato a experimentar ya que pueden ser inhibidoras en el proceso de obtención de biogás.

Realizar el análisis de la concentración de metano, dióxido de carbono con equipos de mayor precisión.

Se recomienda implementar el biodigestor a gran escala con modificaciones en el diseño, para optimizar la producción de biogás en zonas alto andinas.

Realizar más investigaciones con diferentes tipos de sustratos para determinar la eficiencia con respecto a la producción de biogás.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

- Abregú, C. et al. (2019). "Biogás a partir de lodos producidos en la Planta de Tratamiento de Aguas residuales del distrito de Comas 2019" 0–3.
- Achinas, S. & Euverink (2020). Microbiology and biochemistry of anaerobic digesters: an overview. In *Bioreactors*. INC. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821264-6.00002-4>.
- Adams, P. (2018). GHG emissions from biomethane gas-to-grid injection via anaerobic digestion. In *Greenhouse Gas Balances of Bioenergy Systems*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101036-5.00009-4>.
- Aguilar I. et al. (2018). Methane recovery and reduction of greenhouse gas emissions: WWTP Nuevo Laredo, Tamaulipas, Mexico. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 9(2), 86–111. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-04>.
- Alabort, Mc. (2015). Desempeño de una laguna anaerobia con baffle divisor seguida de una laguna facultativa, posible afectación de la salud pública. *UMH Sapiens Divulgación Científica*, 2015(9), 28–29. <https://doi.org/10.21134/22553568.2015.9.us>
- Ali, A. et al. (2020). Modeling climatic effect on physiochemical parameters and microorganisms of Stabilization Pond Performance. *Heliyon*, 6(5), e04005. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04005>.
- Anderson, T. & Jones, P. D. (2016). The greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models. *Endeavour*, 40(3), 178–187. <https://doi.org/10.1016/j.endeavour.2016.07.002>.
- Anh, T. P., & Sillanpää, M. (2020). Sewage sludge electro-dewatering. In *Advanced Water Treatment: Electrochemical Methods*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819227-6.00003-6>.
- Arif, A. et al. (2020). Cost analysis of activated sludge and membrane bioreactor WWTPs using CapdetWorks simulation program: Case study of Tikrit WWTP (middle Iraq). *Alexandria Engineering Journal*, 59(6), 4659–4667. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.08.023>.
- Acosta, C. (2005). Digestión anaerobia. *Icidca*.

- Atencio, F. et al. (2011). Agricultural Use of the Mud Generated in the Ptarmigan of Puente Piedra-Lima. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 77(1), 75–85.
- Babaei, A., & Shayegan, J. (2020). Effects of temperature and mixing modes on the performance of municipal solid waste anaerobic slurry digester. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 17(2), 1077–1084. <https://doi.org/10.1007/s40201-019-00422-6>.
- Benavides, C. et al. (2017). Carga Superficial Máxima En Lagunas De Estabilización Facultativas De Nicaragua. *Nexo Revista Científica*, 30(01), 01–18. <https://doi.org/10.5377/nexo.v30i01.5169>.
- Balmant, W. et al. (2014). Optimal operating conditions for maximum biogas production in anaerobic bioreactors. *Applied Thermal Engineering*, 62(1), 197–206. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.09.033>.
- Birchall, S. et al. (2008). Effluent and manure management database for the Australian dairy industry. *Dairy Australia*, 45–55. <http://scholar.google.com>.
- Campos, A. E. (2001). Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria. *Monografías de Actualidad*, October 2015, 372. <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8229/Tecp1de1.pdf?sequence=1>.
- Canziani, R., & Spinoso, L. (2019). Sludge from wastewater treatment plants. In *Industrial and Municipal Sludge: Emerging Concerns and Scope for Resource Recovery*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815907-1.00001-5>.
- Cárdenas, P. et al. (2013). Cálculo del biogás generado en los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos en el Estado de México. *Vsiir-Redisa*.
- Chaouki, G. et al. (2015). Combustion of Renewable Biogas Fuels. *Journal of Energy and Power Engineering*, 9(10), 831–843. <https://doi.org/10.17265/1934-8975/2015.10.001>.
- Cortés, F. et al. (2011). Diseño de Lagunas de Estabilización en Serie con Diferentes Configuraciones: (Caso Comarca Lagunera Estado de Durango, México). *Revista Arquitectura e Ingeniería*, 5(3), 1–15.

- Christy, P. et al. (2014). A review on anaerobic decomposition and enhancement of biogas production through enzymes and microorganisms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.010>.
- Casilla, L. (2019). Análisis y alternativas de solución para la producción de biogás con residuos sólidos de la laguna de Oxidación Espinar – Puno, periodo 2018. *Universidad Nacional Del Altiplano*, 100.
- Cupe, B., & Juscamaita, J. (2018). Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación homoláctica para la producción acelerada de abono orgánico. *Ecología Aplicada*, 17(1), 22.
- Díaz, A. et al. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 46, 1–10.
- Deganutti, R. et al. (2020). *biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada*.
- Dentel, Y. (2014). Management of Sludges, Biosolids, and Residuals. *Comprehensive Water Quality and Purification*, 3, 223–243. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382182-9.00049-9>.
- Dhir, S., & Lynn, C. (2017). Sewage Sludge Ash Characteristics. In *Sustainable Construction Materials*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100987-1.00004-4>.
- Dubis, B. et al. (2020). The effect of sewage sludge fertilization on the biomass yield of giant miscanthus and the energy balance of the production process. *Energy*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118189>.
- Diaz, J. & Acosta, L. (2014). Tratamiento De Lodos De Fondo De Lagunas Facultativas Con Estabilización En Condiciones De Laboratorio Bottom Sludge Treatment of Facultative Ponds With Stabilization in Laboratory Conditions. *Revista EIA*, 6(1794–1237), 113–122. <https://doi.org/10.14508/reia.2014.11.21.113-122>.
- Ewing, T. et al. (2014). Self-powered wastewater treatment for the enhanced operation of a facultative lagoon. *Journal of Power Sources*, 269, 284–292. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.06.114>.
- FAO (2019). Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. In *Colección De Documentos Técnicos*. [http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/GuiadeBiogasyBiodigestores-19-07-10.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuiadeBiogasyBiodigestores-19-07-10.pdf).

- FAO (2011). Manual del Biogás. *Proyecto CHI/00/G32*, 120. <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>.
- Geng, H. et al. (2020). An overview of removing heavy metals from sewage sludge: Achievements and perspectives. *Environmental Pollution*, 266, 115375. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115375>.
- Godoy, L. et al. (2019). Valorization of water treatment sludge waste by application as supplementary cementitious material. *Construction and Building Materials*, 223, 939–950. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.333>.
- Gonzales, G. et al. (2015). Environmental pollution, climate variability and climate change: A review of health impacts on the peruvian population. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 31(3), 547–556. <https://doi.org/10.17843/rpmpesp.2014.313.94>.
- Guo, W. et al. (2020). Anaerobic membrane bioreactors for antibiotic wastewater treatment. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Advanced Membrane Separation Processes for Sustainable Water and Wastewater Management - Anaerobic Membrane Bioreactor Processes and Technologies*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819852-0.00009-9>.
- García, N. (2006). Lodos residuales : estabilización y manejo. *Caos Conciencia*, 1(figura 1), 51–58.
- Garrido, D. et al. (2018). Dynamic model of a municipal wastewater stabilization pond in the arctic. *Water Research*, 144, 444–453. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.052>
- Han, Z. et al. (2016). A review of groundwater contamination near municipal solid waste landfill sites in China. *Science of the Total Environment*, 569–570(1), 1255–1264. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.201>.
- Ho, L., & Goethals, M. (2020). Municipal wastewater treatment with pond technology: Historical review and future outlook. *Ecological Engineering*, 148(February), 105791. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105791>.



- Huanaco, D. (2020). Estado del arte de la identificación de potenciales sustratos de ganado bovino y porcino para la producción de biogás. *Universidad Peruana Unión Facultad De Ingeniería Y Arquitectura Escuela Profesional De Ingeniería Ambiental*, 0(0), 1–16.
- Huanca, D. (2017). *Producción de biogas a partir de los lodos de aguas residuales Urbanas Puno*. 1–116. file:///C:/Users/Home/Downloads/1238-20313-1-PB.pdf%0Ahttp://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/05/05\_9288.pdf%0Ahttp://www.endocrin.org.co/files/Fisiopatologia\_de\_la\_Diabetes\_Mellitus\_Tipo\_2\_J\_Castillo.pdf%0Ahttp://salud.tabasco.gob.mx/content/revista%0Ahttp:
- Huaranga, C. (2011). *Tratamiento del agua residual*. *Revista de Ingeniería Del Agua*, 3(1), 203–223.
- Humberto, R., & Gonzalez, D. (2015). *Biodigestor para el procesamiento de los desechos orgánicos de la UTSOE para la generación de energía eléctrica y calorífica*. 2(2), 101–106.
- Hung, Y. et al. (2008). Advances in anaerobic systems for organic pollution removal from food processing wastewater. In *Handbook of Water and Energy Management in Food Processing*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781845694678.5.755>.
- Ileleji, K. & Jones, D. (2020). Basics of energy production through anaerobic digestion of livestock manure. In *Bioenergy* (Second Edi). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815497-7.00016-6>.
- Im, S. et al. (2020). Effects of storage temperature on CH<sub>4</sub> emissions from cattle manure and subsequent biogas production potential. *Waste Management*, 101, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.036>.
- Khanal, S. et al. (2017). Anaerobic Bioreactors/Digesters: Design and Development. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Biological Treatment of Industrial Effluents*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63665-2.00010-2>.
- Kiran, E. et al. (2016). Production of biogas via anaerobic digestion. In *Handbook of Biofuels Production: Processes and Technologies: Second Edition*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100455-5.00010-2>.

- Kirk, D. & Gould, M. (2020). Bioenergy and anaerobic digestion. In *Bioenergy* (Second Edi). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815497-7.00017-8>.
- Li, C. et al. (2013). Biogas production performance of mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion with fat, oil, and grease in semi-continuous flow digesters: Effects of temperature, hydraulic retention time, and organic loading rate. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 34(13–14), 2125–2133. <https://doi.org/10.1080/09593330.2013.824010>.
- Li, W. et al. (2017). Two-phase anaerobic digestion of municipal solid wastes enhanced by hydrothermal pretreatment: Viability, performance and microbial community evaluation. *Applied Energy*, 189, 613–622. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.101>.
- Lassaga, S. (2011). Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. *INTA Costa Rica*, 18.
- Liu, D. et al. (2016). Bioelectrochemical enhancement of methane production in low temperature anaerobic digestion at 10 °C. *Water Research*, 99, 281–287. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.04.020>.
- López, D. (2016). *Captación Y Aprovechamiento De Biogás*. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/138545/Modelo-para-el-diseno-de-sistemas-de-captacion-y-aprovechamiento-de-biogas-producido.pdf?sequence=1>.
- Mahmudul, H. et al. (2021). A comprehensive review of the recent development and challenges of a solar-assisted biodigester system. *Science of the Total Environment*, 753. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141920>.
- Muñoz, D. M. (2019). Impacto ambiental de las lagunas de tratamiento de aguas residuales. Sector Colinas San José, Ciudad de Rocafuerte. *Polo Del Crecimiento*, 5(01), 257–280. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i01.1223>.
- Mendoza, C., & Jimenez, G. (2017). Relación entre el efecto invernadero y el cambio climático desde la perspectiva del sector agrario. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 58(1), 2685–2695. <https://doi.org/10.15446/rfnam>.

- MINAM (2017). Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. *El Peruano*, 6–9. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>.
- MINAM (2019). *Informe Nacional sobre el Estado del Ambiente*. 1–49.
- Morales, J. (2017). Obtencion de biogas a partir de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante la digestion anaerobia mesofilica. *Artículo Revista de Energía Química y Física Septiembre*, 4(12), 34–43. [www.ecorfan.org/boliva](http://www.ecorfan.org/boliva).
- ONU (2019). Creciendo a un ritmo menor, se espera que la población mundial alcanzará 9.700 millones en 2050 y un máximo de casi 11.000 millones alrededor de 2100: Informe de la ONU. *Perspectivas de La Población Mundial 2019*, 1, 1–4. <https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019-PressRelease-ES.pdf>
- Ortega, W. et al. (2016). *De La Bahía Interior Del Lago Titicaca Puno Incidence of Environmental Management With the Pollution From Solid Waste*. 67–79.
- Pacori, E. (2019). *Metodología y diseño de la investigación científica (2da ed)*. Peru: Edit. Ffecaat.
- Polprasert, C. & Kittipongvises, S. (2011). Constructed Wetlands and Waste Stabilization Ponds. *Treatise on Water Science*, 4, 277–299. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53199-5.00090-7>.
- Pramanik, S. et al. (2019). The anaerobic digestion process of biogas production from food waste: Prospects and constraints. *Bioresource Technology Reports*, 8(July), 100310. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100310>.
- Quispe, J. (2019). Obtención de biogás mediante digestión anaerobia termofílica utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave - Puno. *Tesis*, 1–106.
- Rafael, E. et al. (2021). *Gestión ambiental para la implementación de Biodigestores Anaeróbicos reductores de residuos contaminantes en el medioambiente de los departamentos de la Región Norte y Central*.
- Retamoso, A. (2019). *Universidad nacional de huancavelica*.

- Reuna, S., & Väisänen, A. (2020). To incinerate or not? – Effects of incineration on the concentrations of heavy metals and leaching efficiency of post-precipitated sewage sludge (RAVITA™). *Waste Management*, 118, 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.022>.
- Reyes, E. (2017). Generacion de biogas mediante el proceso de digestion anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustrato organico. *Farem*, 17(5), 11–22.
- Rezaie, A. et al. (2017). Hydrogen and Methane-Based Breath Testing in Gastrointestinal Disorders: The North American Consensus. *American Journal of Gastroenterology*, 112(5), 775–784. <https://doi.org/10.1038/ajg.2017.46>.
- Rosa, A. et al. (2018). Assessing the potential of renewable energy sources ( biogas and sludge ) in a full-scale UASB-based treatment plant. *Renewable Energy*, 124, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.025>.
- Ramos, J. & Moreno, P. (2017). *Obtencion de biogas a partir de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante la digestion anaerobia mesofilica Revista de Energía Química y Física El proceso de la digestión anaerobia se lleva a.* 4(12), 34–43.
- Rosińska, A. (2019). Traditional contaminants in sludge. *Industrial and Municipal Sludge: Emerging Concerns and Scope for Resource Recovery*, 425–453. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815907-1.00019-2>.
- Ruíz, G., & Vargas, J. (2016). *Evaluación del rendimiento de biogás aplicando un sistema de polietileno térmico como soporte de temperatura para acelerar su producción.* 77.
- Schiffman, S. et al. (2005). Potential health effects of odor from animal operations, wastewater treatment, and recycling of byproducts. *Journal of Agromedicine*, 9(2), 395–403. [https://doi.org/10.1300/J096v09n02\\_24](https://doi.org/10.1300/J096v09n02_24).
- Schultz, J. & da Silva, J. (2018). Textile biological sludge treatability and biogas production in UASB reactor under different temperatures. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23(1), 151–158. <https://doi.org/10.1590/s1413-4152201814510>.
- Seda Juliaca (2007). *Plan maestro optimizado Sedajuliaca S.A.* 92. [https://sedajuliaca.com/wp-content/uploads/2019/07/sedajuliaca\\_pmo.pdf](https://sedajuliaca.com/wp-content/uploads/2019/07/sedajuliaca_pmo.pdf).

- SENAMHI (2020). Climas del Perú Mapa de Clasificación Climática Nacional. In *Ministerio del Ambiente* (Vol. 53, Issue 9).
- Sevillano, A. et al. (2017). Producción de Biogás y compost a partir de Residuos Orgánicos recolectados del Complejo Arqueológico Huaca de la Luna. *Revista ciencia y tecnología*, 12(1), 29–43.
- Shao, Y. et al. (2020). Sludge characteristics, system performance and microbial kinetics of ultra-short-SRT activated sludge processes. *Environment International*, 143(April). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105973>.
- Sikarwar, V. et al. (2017). Progress in biofuel production from gasification. *Progress in Energy and Combustion Science*, 61, 189–248. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2017.04.001>.
- Smyth, K. & Yuan, Q. (2018). Seasonal variations in cold climate nutrient removal: A comparison of facultative and aerated lagoons. *Journal of Environmental Management*, 214, 224–231. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.098>.
- SUNASS (2016). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*. 4(1), 1–23.
- Surroop, D. & Raghoo, P. (2019). Waste to energy through biogas to improve energy security and to transform Africa's energy landscape. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 18, 79–83. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019.02.010>.
- Tabatabaei, M. et al. (2020). A comprehensive review on recent biological innovations to improve biogas production, Part Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Valijanian, E., Kazemi Shariat Panahi, H., Nizami, A. S., Ghanavati, H., Sulaiman, A., Mirmohamadsadeghi, S., & Karimi, K. (2020). A c. *Renewable Energy*, 146, 1204–1220. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.037>.
- Tamkin, A. et al. (2015). Impact of organic loading rates on the performance of variable temperature biodigesters. *Ecological Engineering*, 78, 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.06.005>.
- Tarapa, B. (2015). *Obtención de biocombustible gaseoso y sólido a partir de plantas acuáticas y lodos sedimentados de la bahía interna puno- lago titicaca*.

- Tian, G. et al. (2018). The effect of temperature on the microbial communities of peak biogas production in batch biogas reactors. *Renewable Energy*, 123, 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.119>.
- Treviño, A. & Cortés, F. (2016). Método de diseño reducido para lagunas de estabilización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7, 729–742. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n4/2007-0934-remexca-7-04-00729.pdf>.
- Tyagi, V. et al. (2014). Ultrasonic treatment of waste sludge: A review on mechanisms and applications. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(11), 1220–1288. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.763587>.
- Varnero, R. (2011). Minenergia / Pnud / Fao / Gef. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Villagómez, G. F., Vázquez, E., & Martínez, P. (2002). Inhibidores del proceso anaerobio: compuestos utilizados en porcicultura. *Ingeniería (Mérida, Yuc.)*, 6(3), 67–71.
- Wang, P. et al. (2020). Enhancement of biogas production from wastewater sludge via anaerobic digestion assisted with biochar amendment. *Bioresource Technology*, 309(April), 123368. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123368>.
- Weatherford, V. C., & Zhai, Z. J. (2015). Affordable solar-assisted biogas digesters for cold climates: Experiment, model, verification and analysis. *Applied Energy*, 146, 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.111>.
- Zhang, Z. et al. (2021). Migration characteristics of heavy metals during sludge pyrolysis. *Waste Management*, 120, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.11.018>.

## ANEXOS

## ANEXO 1

Resultados iniciales de parámetros fisicoquímicos de lodos en lagunas de estabilización de la ciudad de Juliaca.

### Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582  
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com


#### INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00024

Hoja de resultados

14/05/2021

Pág.: 2/4

Código Interno	Nombre de Muestra	*7003 Ag	*7003 Al	*7002 As	*7003 B	*7003 Ba	*7003 Be	*7003 Bi	*7003 Ca	*7003 Cd	*7003 Co	*7003 Cr	*7003 Cu	*7003 Fe	*7003 Fe	*7022 Hg	*7003 In	*7003 K	*7003 Li	*7003 Mg	*7003 Mn	*7003 Mo	*7003 Na
#		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD21000024	M-1 LODOS DE LAGUNA DE ESTABILIZACION EN LA CIUDAD DE JULIACA	2,94	683	5,14	≤4,0	421,6	≤0,16	≤0,5	7,995	0,757	2,62	22,13	27,9	3,750	≤0,40	1,04	≤0,10	2,877	5,0	519,6	131,3	1,10	>10,000

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

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

NH-18 N° 1840



# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582  
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00024

Hoja de resultados

14/05/2021

Pág.: 3/4

Código Interno	Nombre de Muestra	*7003 Ni	*7003 P	*7003 Pb	*7003 Sb	*7003 Se	*7003 Sn	*7003 Sr	*7003 Te	*7003 Ti	*7003 Tl	*7003 V	*7003 Zn	7005 N	*7021 Carbono Orgánico	*7023 pH	*7097 H2O
#		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	g/Kg	%	21,9C	%
SD21000024	M-1 LODOS DE LAGUNA DE ESTABILIZACION EN LA CIUDAD DE JULIACA	7,60	1,340	7,75	0,19	≤0,16	≤4	56,79	≤0,20	186,14	≤0,16	18,41	130,29	24,3	47,3	6,93	78,0

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

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

NH-18 N° 1841

# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582  
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com


## INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00024


Hoja de resultados

14/05/2021

Pág.: 4/4

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7020 Helmintos y Parásitos Nº de huevos y larvas de Helmintos / 4g	*7070 Coliforme Fecal NMP/1g	*7114 Salmonella Pres. o Aus.1g
SD21000024	M-1 LODOS DE LAGUNA DE ESTABILIZACION EN LA CIUDAD DE JULIACA	18	15x10 <sup>6</sup>	Presencia

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

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

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

NH-18 N° 1842

# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582  
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00043

### Hoja de datos

Pág: 1/4

Señores: BACH. MAZCO VELASQUEZ, PAMELA MARIBEL  
Dirección: AV. LEONIDAS HALLASI #481 JULIACA PUNO  
Atención: BACH. MAZCO VELASQUEZ, PAMELA MARIBEL  
Proyecto: "EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LODOS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA CIUDAD DE JULIACA"

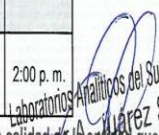
Producto(s) Declarado(s): Sedimento  
Nro de muestras: 1  
Muestreo a cargo de(l): BACH. MAZCO VELASQUEZ, PAMELA MARIBEL  
Registro de muestreo: 022-21  
Fecha de recepción: 19/08/2021  
Fecha de ensayo: 19/08/2021  
Fecha de emisión: 1/09/2021  
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas  
Observaciones : -----

### Metodo 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
- \*7020 Recuento Huevos y larvas de Helminthos patógenos.
- \*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
- \*7016 Método de Ensayo para determinación de DQO Total - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7054 Método de Ensayo para determinación de DBO Total - Volumetría en suelos y sedimentos
- \*7070 Numeración de Coliformes Fecall. 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-9260 B(ídem1,2d,3,4,6,7,8),22nd Ed. Detección of Pathogenic Bacteria.Salmonella en sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas		Fecha de muestreo	Hora de muestreo
			Coordenadas UTM	Este / Norte		
SD20000062	M-2 LODO DE BIODIGESTORES CON COBERTURA.	AYABACA (UNAJ) / URB. SANTA MARIA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	8295927 S / 382951 O		18/08/21	2:00 p. m.

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

  
 Omar A. Suárez Soto  
 Gerente de Operaciones  
 M.Sc. Ingeniería Química CIP 114426  
 NH-18 N° 1440



# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado

Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com


## INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00043

Hoja de resultados

1/09/2021

Pág.: 2/4

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003 Ag	*7003 Al	*7002 As	*7003 B	*7003 Ba	*7003 Be	*7003 Bi	*7003 Ca	*7003 Cd	*7003 Co	*7003 Cr	*7003 Cu	*7003 Fe	*7003 Ga	*7022 Hg	*7003 In	*7003 K	*7003 Li	*7003 Mg	*7003 Mn	*7003 Mo
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	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	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD20000062	M-2 LODO DE BIODIGESTORES CON COBERTURA.	2,15	9,619	28,55	646,0	308,2	0,59	≤0,5	>10 000	1,387	4,45	36,61	93,2	>10 000	≤0,40	9,75	≤0,10	>10 000	9,8	4 713	354,9	4,35

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

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

NH-18 N° 1441

# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582  
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com


## INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00043

Hoja de resultados

1/09/2021

Pág.: 3/4

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003 Na mg/Kg	*7003 Ni mg/Kg	*7003 P mg/Kg	*7003 Pb mg/Kg	*7003 Sb mg/Kg	*7003 Se mg/Kg	*7003 Sn mg/Kg	*7003 Sr mg/Kg	*7003 Te mg/Kg	*7003 Ti mg/Kg	*7003 Tl mg/Kg	*7003 V mg/Kg	*7003 Zn mg/Kg	7005 N g/Kg	*7021 CO/NO %	*7023 pH 21.3C	*7097 H2O %	*7016 DQO Total mg/Kg	*7054 DBO Total mg/Kg
SD20000062	M2 LODO DE BIODIGESTORES CON COBERTURA.	1.768	17,92	>10.000	42,82	0,80	1,20	<4	190,94	<0,20	176,79	0,58	32,02	1.278	21,1	51,9	8,05	81,3	617000	32300

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

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

NH-18 N° 1450



# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado

Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00043

Hoja de resultados

1/09/2021

Pág.: 4/4

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7020 Helminfos y Parasitos N° de huevos y larvas de Helminfos / 4g	*7070 Coliforme Fecal NMP/g	*7114 Salmonella Pres. o Aus./g
		SD20000062	M-2 LODO DE BIODIGESTORES CON COBERTURA.	0

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

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

NH-18 N° 1443

# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado

Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00044

### Hoja de datos

Pág: 1/4

Señores: BACH. MAZCO VELASQUEZ, PAMELA MARIBEL  
Dirección: AV. LEONIDAS HALLASI #481 JULIACA PUNO  
Atención: BACH. MAZCO VELASQUEZ, PAMELA MARIBEL  
Proyecto: "EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LODOS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA CIUDAD DE JULIACA"

Producto(s) Declarado(s): Sedimento  
Nro de muestras: 1  
Muestreo a cargo de(l): BACH. MAZCO VELASQUEZ, PAMELA MARIBEL  
Registro de muestreo: 022-21  
Fecha de recepción: 19/08/2021  
Fecha de ensayo: 19/08/2021  
Fecha de emisión: 1/09/2021  
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas  
Observaciones : ----

### Método de ensayo aplicado

- \*7002 EPA 200.7 Determinación de Arsénico en Suelos y Sedimentos (Litivación 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 (Litivación Ácida) por ICP-OES, Revisión 4.4.
- \*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - 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
- \*7023 Determinación de pH 1:2 potenciométrica en suelos
- \*7016 Método de Ensayo para determinación de DQO Total - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7054 Método de Ensayo para determinación de DBO Total - Volumetría en suelos y sedimentos
- \*7070 Numeración de Coliformes Fecales ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique in sediments
- \*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C
- \*7114 Detección de Salmonella: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part. 9260 B(1dem1,2d,3,4,6,7,8),22nd Ed. Detección of Pathogenic Bacteria.Salmonella en sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD20000063	M-3 LODO DE BIODIGESTORES A TEMPERATURA AMBIENTE.	AYABACA (UNAJY URB. SANTA MARIA / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	8295927 S / 382951 O	18/08/21	2:15 p. m.

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

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Gerente de Operaciones

M. Sc. Ingeniero Químico CP 114420  
NH-18 N° 1444



# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado

Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com


## INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00044

Hoja de resultados

1/09/2021

Pág.: 2/4

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7003	*7002	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7022	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003
		Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	Hg	In	K	Li	Mg	Mn	Mo	
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	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	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD20000063	M-3 LODO DE BIODIGESTORES A TEMPERATURA AMBIENTE.	2,62	>10 000	33,83	610,6	359,3	0,64	<0,5	>10 000	1,643	4,87	42,82	136,6	>10 000	<0,40	12,28	<0,10	9,065	10,8	3,913	333,0	4,22	

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

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

NH-18 N° 1445



# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado

Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00044

Hoja de resultados

1/09/2021

Pág.: 3/4

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003 Na MT mg/Kg	*7003 Ni MT mg/Kg	*7003 P MT mg/Kg	*7003 Pb MT mg/Kg	*7003 Sb MT mg/Kg	*7003 Se MT mg/Kg	*7003 Sn MT mg/Kg	*7003 Sr MT mg/Kg	*7003 Te MT mg/Kg	*7003 Ti MT mg/Kg	*7003 Tl MT mg/Kg	*7003 V MT mg/Kg	*7003 Zn MT mg/Kg	7005 N g/Kg	*7021 CO <sub>2</sub> O %	*7023 pH 21,3C	*7097 H <sub>2</sub> O %	*7016 DQO Total mg/Kg	*7054 DBO Total mg/Kg
SD20000063	M-3 LODO DE BIODIGESTORES A TEMPERATURA AMBIENTE.	1 409	19,22	>10 000	45,51	0,48	1,38	≈<4	188,18	≈<0,20	165,42	0,64	35,17	1 723	22,0	50,1	7,87	83,6	558000	23500

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

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

NH-18 N° 1448

# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582  
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com


## INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00044

Hoja de resultados

1/09/2021

Pág.: 4/4

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7020 Helminfos y Parásitos N° de huevos y larvas de Helminfos / 4g	*7070 Coliforme Fecal NMP/1g	*7114 Salmonella Pres. o Aus./g
SD20000063	M-3 LODO DE BIODIGESTORES A TEMPERATURA AMBIENTE.	3	430	Ausencia

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

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

NH-18 N° 1447

## ANEXO 2

Ficha de recolección de datos para temperatura ambiente y con cobertura.

FECHA	Presión promedio (atm)	Temperatura (K)	Número de moles (mol)	n/día	V biogás (L gas/día)
7/05/2021	0.000	294.22	0.000	0.000	0
8/05/2021	0.000	295.15	0.000	0.000	0
10/05/2021	0.000	293.52	0.000	0.000	0
11/05/2021	0.000	293.92	0.000	0.000	0
12/05/2021	0.000	294.62	0.000	0.000	0
13/05/2021	0.000	294.25	0.000	0.000	0
14/05/2021	0.000	293.48	0.000	0.000	0
15/05/2021	0.000	293.78	0.000	0.000	0
17/05/2021	0.000	295.05	0.000	0.000	0
18/05/2021	0.000	294.48	0.000	0.000	0
19/05/2021	0.000	292.25	0.000	0.000	0
20/05/2021	0.000	291.95	0.000	0.000	0
21/05/2021	0.000	294.42	0.000	0.000	0
22/05/2021	0.000	296.55	0.000	0.000	0
24/05/2021	0.000	292.55	0.000	0.000	0
25/05/2021	0.000	296.92	0.000	0.000	0
26/05/2021	0.000	294.88	0.000	0.000	0
27/05/2021	0.000	294.12	0.000	0.000	0
28/05/2021	0.000	291.38	0.000	0.000	0
29/05/2021	0.000	294.25	0.000	0.000	0
31/05/2021	0.000	296.32	0.000	0.000	0

**VOLUMEN DEL BIOGÁS A TEMPERATURA AMBIENTAL DEL  
BIODIGESTOR (MES DE JUNIO)**

<b>FECHA</b>	<b>Presión (atm)</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Número de moles (mol)</b>	<b>n/día</b>	<b>V biogás (L gas/día)</b>
1/06/2021	0.00	292.32	0.00	0.00	0.00
2/06/2021	0.00	290.95	0.00	0.00	0.00
3/06/2021	0.00	291.92	0.00	0.00	0.00
4/06/2021	0.00	290.68	0.00	0.00	0.00
5/06/2021	0.00	293.52	0.00	0.00	0.00
7/06/2021	0.00	291.98	0.00	0.00	0.00
8/06/2021	0.00	291.15	0.00	0.00	0.00
9/06/2021	0.00	292.05	0.00	0.00	0.00
10/06/2021	0.00	291.82	0.00	0.00	0.00
11/06/2021	0.00	292.98	0.00	0.00	0.00
12/06/2021	0.00	293.12	0.00	0.00	0.00
14/06/2021	0.00	291.05	0.00	0.00	0.00
15/06/2021	0.00	291.55	0.00	0.00	0.00
16/06/2021	0.00	291.65	0.00	0.00	0.00
17/06/2021	0.00	291.88	0.00	0.00	0.00
18/06/2021	0.00	292.12	0.00	0.00	0.00
19/06/2021	0.00	292.02	0.00	0.00	0.00
21/06/2021	0.00	289.48	0.00	0.00	0.00
22/06/2021	0.00	289.02	0.00	0.00	0.00
23/06/2021	0.00	290.18	0.00	0.00	0.00
24/06/2021	0.00	285.08	0.00	0.00	0.00
25/06/2021	0.00	288.52	0.00	0.00	0.00
26/06/2021	0.00	293.85	0.00	0.00	0.00
28/06/2021	0.00	291.15	0.00	0.00	0.00
29/06/2021	0.00	290.95	0.00	0.00	0.00
30/06/2021	0.00	290.42	0.00	0.00	0.00

**VOLUMEN DEL BIOGÁS A TEMPERATURA AMBIENTAL DEL BIODIGESTOR  
(MES DE JULIO)**

<b>FECHA</b>	<b>Presión (atm)</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Número de moles (mol)</b>	<b>n/día</b>	<b>V biogás (L gas/día)</b>
1/07/2021	0.0000	289.45	0.00	0.00	0
2/07/2021	0.0000	287.28	0.00	0.00	0
3/07/2021	0.0000	288.82	0.00	0.00	0
5/07/2021	0.0000	289.42	0.00	0.00	0
6/07/2021	0.0000	288.55	0.00	0.00	0
7/07/2021	0.0000	288.92	0.00	0.00	0
8/07/2021	0.0000	290.38	0.00	0.00	0
9/07/2021	0.0000	289.25	0.00	0.00	0
10/07/2021	0.0000	289.52	0.00	0.00	0
12/07/2021	0.0000	288.72	0.00	0.00	0
13/07/2021	0.0000	289.02	0.00	0.00	0
14/07/2021	0.0000	290.62	0.00	0.00	0
15/07/2021	0.0000	289.75	0.00	0.00	0
16/07/2021	0.0000	289.58	0.00	0.00	0
17/07/2021	0.0000	290.12	0.00	0.00	0
19/07/2021	0.0000	289.32	0.00	0.00	0
20/07/2021	0.0000	289.28	0.00	0.00	0
21/07/2021	0.0015	287.18	0.00	0.00	0.084
22/07/2021	0.0025	290.18	0.01	0.01	0.139
23/07/2021	0.0035	292.12	0.01	0.01	0.194
24/07/2021	0.0032	290.78	0.01	0.01	0.178
26/07/2021	0.0046	292.82	0.01	0.01	0.260
27/07/2021	0.0059	295.92	0.01	0.01	0.328
28/07/2021	0.0055	292.48	0.01	0.01	0.307
29/07/2021	0.0061	292.62	0.02	0.02	0.343
30/07/2021	0.0075	293.55	0.02	0.02	0.419
31/07/2021	0.0081	291.82	0.02	0.02	0.454

---

**VOLUMEN DEL BIOGÁS A TEMPERATURA AMBIENTAL DEL  
BIODIGESTOR (MES DE AGOSTO)**

---

<b>FECHA</b>	<b>Presión (atm)</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Número de moles (mol)</b>	<b>n/día</b>	<b>V biogás (L gas/día)</b>
2/08/2021	0.0094	293.12	0.02	0.02	0.524
3/08/2021	0.0089	292.15	0.02	0.02	0.498
4/08/2021	0.0072	291.28	0.02	0.02	0.405
5/08/2021	0.0061	292.65	0.02	0.2	0.343
6/08/2021	0.0054	293.55	0.01	0.01	0.303
7/08/2021	0.0038	292.52	0.01	0.01	0.210
9/08/2021	0.0030	294.35	0.01	0.01	0.165
10/08/2021	0.0015	293.15	0.00	0.00	0.083
11/08/2021	0.0003	294.58	0.00	0.00	0.016
12/08/2021	0.0001	293.75	0.00	0.00	0.006
13/08/2021	0.0000	293.45	0.00	0.00	0.000

---

**VOLUMEN DEL BIOGÁS A TEMPERATURA CON COBERTURA DEL  
BIODIGESTOR (MES DE MAYO)**

<b>FECHA</b>	<b>Presión (atm)</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Número de moles (mol)</b>	<b>n/día</b>	<b>V biogás (L gas/día)</b>
7/05/2021	0.000	299.05	0.00	0.00	0.000
8/05/2021	0.000	297.82	0.00	0.00	0.000
10/05/2021	0.000	297.18	0.00	0.00	0.000
11/05/2021	0.000	298.58	0.00	0.00	0.000
12/05/2021	0.000	298.55	0.00	0.00	0.000
13/05/2021	0.000	299.68	0.00	0.00	0.000
14/05/2021	0.000	300.02	0.00	0.00	0.000
15/05/2021	0.000	298.72	0.00	0.00	0.000
17/05/2021	0.000	298.52	0.00	0.00	0.000
18/05/2021	0.000	298.98	0.00	0.00	0.000
19/05/2021	0.000	296.48	0.00	0.00	0.000
20/05/2021	0.000	298.35	0.00	0.00	0.000
21/05/2021	0.000	298.72	0.00	0.00	0.000
22/05/2021	0.000	299.75	0.00	0.00	0.000
24/05/2021	0.000	297.55	0.00	0.00	0.000
25/05/2021	0.000	300.05	0.00	0.00	0.000
26/05/2021	0.000	300.15	0.00	0.00	0.000
27/05/2021	0.000	298.12	0.00	0.00	0.000
28/05/2021	0.000	296.52	0.00	0.00	0.000
29/05/2021	0.000	298.62	0.00	0.00	0.000
31/05/2021	0.000	301.15	0.00	0.00	0.000

---

**VOLUMEN DEL BIOGÁS A TEMPERATURA CON COBERTURA DEL  
BIODIGESTOR (MES DE JUNIO)**

---

<b>FECHA</b>	<b>Presión (atm)</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Número de moles (mol)</b>	<b>n/día</b>	<b>V biogás (L gas/día)</b>
1/06/2021	0.000	296.88	0.000	0.000	0.000
2/06/2021	0.000	295.02	0.000	0.000	0.000
3/06/2021	0.000	298.35	0.000	0.000	0.000
4/06/2021	0.000	298.38	0.000	0.000	0.000
5/06/2021	0.000	296.95	0.000	0.000	0.000
7/06/2021	0.000	296.75	0.000	0.000	0.000
8/06/2021	0.000	297.12	0.000	0.000	0.000
9/06/2021	0.000	300.02	0.000	0.000	0.000
10/06/2021	0.000	297.48	0.000	0.000	0.000
11/06/2021	0.000	298.48	0.000	0.000	0.000
12/06/2021	0.000	300.18	0.000	0.000	0.000
14/06/2021	0.000	297.65	0.000	0.000	0.000
15/06/2021	0.000	299.78	0.000	0.000	0.000
16/06/2021	0.000	297.95	0.000	0.000	0.000
17/06/2021	0.000	298.28	0.000	0.000	0.000
18/06/2021	0.000	298.08	0.000	0.000	0.000
19/06/2021	0.000	300.15	0.000	0.000	0.000
21/06/2021	0.000	296.02	0.000	0.000	0.000
22/06/2021	0.000	298.18	0.000	0.000	0.000
23/06/2021	0.000	297.92	0.000	0.000	0.000
24/06/2021	0.000	295.88	0.000	0.000	0.000
25/06/2021	0.000	297.05	0.000	0.000	0.000
26/06/2021	0.000	298.28	0.000	0.000	0.000
28/06/2021	0.000	300.45	0.000	0.000	0.000
29/06/2021	0.000	296.78	0.000	0.000	0.000
30/06/2021	0.000	298.35	0.000	0.000	0.000

---



**VOLUMEN DEL BIOGÁS A TEMPERATURA CON COBERTURA DEL  
BIODIGESTOR (MES DE JULIO)**

<b>FECHA</b>	<b>Presión (atm)</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Número de moles (mol)</b>	<b>n/día</b>	<b>V biogás (L gas/día)</b>
1/07/2021	0.0000	295.62	0.0000	0.0000	0.000
2/07/2021	0.0000	293.52	0.0000	0.0000	0.000
3/07/2021	0.0000	294.65	0.0000	0.0000	0.000
5/07/2021	0.0000	295.42	0.0000	0.0029	0.000
6/07/2021	0.0015	296.15	0.0037	0.0061	0.082
7/07/2021	0.0025	295.15	0.0061	0.0073	0.137
8/07/2021	0.0044	296.25	0.0110	0.0110	0.246
9/07/2021	0.0056	295.92	0.0139	0.0139	0.311
10/07/2021	0.0059	295.82	0.0146	0.0146	0.328
12/07/2021	0.0074	296.65	0.0182	0.0185	0.409
13/07/2021	0.0069	294.52	0.0172	0.0159	0.384
14/07/2021	0.0081	295.62	0.0200	0.0200	0.448
15/07/2021	0.0084	295.28	0.0208	0.0232	0.465
16/07/2021	0.0099	295.68	0.0244	0.0244	0.547
17/07/2021	0.0118	295.35	0.0293	0.0305	0.657
19/07/2021	0.0128	296.15	0.0317	0.0361	0.710
20/07/2021	0.0138	295.08	0.0342	0.0379	0.767
21/07/2021	0.0168	294.58	0.0417	0.0453	0.933
22/07/2021	0.0178	297.55	0.0437	0.0485	0.978
23/07/2021	0.0188	296.88	0.0462	0.0474	1.035
24/07/2021	0.0181	296.15	0.0446	0.0451	0.999
26/07/2021	0.0168	296.92	0.0413	0.0425	0.926
27/07/2021	0.0158	297.38	0.0388	0.0413	0.870
28/07/2021	0.0148	296.25	0.0365	0.0365	0.819
29/07/2021	0.0123	297.65	0.0303	0.0303	0.679
30/07/2021	0.0094	297.95	0.0230	0.0242	0.516
31/07/2021	0.0074	296.62	0.0183	0.0214	0.409

---

**VOLUMEN DEL BIOGÁS A TEMPERATURA CON COBERTURA DEL  
BIODIGESTOR (MES DE AGOSTO)**

---

<b>FECHA</b>	<b>Presión (atm)</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Número de moles (mol)</b>	<b>n/día</b>	<b>V biogás (L gas/día)</b>
2/08/2021	0.0072	300.12	0.0176	0.0180	0.393
3/08/2021	0.0059	297.35	0.0146	0.0153	0.326
4/08/2021	0.0052	297.12	0.0129	0.0134	0.288
5/08/2021	0.0039	298.08	0.0097	0.0116	0.217
6/08/2021	0.0035	298.02	0.0085	0.0085	0.190
7/08/2021	0.0025	295.52	0.0061	0.0061	0.137
9/08/2021	0.0020	299.22	0.0048	0.0048	0.108
10/08/2021	0.0010	298.15	0.0024	0.0036	0.054
11/08/2021	0.0005	299.92	0.0012	0.0017	0.027
12/08/2021	0.0003	298.12	0.0007	0.0007	0.016
13/08/2021	0.0000	298.65	0.0000	0.0000	0.000

---

## ANEXO 3

Protocolo de Monitoreo aprobado con Resolución Ministerial N°093-2018- Vivienda.



# Resolución Ministerial

13 MAR. 2018

N° 093-2018-VIVIENDA

### CONSIDERANDO:

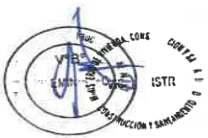
Que, la Sexta Disposición Complementaria Final del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos establece que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento emite, mediante Decreto Supremo, el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos de los Sistemas de Tratamiento generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas para consumo humano, Plantas de Tratamiento de Agua Residuales y otros sistemas vinculados a la prestación de los servicios de saneamiento, el cual debe contar con el refrendo del Ministerio del Ambiente

Que, mediante Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA, se aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, el cual tiene por objeto establecer las disposiciones para determinar las características de los Lodos, así como la clasificación, los arámetros para la producción y el control de la aplicación de los biosólidos provenientes de la estabilización de Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas o municipales;

Que, la Quinta Disposición Complementaria Final del referido Reglamento dispone que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en el término de ciento ochenta (180) días calendario aprueba, mediante Resolución Ministerial, el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos;

Que, el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos es la herramienta que permite establecer los procedimientos y metodologías que deben cumplirse para la determinación de la calidad de los Lodos provenientes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales u otros sistemas de saneamiento para la disposición final o reaprovechamiento, en el marco de lo establecido en las Condiciones Mínimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final, aprobadas mediante Resolución Ministerial N° 128-2017-VIVIENDA;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, su Reglamento de Organización y Funciones, aprobado por Decreto Supremo N° 010-2014-VIVIENDA, modificado por el Decreto Supremo N° 006-2015-VIVIENDA y en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, aprobado mediante Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA;



**SE RESUELVE:**

**Artículo 1. Aprobación del Protocolo de Monitoreo de Biosólidos**

Apruébese el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos que como anexo forma parte integrante de la presente Resolución Ministerial.

**Artículo 2. Publicación**

La presente Resolución Ministerial y el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos que se aprueba en el artículo precedente, son publicados en el Portal Institucional del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento ([www.vivienda.gob.pe](http://www.vivienda.gob.pe)) el mismo día de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

Regístrese, comuníquese y publíquese



  
.....  
**CARLOS BRUCE**  
Ministro de Vivienda,  
Construcción y Saneamiento

## PROTOCOLO DE MONITOREO DE BIOSÓLIDOS

### CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	3
2	JUSTIFICACIÓN.....	4
3	OBJETIVO .....	4
3.1	Objetivo general.....	4
3.2	Objetivo específico .....	4
4	MARCO LEGAL .....	4
5	ALCANCE Y APLICACIÓN DEL PROTOCOLO.....	5
6	METODOLOGÍA .....	5
6.1	Toma y manejo de muestra .....	5
6.1.1	Plan de monitoreo – Control de calidad en el monitoreo .....	5
6.1.2	Toma de muestra.....	6
6.1.3	Preservación - Conservación y transporte de muestra.....	17
6.1.4	Frecuencia de monitoreo.....	19
6.1.5	Documentación .....	19
6.1.6	Normas y buenas prácticas nacionales e internacionales .....	21
6.2	Análisis de muestras en laboratorios.....	21
6.2.1	Parámetros relevantes.....	21
6.2.2	Número de análisis.....	22
6.2.3	Términos de referencia para el análisis en los primeros 3 años.....	22
6.2.4	Términos referencia para el análisis luego de los 3 años .....	27
6.2.5	Manejo de los resultados de monitoreo .....	27
7	BIBLIOGRAFÍA.....	28
8	ANEXOS .....	29
8.1	Etiqueta del envase de muestra.....	29
8.2	Protocolo de transporte – Cadena de custodia.....	30
8.3	Equipos de muestreo de lodos o biosólidos.....	31

### Índice de ilustraciones

Ilustración 1:	Ejemplo de una tabla de números aleatorios (Brobst, 2017).....	13
Ilustración 2:	Las líneas 3 hasta 5 de la tabla de número aleatorios según Ilustración 1 con determinación de los 27 números de dos (2) dígitos que representan los números de las cuadras de donde se tomará la muestra de puntual del cuerpo del sustrato. ....	13
Ilustración 3:	Esquema de la laguna con malla de 100 cuadrados uniformes sobre toda la superficie de lodo o biosólido acumulado (cuadro con línea ancha). .....	14



**Índice de tablas**

Tabla 1: Cantidad de muestras requeridas (Brobst, 2017) ..... 12

Tabla 2: Equipos de toma de muestra según consistencia del lodo o biosólido (Brobst, 2017) (Véase también el anexo) ..... 16

Tabla 3: Condición de preservación y tiempos de almacenamiento de muestras de biosólidos (US EPA, POW Sludge Sampling And Analysis Guidance Document , 1989), (State of Ohio Environmental Protection Agency, 2009) (New Jersey Department of Environmental Protection, 2012) ..... 19

TABLA 4: Normas y recomendaciones internacionales para la medición de los parámetros de biosólidos relevantes según el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Moodley, Archer, Hawksworth, & Leibach, 2008) (New Jersey Department of Environmental Protection, 2012) (State of Ohio Environmental Protection Agency, 2009) (US EPA, Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge, 2003) ..... 25



## 1 INTRODUCCIÓN

El Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos<sup>1</sup> establece entre las finalidades de la gestión integral, la valorización de los residuos, a través de la reutilización, reciclaje, compostaje u otras alternativas de aprovechamiento o disposición final.

Por otro lado, el precitado Decreto Legislativo establece en su Sexta Disposición Complementaria Final que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento regula el reaprovechamiento de lodos generados en las plantas de tratamiento de agua para consumo humano, las plantas de tratamiento de aguas residuales y otros sistemas vinculados a la prestación de los servicios de saneamiento, de acuerdo con el tipo de actividad a desarrollar.

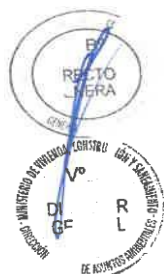
En ese marco, se emitió el Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, el cual establece las características de los lodos; así como la clasificación, los parámetros para la producción y el control de la aplicación de biosólidos provenientes de la estabilización de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) domésticas o municipales.

El Protocolo de Monitoreo de Biosólidos es la herramienta que permite establecer los procedimientos y metodologías que deben cumplirse para determinar si un lodo proveniente de una PTAR puede ser calificado como biosólido, cumpliendo exigencias definidas respecto:

- Al grado mínimo de estabilización,
- A concentraciones máximas de metales pesados y
- A concentraciones máximas de parámetros microbiológicos, según el caso.

Además, permite determinar las restricciones en la tasa de aplicación de biosólidos en suelos para evitar dotaciones en exceso de nitrógeno y metales pesados.

La aplicación del protocolo, ante la ausencia de capacidades y oferta actual de laboratorios acreditados a nivel Nacional permite el desarrollo de actividades de monitoreo y control del cumplimiento de las disposiciones contenidas en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos Generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, contribuyendo a la protección del ambiente y la salud de las personas.



---

<sup>1</sup> Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos se emitió en el marco de la Ley N° 30506, Ley que delega en el Poder Ejecutivo la facultad de legislar en materia de reactivación económica y formalización, seguridad ciudadana, lucha contra la corrupción, agua y saneamiento y reorganización de Petroperú S.A., mediante la cual el Congreso de la República delega en el Poder Ejecutivo la facultad para legislar, por el término de noventa (90) días calendario, entre otras, en materia de reactivación económica y formalización, así como en agua y saneamiento.



## 2 JUSTIFICACIÓN

El Protocolo de Monitoreo de Biosólidos es la herramienta que brinda la orientación técnica necesaria para sustentar la producción de biosólidos y su reaprovechamiento adecuado, de conformidad con lo establecido en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Asimismo, permitirá el desarrollo de acciones de monitoreo a cargo de productores y comercializadores, siendo una herramienta indispensable para las acciones de supervisión y fiscalización ambiental, ante la ausencia de laboratorios con acreditación de métodos necesarios para la caracterización de biosólidos.

Esta herramienta podrá utilizarse supletoriamente para la determinación de la calidad de los lodos generados en las PTAR u otros sistemas de saneamiento para la disposición final o reaprovechamiento en el marco de la Resolución Ministerial N° 128-2017-VIVIENDA.

## 3 OBJETIVO

### 3.1 Objetivo general

Estandarizar la metodología y unidades para el desarrollo del monitoreo, análisis de muestras y evaluación de biosólidos.

### 3.2 Objetivo específico

El protocolo de monitoreo tiene los siguientes objetivos específicos:

- a) Determinar el procedimiento y criterio técnico para la toma y manejo de muestras de lodos o sustratos de lodo producido en una PTAR; y,
- b) Definir criterios de análisis de estas muestras para evaluar si el lodo o sustrato de lodo producido en una PTAR cumple los criterios para ser calificado como biosólido.

## 4 MARCO LEGAL

El Protocolo de Monitoreo de Biosólidos es la herramienta que sirve como base para el desarrollo de las acciones de monitoreo, supervisión y fiscalización en el marco de lo establecido en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. En este sentido estas acciones están vinculadas a la aplicación e implementación de las siguientes normas:

- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.
- Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- Ley N° 29325, Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
- Ley N° 30224, Ley que crea el Sistema Nacional para la Calidad y el Instituto Nacional de Calidad.
- Decreto Legislativo N° 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento.
- Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.





- Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, que aprueba el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
- Decreto Supremo N° 019-2017-VIVIENDA, que aprueba el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento.
- Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA, que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Decreto Supremo N° 004-2015-PRODUCE, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Nacional de Calidad.
- Resolución Ministerial N° 128-2017-VIVIENDA, que aprueba las Condiciones Mínimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final.

## 5 ALCANCE Y APLICACIÓN DEL PROTOCOLO

El Protocolo de Monitoreo de Biosólidos es aplicable de forma obligatoria para determinar si se ha producido un biosólido a partir de lodos o sustratos de lodos provenientes de una PTAR, así como para las acciones de monitoreo, supervisión y fiscalización en el proceso de producción y comercialización de biosólidos.

Por otro lado, el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos se centra en la definición de condiciones para el análisis de los parámetros con límites definidos en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y otros sistemas de saneamiento que los generen.

No obstante, según el Reglamento precitado, la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (en adelante, **MVCS**) puede exigir el monitoreo de parámetros adicionales. En este caso, es responsabilidad del productor o comercializador revisar si las condiciones definidas en el presente protocolo son aplicables para el monitoreo de parámetros adicionales.

El Protocolo de Monitoreo de Biosólidos debe ser aplicado para efectos de control operacional de los productores o comercializadores de biosólidos, sin perjuicio de la acreditación de laboratorios ante el Instituto Nacional de Calidad (en adelante, **INACAL**).

Asimismo, el presente Protocolo podrá ser aplicado para las actividades de monitoreo y supervisión en el marco de la Resolución Ministerial N° 128-2017-VIVIENDA "Aprueban Condiciones Mínimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final".

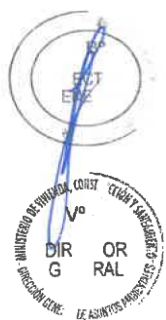
## 6 METODOLOGÍA

### 6.1 Toma y manejo de muestra

#### 6.1.1 Plan de monitoreo – Control de calidad en el monitoreo

El plan de monitoreo del lodo o biosólido es un documento adicional al manual de operación y mantenimiento de una PTAR (productora del lodo o biosólido) y es la base principal para el control de la calidad en el monitoreo. El plan debe asegurar condiciones similares cada vez que se realiza el monitoreo, a fin de asegurar la comparabilidad de los resultados, considerando los siguientes puntos:

- ~~Metodología para la toma de muestra (se deben considerar las condiciones operacionales representativas de la PTAR productora del lodo o biosólido,~~



punto de toma muestra – de ser posible georreferenciación, volúmenes de muestras, reactivos de preservación, equipamiento usado, descripción del procedimiento, seguridad del trabajo).

- Contratación de laboratorios externos (lista de laboratorios, verificación de acreditación por parámetro requerido, definición de análisis requeridos, organización de la cadena de custodia, asegurar la adecuada cantidad y calidad de envases para el transporte).
- Documentación (etiquetas estandarizadas, formato y/o registro en el libro de ocurrencias, cadena de custodia).
- Procesamiento de la data (ruta para la evaluación interna, reportes de resultados a terceros).

### 6.1.2 Toma de muestra

La correcta toma de muestra es crucial para la representatividad de los resultados del análisis del lodo o biosólido y, por lo tanto, para concluir que se cumple con los criterios o parámetros establecidos para los biosólidos, lo que permite su aprovechamiento con riesgos controlados.

La representatividad de los resultados de una toma de muestra se aumenta analizando varias muestras puntuales en una ocasión o muestras compuestas preparadas de varias muestras puntuales. Sin embargo, el mejor conocimiento y fiabilidad sobre la calidad de lodos o biosólidos a largo plazo se logra realizando los monitoreos con las frecuencias definidas en el presente protocolo.

Los lodos o los biosólidos se monitorean, principalmente, en las condiciones en las cuales son entregados al usuario o comercializador, en el momento de la extracción de la PTAR. En caso los lodos o los biosólidos proceden de diferentes procesos de una PTAR como, por ejemplo, de los lechos de secados de los Tanques Imhoff (tratamiento primario) o de las lagunas de estabilización (tratamiento secundario) de la misma PTAR, donde no se puede asegurar una buena homogenización de los diferentes sustratos, se debe realizar lo siguiente:

1. Analizar el lodo o el biosólido de cada procedencia por separado.
2. Producir muestras compuestas con fracciones relacionadas a la producción de cada lodo o biosólido dentro la producción total de estos.

#### 6.1.2.1 Tipos de muestras

##### 6.1.2.1.1 Muestra puntual

La muestra puntual es la muestra de cierto tamaño que ha sido tomada en un punto y momento determinado. La muestra puntual representa únicamente la calidad del lodo o biosólido en el momento del muestreo y respecto a un punto determinado.

La extrapolación de los resultados a partir de una sola muestra puntual a todo el lodo o biosólido producido no es válida. Para asegurar la representatividad sobre la calidad del lodo o biosólido se deben tomar varias muestras puntuales y analizar cada muestra de manera separada o preparar y analizar muestras compuestas a partir de varias muestras puntuales.

##### 6.1.2.1.2 Muestra compuesta

La muestra compuesta es una muestra que resulta de la mezcla y homogenización de varias muestras puntuales. En caso del monitoreo de un lodo o biosólido acumulado por varias semanas o incluso por años, antes de la entrega al usuario (por ejemplo, en



contenedores, reservorios, lechos de secado, fondo de lagunas de estabilización, almiarés, etc.), la muestra compuesta se constituye de muestras puntuales tomadas al azar respecto a la ubicación en el cuerpo total del lodo acumulado, siguiendo las especificaciones en adelante.

Considerando que se trata de la toma de muestra de lodos o biosólidos acumulados por varias semanas, el tiempo entre dos (2) tomas de muestras puntuales no es un factor relevante para la calidad de la muestra compuesta. Se pueden tomar las muestras en el mismo momento o una tras otra, según el avance del trabajo de la toma de muestra.

En caso del monitoreo de un lodo o biosólido de un proceso productivo continuo (deshidratación mecánica, purga de lodo o biosólido líquido a un camión con tanque) la muestra compuesta se compone de muestras puntuales tomadas en el mismo punto. El intervalo entre la toma de cada muestra puntual debe ser por lo menos de treinta (30) minutos. Sin embargo, una mayor representatividad se asegura con la toma de un mínimo de cinco (5) muestras puntuales en un período de dos (2) semanas.

Generalmente, se produce la muestra compuesta de muestras puntuales de la misma masa o volumen. Es importante asegurar una buena homogenización de las muestras puntuales que forman la muestra compuesta, porque finalmente en el laboratorio se utiliza solo una menor parte de la muestra, lo que aumenta el riesgo de analizar solo la parte de una muestra puntual.

De toda la muestra compuesta se obtiene el volumen de muestra necesario para el análisis principal y en caso de su necesidad el volumen para la muestra dirimente.

El procedimiento práctico de la preparación y subdivisión de la muestra compuesta depende de la condición física de la muestra (véase los ítems 6.1.2.1.2.1 hasta 6.1.2.1.2.3).

#### **6.1.2.1.2.1 La preparación de muestras compuestas de lodos o biosólidos líquidos**

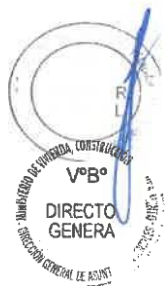
Las muestras compuestas de sustratos líquidos se producen asegurando una homogenización completa entre muestras puntuales dentro de un envase / botella de cuello ancho de plástico o acero inoxidable con un volumen que permite una agitación intensiva con barras batidoras de vidrio, teflón o cucharas de acero inoxidable.

Es importante que se evite la separación de las fases de la muestra por sedimentación, especialmente en el momento de transvasado de una submuestra, por ejemplo, para el envío al laboratorio. Una alternativa es la toma de la submuestra del volumen bien agitado mediante una pipeta con boca suficientemente abierta para tomar todas fracciones de sólidos de la muestra.

#### **6.1.2.1.2.2 La preparación de muestras compuestas de lodos o biosólidos pastosos**

Dependiendo de la consistencia se puede homogenizar lodos o biosólidos pastosos con batidoras mecánicas manuales. Otra opción aceptable es la homogenización con la mano (con guantes adecuados) de varias submuestras antes de juntar y homogenizar todo el sustrato.

La reducción de la muestra compuesta al volumen necesario para el análisis se realiza por cuarteo. Se forma de toda la muestra homogenizada una torta regular encima de una superficie lisa y limpia, partiéndola en 4 pedazos uniformes; 2 partes





diametralmente opuestas se homogeniza nuevamente y cuartea de la manera descrita antes, hasta cuando el volumen de la muestra se haya reducido al volumen necesario para el análisis principal y de ser el caso para la muestra dirimente.

La subdivisión y toma de la muestra se debe realizar rápidamente para evitar que se descomponga la mezcla.

#### **6.1.2.1.2.3 La preparación de muestras compuestas de lodos o biosólidos secos**

Los sustratos o lodos o biosólidos secos tienen la tendencia a formar conglomerantes de diferentes tamaños y de alta dureza. Por lo tanto, para una buena homogenización puede ser necesario reducir sus tamaños mediante el uso de molinos, batidoras o almireces.

Las submuestras, preparadas de tal manera, se juntan y homogenizan posteriormente en un envase cerrado, agitándolas o rotándolas.

En caso de grandes cantidades de muestras de sustrato granular se asegura la homogenización, ordenando las muestras puntuales en forma de un anillo encima de una superficie plana, lisa y limpia. Posteriormente, con una pala se lleva una parte del anillo hacía su centro avanzando por todo el perímetro del anillo donde se acumula un cono de las muestras mezcladas. Luego, se aplasta el cono para obtener un disco el cual se divide en cuatro (4) partes, se apila nuevamente en un cono, el cual se aplasta y divide nuevamente para su apilamiento. Este procedimiento se repite por lo menos 3 (tres) veces.

La reducción de la muestra compuesta al volumen necesario para el análisis se realiza por cuarteo como descrito en el ítem 6.1.2.1.2.2.

#### **6.1.2.1.3 Tipo de muestras para el análisis de los diferentes parámetros**

En caso del análisis de los parámetros químicos se analiza en el laboratorio muestras compuestas preparadas de un mínimo de cinco (5) muestras puntuales, salvo la definición de cantidades diferentes en el presente protocolo.

En caso del análisis de los parámetros microbiológicos se analizan muestras puntuales, sin mezcla con otras muestras.

#### **6.1.2.2 Punto de la toma de muestra**

Un buen punto de toma de muestra es representativo del material a evaluar, debe ser fácil de alcanzar sin peligros para la persona que toma la muestra. En el caso ideal debe asegurar la toma de muestra del lodo o biosólido en un proceso de movimiento, por ejemplo descargas de máquinas procesadoras del lodo, fajas transportadoras, tubos y canal de transporte de lodo. Sin embargo, esto depende mucho del proceso de generación del lodo y su condición física.

#### **6.1.2.2.1 Lodos o biosólidos líquidos**

##### **Toma de muestra de tubos**

Las muestras puntuales deben obtenerse directamente de tuberías transportadoras del lodo o biosólido. El punto de la toma de muestra debe ser siempre el mismo. Los puntos que aseguran una buena homogenización de las muestras son tubos de presión directamente después de la bomba de lodos, y tubos de mayor velocidad de flujo (> 0,6 m/s). La instalación de la toma de muestra (tubos, válvulas) debe ser lavado con el mismo flujo de lodo o biosólido ante de la toma de muestra. El tiempo de lavado debe asegurar un volumen de lavado correspondiente a mayor que 3 veces del



volumen de la instalación misma. Además, hay que asegurar que sedimentos filamentosos atrapados en la instalación de muestra no favorezcan una filtración de la muestra tomada.

La toma de muestra de canales abiertos se realiza en zonas de buena mezcla mediante baldes o probetas adecuadas. Dependiendo del contenido de sólidos del lodo es posible toma la muestra por bombeo.

#### Toma de muestra de reservorios o cisternas

En caso de la toma de muestras puntuales de reservorios con agitación completa se puede sacar muestras de lodos o biosólidos líquidos en cualquier punto que asegure la representatividad y la toma de muestra en condiciones de seguridad.

En caso de toma de muestra de reservorios o camiones cisternas sin mezcla completa, se toma las muestras puntuales preferentemente durante la descarga del contenido en determinados intervalos. De esta manera se asegura la toma de muestras de los distintos estratos que se pueden formar en el lodo estancado. De las muestras puntuales se prepara una muestra compuesta, representativa del lodo total.

En caso de toma de muestra de reservorios sin agitación completa y acceso correspondiente se puede sacar también muestras puntuales de diferentes puntos distribuidos al azar sobre la superficie del reservorio. La cantidad (N) mínima de muestras puntuales a tomar en este caso se puede determinar según la Ecuación 1. de un volumen de lodo o biosólido conocido (V en m<sup>3</sup>) se puede determinar según la siguiente fórmula:

*Ecuación 1: Determinación de la cantidad mínima de muestras puntuales de un volumen de lodo o biosólido conocido*

$$N = V^{0.5}/2.$$

N = Cantidad mínima de muestras puntuales

V = Volumen del lodo o biosólido en m<sup>3</sup>

La cantidad mínima (n) debe ser en todo caso mayor o igual que 5. Opcionalmente se puede aplicar también el método descrito en el ítem 6.1.2.2.1.

Si no es posible asegurar la toma de todo el perfil del lodo o biosólido, se puede tomar ~~en los puntos definidos~~ <sup>alternativamente</sup> submuestras en diferentes profundidades, por ejemplo, a 25%, 50%, 75% de la profundidad total del sustrato acumulado.

#### **6.1.2.2.2 Lodos o biosólidos pastosos y secos**

##### Toma de muestra de descargas

En caso de la toma de muestra de lodos o biosólidos deshidratados mecánicamente se deben tomar muestras puntuales de la descarga del equipo de deshidratación, ~~de las caídas de las fajas transportadoras~~ a otras fajas o al punto almacenamiento temporal (contenedor o apilamiento), cada vez captando la muestra directamente de la caída de los lodos o biosólidos. Si es posible se capta toda la caída durante un tiempo definido en un recipiente adecuado o solo una parte.

##### Toma de muestras de fajas transportadoras

Como conglomerados de lodo tienen la tendencia de clasificarse según tamaño en una faja transportadora es importante tomar muestras de la sección transversal completa



de la faja. Esto se logra por ejemplo pasando una pala de forma transversal de un lado al otro lado de la faja operativa, desviando la cantidad necesaria del lodo o biosólido al recipiente de la muestra. En caso que la cinta no opere se toma el volumen necesario de la muestra directamente de la cinta.

#### Toma de muestra de contenedores

En caso de la toma de muestra de un contenedor estándar para el transporte vial, se debe conseguir al menos cuatro (4) muestras de diferentes puntos del contenedor. Cada muestra debe contener todo el perfil del lodo o biosólido acumulado o submuestra de diferentes profundidades a lo largo del perfil. Es importante no tomar solo muestras superficiales, porque la superficie generalmente está expuesta a impactos climáticos, lo que puede afectar la concentración de sólidos, sólidos volátiles y nutrientes. Por lo tanto, preferentemente se toma muestras intermitentes durante el proceso de descarga del lodo o biosólido.

#### Toma de muestra de lechos de secado

En caso de toma de muestras de lechos de secado se divide la superficie de un lecho en cuatro (4) cuadros. Del centro de cada cuadro se saca una muestra puntual (en total cuatro (4) muestras) de todo el perfil del lodo o biosólido acumulado, permitiendo la preparación de una muestra compuesta por lecho a partir de las cuatro (4) muestras puntuales. Es importante evitar que la muestra de lodo sea contaminada con arena de la capa filtrante del lecho de secado.

En caso de la operación de varios lechos de secado en paralelo se repite este procedimiento en cada lecho.

Si los lechos de secado reciben el lodo o biosólido de diferentes procesos, por ejemplo, de diferentes Tanques Imhoff de una PTAR, es responsabilidad del productor decidir:

1. Si las unidades que alimentan los lechos de secado tienen un funcionamiento y eficiencia similar (por lo cual se pudiera esperar calidades similares en cada lecho de secado) y/o
2. El lodo o biosólido de los lechos de secado será bien homogenizado antes de su entrega.

En caso que se puedan homogenizar las muestras tomadas en cada lecho, se debe preparar mínimo una (1) muestra compuesta de las muestras compuestas por lecho de secado para el análisis en el laboratorio. De no ser posible, se deben analizar las muestras compuestas por lecho de secado separado.

#### Toma de muestra de almiarés o apilamientos

En caso de la toma de muestra de almiarés o apilamientos de lodos o biosólidos secos, que requieren ser removidos frecuentemente como en el proceso de compostaje, se obtienen las muestras puntuales de la máquina o del equipo que descarga el lodo o biosólido al envase de entrega o a diferentes profundidades de la parte del almiar desde la cual se está tomando el sustrato para el envasado. Es importante no tomar solo muestras superficiales, porque la superficie generalmente está expuesta a impactos climáticos, que pueden afectar la concentración de sólidos y nutrientes.





La cantidad mínima de muestras a tomar se puede determinar según la Ecuación 1. Opcionalmente se puede aplicar también el método descrito en el ítem 6.1.2.2.1.

En caso de toma de muestra desde arriba de almiares o apilamientos hay que tomar precauciones especiales respecto a la seguridad en el trabajo.

#### **6.1.2.2.1 Muestras de cuerpos de lodo o biosólido acumulado de grandes extensiones**

En caso de toma de muestras puntuales de cuerpos de lodo o biosólido acumulado de grandes extensiones, por ejemplo, en patios de acopio y/o en el fondo de lagunas de estabilización, se deberá determinar mediante consideraciones estadísticas:

- la ubicación de los puntos de la toma de muestra y
- la cantidad (N) mínima de muestras puntuales

La cantidad (N) de muestras puntuales a tomar por superficie del cuerpo de lodo o biosólido corresponde a lo indicado en la Tabla 1 y depende del caudal de ingreso a la PTAR generadora del lodo o biosólido.

#### Determinación de la ubicación de los puntos de muestra

Para determinar la ubicación de los puntos de toma de muestras puntuales se sigue los siguientes pasos:

- 1) Preparar un esquema del cuerpo del lodo o biosólido según escala en una hoja A4.
- 2) Poner una malla de 100 cuadrados de la misma superficie encima del esquema. Asignar a cada cuadrado un número, contando de 0 a 99 de un cuadrado al siguiente. Este procedimiento es comparable con el procedimiento para la definición de los puntos de medición cuando se realiza la batimetría de lodos en una laguna operativa.
- 3) Determinar en una tabla de números aleatorios la cantidad (N) de números de dos (2) dígitos. Se empieza con una línea de la tabla de números aleatorios elegida al azar. La Ilustración 1 demuestra el ejemplo de una tabla de números aleatorios. Entre los números de 2 dígitos determinados no se permite repeticiones.
- 4) Los (N) números aleatorios determinados corresponden con los números de los cuadrados de la malla puesta encima del esquema en el segundo paso.

Cabe mencionar que en caso de irregularidad del cuerpo de lodos o biosólidos algunos cuadrados de la malla quedan afuera de cuerpo de lodo o biosólido. En este caso hay que aumentar la cantidad de los números determinados de la tabla de número aleatorios hasta cuando la cantidad de los cuadrados dentro del cuerpo de biosólidos determinados corresponde con la cantidad (N) mínima de muestras a tomar "N".

Como se indica en el ítem 6.1.2.1.3, para el análisis de parámetros microbiológicos se analizan muestras puntuales. Por lo tanto, la Tabla 1 indica también la cantidad mínima de muestras puntuales del lodo o biosólido que se deben analizar en caso de necesidad, dependiendo del tamaño de la PTAR.



Tabla 1: Cantidad de muestras requeridas (Brobst, 2017)

Tamaño de la PTAR en caudal en L/s	Cantidad mínima de muestras puntuales tomadas "N" <sup>1),3)</sup>  (Para preparar muestra compuesta)	Número de muestras compuestas preparadas a partir de (N) a analizar <sup>1),2)</sup>	Número mínimo de muestras puntuales para el análisis de parámetros microbiológicos <sup>1)</sup>
< 10	15	1	2
≥ 10 < 100	27	1	3
≥ 100 < 300	31	2	4
≥ 300	36	3	5

Nota:

- 1) En caso de lagunas el número de muestras se refiere a cada laguna.
- 2) Corresponde con la frecuencia anual de monitoreo para PTAR con producción anual de sustrato, según tabla 4 del Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales para biosólidos de Clase A
- 3) De forma opcional se puede determinar la cantidad mínima (N) de muestras puntuales por laguna según la Ecuación 1, considerando el volumen de lodo acumulado en la laguna.





39 65 76 45 45	19 90 69 64 61	20 26 36 31 62	38 24 97 14 97	95 06 70 99 00
73 71 23 70 90	65 97 60 12 11	31 56 34 19 19	47 83 75 51 33	30 62 38 20 46
72 20 47 33 84	51 67 47 97 19	98 40 07 17 66	23 05 09 51 80	59 78 11 52 49
75 17 25 69 17	17 95 21 78 58	24 33 45 77 48	69 81 84 09 29	93 22 70 45 06
37 48 79 88 74	63 52 06 34 30	01 31 60 10 27	35 07 79 71 53	28 99 52 01 41
02 89 08 16 94	85 53 83 29 95	56 27 09 24 43	21 78 55 09 82	72 61 88 73 61
87 18 15 70 07	37 79 49 12 38	48 13 93 53 96	41 92 45 71 51	09 18 25 38 94
98 83 71 70 15	89 09 39 59 24	00 06 41 41 20	14 36 59 25 47	54 45 17 24 89
10 08 58 07 04	76 62 16 48 68	58 76 17 14 86	59 53 11 52 21	66 04 18 72 87
47 90 56 37 31	71 82 13 50 41	27 55 10 24 92	28 04 67 53 44	95 23 00 84 47
93 05 31 03 07	34 18 04 52 35	74 13 39 35 22	68 95 23 92 35	36 63 70 35 33
21 89 11 47 99	11 20 99 45 18	76 51 94 84 86	13 79 93 37 55	98 16 04 41 67
95 18 94 06 97	27 37 83 28 71	79 57 95 13 91	09 61 87 25 21	56 20 11 32 44
97 08 31 55 73	10 65 81 92 59	77 31 61 95 46	20 44 90 32 64	26 99 76 75 63
69 26 86 86 13	59 71 74 17 32	48 38 75 93 29	73 37 32 04 65	60 82 29 20 25
41 47 10 25 03	87 63 93 95 17	81 83 83 04 49	77 45 85 50 51	79 88 01 97 30
91 94 14 63 62	08 61 74 51 69	92 79 43 89 79	29 18 94 51 23	14 85 11 47 23
80 06 54 18 47	08 52 85 08 40	48 40 35 94 22	72 65 71 08 86	50 03 42 99 36
67 72 77 63 99	39 85 84 46 06	64 71 06 21 66	89 37 20 70 01	61 65 70 22 12
59 40 24 13 75	42 29 72 23 19	06 94 76 10 08	81 30 15 39 14	81 83 17 16 33
63 62 06 34 41	79 53 36 02 95	94 61 09 43 62	20 21 14 68 86	94 95 48 46 45
78 47 23 53 90	79 93 96 38 63	34 85 52 05 09	85 43 01 72 73	14 93 87 81 40
87 68 62 15 43	97 48 72 66 48	53 16 71 13 81	59 97 50 99 52	24 62 20 42 31
47 60 92 10 77	26 97 05 73 51	88 46 38 03 58	72 68 49 29 31	75 70 16 08 24
36 88 87 59 41	06 87 37 78 48	65 88 69 58 39	88 02 84 27 83	85 81 56 39 38
22 17 68 65 84	87 02 22 57 51	68 69 80 95 44	11 29 01 95 80	49 34 35 86 47
19 36 27 59 46	39 77 32 77 09	79 57 92 36 59	89 74 39 82 15	08 58 94 34 74
16 77 23 02 77	28 06 24 25 93	22 45 44 84 11	87 80 61 65 31	09 71 91 74 25
78 43 76 71 61	97 67 63 99 61	80 45 67 93 82	59 73 19 85 23	53 33 65 97 21
03 28 28 26 08	69 30 16 09 05	53 58 47 70 93	65 56 45 65 79	45 56 20 19 47
04 31 17 21 56	33 73 99 19 87	28 72 39 27 67	53 77 57 68 93	60 61 97 22 61
61 06 98 03 91	87 14 77 43 96	43 00 65 98 50	45 60 33 01 07	98 99 46 50 47
23 68 35 26 00	99 53 93 61 28	52 70 05 48 34	56 65 05 61 88	90 92 10 70 80
15 39 25 70 99	93 86 52 77 85	15 33 59 05 28	22 87 26 07 47	86 96 98 29 06
58 71 96 30 24	18 46 23 34 27	85 13 99 24 44	49 18 09 79 49	74 16 32 23 02
93 22 53 64 39	07 10 63 76 35	87 03 04 79 88	08 13 13 85 51	55 34 57 72 69
78 76 58 54 74	92 38 70 96 92	52 06 79 79 45	82 63 18 27 44	69 66 92 19 09
61 81 31 96 82	00 57 25 60 59	46 72 60 18 77	55 66 12 62 11	08 99 55 64 57
42 88 07 10 05	24 98 65 63 21	47 21 61 88 32	27 80 30 21 60	10 92 35 36 12
77 94 30 05 39	28 10 99 00 27	12 73 73 99 12	49 99 57 94 82	96 88 57 17 91

Ilustración 1: Ejemplo de una tabla de números aleatorios (Brobst, 2017)

El siguiente ejemplo ilustra la determinación de los 27 puntos de monitoreo del lodo o biosólido de una laguna de una PTAR de un caudal de  $\geq 10 < 100$  L/s.

- La Ilustración 2 indica la determinación de los 27 números de dos (2) dígitos en el rango de 00 hasta 99 de la tabla de números aleatorios según Ilustración 1, empezando con la línea 3, siguiendo con las líneas 4 y 5 de la tabla.

72 20 47 33 84	51 67 47 97 19	98 40 07 17 66	23 05 09 51 80	59 78 11 52 49
75 17 25 69 17	17 95 21 78 58	24 33 45 77 48	69 81 84 09 29	93 22 70 45 06
37 48 79 88 74	63 52 06 34 30	01 31 60 10 27	35 07 79 71 53	28 99 52 01 41

Ilustración 2: Las líneas 3 hasta 5 de la tabla de número aleatorios según Ilustración 1 con determinación de los 27 números de dos (2) dígitos que representan los números de las cuadras de donde se tomará la muestra de puntual del cuerpo del sustrato.

- La Ilustración 3 muestra el esquema de la laguna de estabilización con la malla de 0 hasta 99 cuadrados uniformes encima de su superficie (según el paso 1 del procedimiento definido anteriormente). Los cuadrados con líneas cruzadas representan los espacios determinados para la toma de muestra en el procedimiento indicado en la Ilustración 2. Las muestras se sacan del centro de cada cuadrado.

0	1	2	3	4	<del>5</del>	6	<del>7</del>	8	<del>9</del>
10	<del>11</del>	12	13	14	<del>15</del>	16	<del>17</del>	18	<del>19</del>
<del>20</del>	21	22	<del>23</del>	24	<del>25</del>	26	27	28	29
30	31	32	<del>33</del>	34	35	36	37	38	39
<del>40</del>	41	42	<del>43</del>	44	45	46	<del>47</del>	48	<del>49</del>
50	<del>51</del>	<del>52</del>	53	54	55	56	57	58	59
60	61	62	63	64	65	<del>66</del>	<del>67</del>	68	<del>69</del>
70	71	<del>72</del>	73	74	<del>75</del>	76	<del>77</del>	78	79
<del>80</del>	81	82	83	<del>84</del>	85	86	87	88	89
90	91	92	93	94	<del>95</del>	96	<del>97</del>	<del>98</del>	99

Ilustración 3: Esquema de la laguna con malla de 100 cuadrados uniformes sobre toda la superficie de lodo o biosólido acumulado (cuadro con línea ancha).

El incremento de la frecuencia de monitoreo a la que hace referencia el párrafo 17.5 del artículo 17 del Reglamento para el Reaprovechamiento de Lodos generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales no se considera para la toma de muestras establecidas en el presente numeral.

En caso que la calidad del lodo acumulado no corresponda a las exigencias de un biosólido, el reaprovechamiento no será posible.

### 6.1.2.3 Consideraciones para la muestra

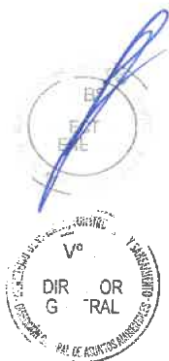
Para la toma de muestra se debe considerar lo siguiente:

- En caso de no usar para cada toma de muestra un equipo nuevo, debe lavarse intensamente<sup>2</sup> el equipo usado, para prevenir la contaminación de las siguientes muestras.
- En caso del monitoreo de parámetros microbiológicos es importante la desinfección del equipo después de cada toma de muestra.
- El procedimiento de la toma de muestra debe ser adecuadamente documentado.

En caso de toma de muestra de tubos transportadores de lodo, se debe purgar los restos de muestras anteriores del tubo de toma y lodo o biosólido estancado en la

El lavado intenso involucra las siguientes actividades:

1. Remoción de sólidos pegados en el equipo.
2. Lavado del equipo en un balde con detergente y escobilla.
3. Enjuagar el equipo con agua y después con agua destilada.
- <sup>2</sup> 4. En caso de medición de parámetros microbiológicos esterilizar el equipo.



línea de transporte. El equipo de toma de muestra se enjuaga tres (3) veces cada vez, antes que se tome una muestra, para reducir la contaminación cruzada.

#### **6.1.2.3.1 Volumen de la muestra**

El análisis de los parámetros establecidos en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, requiere un volumen de aproximadamente 2 kg (2 litros aproximadamente) para el total de los parámetros químicos y 0,5 kg (0,5 litros aproximadamente) para los parámetros microbiológicos.

El volumen total de una muestra compuesta debe ser suficiente para realizar hasta un mínimo de dos (2) análisis en paralelo, para el análisis principal y para la posible muestra dirimente.

El volumen o masa necesaria para la muestra depende también de la concentración de los sólidos. El análisis de los parámetros químicos requiere siempre de una masa mínima de sólidos, por lo cual lodos o biosólidos muy líquidos requieren más volumen, para tener la misma cantidad de sólidos que un lodo o biosólido ya deshidratado.

Por lo tanto, en caso de contratación de laboratorios externos se debe consultar antes sobre los volúmenes o masas exactas requeridas para las muestras, generalmente los laboratorios suministran los envases adecuados y preparados para envasar la cantidad necesaria.

#### **6.1.2.3.2 Equipo para la toma de muestra**

El equipo correcto para la toma de muestras del lodo o biosólido depende de su consistencia y del punto de monitoreo. La Tabla 2 indica los equipos de toma de muestra, para el caso que no sea posible obtenerla directamente de una tubería de transporte o la descarga del lodo o biosólido no sea accesible para la toma de muestra.

En caso de muestras puntuales líquidas de un reservorio, tanque o laguna, ésta se toma con un tubo de metal, plástico o vidrio de 1 – 2 pulgadas, con una válvula check en el fondo. El tubo se desliza lentamente y verticalmente por el lodo o biosólido acumulado, entonces la válvula check se abre y el lodo o biosólido ingresa al tubo según el perfil del lodo o biosólido analizado. En el momento de retiro del tubo la válvula check cierra y el lodo o biosólido queda atrapado.

El extractor de muestras de lodos o biosólidos secos es similar a un extractor de muestras de suelo y contiene 2 tubos concéntricos. El tubo exterior tiene una punta con la cual permite la penetración de la muestra. El extractor se cierra rotando el tubo interior.

El barreno de barrilete tubular para lodos o biosólidos semisecos o pastosos es un tubo cortado y abierto a lo largo del eje longitudinal. Este equipo se utiliza también para el monitoreo de suelos. La punta de un lado es puntiaguda, lo que permite la penetración del lodo o biosólido. La muestra queda atrapada en el espacio hueco del tubo cortado una vez que se lo retira del lodo o biosólido.

El barreno manual de tipo espiral permite sacar muestras de lodos o biosólidos compactos, este equipo se utiliza también para el monitoreo de suelos.

En el caso de lodos o biosólidos granulares, una pala de mano permite obtener la muestra.

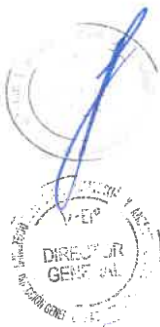




Tabla 2: Equipos de toma de muestra según consistencia del lodo o biosólido (Brobst, 2017) (Véase también el anexo)

Equipo	Tamaño de muestra	Consistencia del sustrato	Tamaño del equipo
Equipo de toma de lodos o biosólidos líquidos	Corte transversal de toda la columna de lodo o biosólido o solo de una cierta altura de la columna (según equipo)	Sustratos de fluidez libre	1,5 – 15 m
Extractor de muestras	Corte transversal de la columna de lodo o biosólido	Sustratos granulares o en polvo	0.5 – 1.0 m
Barreno de barrilete tubular	Corte transversal de la columna de lodo o biosólido	Sustratos pegajosos	hasta 1.0 m
Barreno manual de tipo espiral	Corte transversal de la columna de lodo biosólido, muestra puntual	Biosólido compacto	variable
Pala manual	Muestra puntual	Sustratos granular, polvorizado o suelto	variable

El material del equipo para tomar y procesar las muestras no debe ser fuente de contaminación para la muestra, por lo cual se debe utilizar dispositivos de vidrio, teflón, acero inoxidable o plástico.

#### 6.1.2.3.3 Preparación de materiales y equipos

El siguiente listado considera los materiales, equipos e implementos de seguridad indispensables para llevar a cabo un monitoreo de forma efectiva. En ese sentido, es importante preparar con anticipación los materiales de trabajo, formatos (registro de datos de campo, etiquetas para las muestras de agua residual y cadena de custodia). Se debe contar, sin carácter limitante, con lo siguiente:

##### 6.1.2.3.3.1 Materiales

- Fichas de registro de campo
- Fichas de cadena de custodia
- Papel secante
- Cinta adhesiva
- Plumón indeleble
- Frascos debidamente preparados y etiquetados
- Cajas térmicas (pequeña y grande)
- Hielo u otro refrigerante
- Bolsas de poliburbujas u otro material de embalaje adecuado
- Piseta
- Agua destilada y/o desionizada
- Reloj
- Cinta métrica
- Papel aluminio
- Plano con los puntos de monitoreo predefinidos (en caso de monitoreo de mayores cuerpos de lodo)

##### 6.1.2.3.3.2 Equipos

- GPS para la identificación de los puntos de monitoreo



- Cámara fotográfica
- Equipamiento para la mezcla y homogenización según condición esperada del sustrato (botellas, batidora, pala, molino, almirez, etc.)
- Equipo de toma de muestra de lodo, según consistencia del biosólidos muestreado.

#### 6.1.2.3.3 Implementos de seguridad

- Botines de seguridad
- Gafas de seguridad
- Guantes de jebe antideslizantes con cubierta de antebrazo
- Guantes de látex descartables
- Casco
- Arnés para profundidades mayores a 1,50 m
- Escalera móvil en caso de toma de muestra de contenedores
- Mascarilla protectora descartable
- Mascarillas con filtros antigases, cuando corresponda
- Mameluco (en caso de muestreo de biosólido en forma de polvo)

#### 6.1.2.3.4 Seguridad de trabajo

Se establecen las siguientes consideraciones para prevenir daños personales, daños de materiales y equipos durante la ejecución del monitoreo de biosólidos:

1. Se debe preferir puntos de toma de muestra seguros, de fácil acceso.
2. Si la muestra se extrae por encima de un buzón, reactor, tanque, laguna u otro recipiente se deben guardar las medidas de seguridad para trabajos en alturas y/o encima de cuerpos de agua (uso de arnés, chalecos flotadores, máscara antigases, etc.)
3. Si el punto de muestreo está confinado es necesario ventilarlo antes de realizar la toma de muestra en un período mínimo de una hora. Es necesario, además, usar un detector de gas y/o usar un equipo de respiración autónoma.
4. Debe utilizarse guantes, zapatos antideslizantes y cascos.
5. Después del monitoreo es necesario cambiar los materiales, equipos e implementos de seguridad utilizados durante el mismo y que estuvieron en contacto con el lodo o biosólido, para prevenir contaminación de terceros.
6. El personal debe demostrar contar con vacunas vigentes a la fecha para Tetanus, Difteria, Polio, Hepatitis A, según correspondan.

En general se debe tener conocimiento de lo siguiente:

1. El peligro de explosión causado por la mezcla de gases explosivos en sistemas de alcantarillado o tanques de lodo insuficientemente estabilizados.
2. El riesgo de envenenamiento por gases tóxicos, por ejemplo, ácido sulfhídrico en lugares poco ventilados y aireados.
3. El riesgo de sofocación por la falta de oxígeno en lugares poco ventilados y aireados.
4. El riesgo de enfermedades causadas por organismos patógenos en biosólidos.
5. El riesgo de heridas físicas debido a caídas y deslizamiento.
6. El riesgo de ahogamiento.
7. El riesgo de impacto por objetos que puedan caer.

#### 6.1.3 Preservación - Conservación y transporte de muestra

Las muestras se transportan en envases de boca ancha de polietileno o teflón, materiales que no reaccionan con las muestras. El uso de envases de vidrio es



posible, sin embargo, requiere precauciones de seguridad especiales, debido a que se pueden formar gases y mayores presiones durante el transporte de la muestra, lo cual genera el riesgo de destrucción del envase implicando riesgos para la salud del personal y la pérdida de la muestra.

Los envases tienen que ser libres de fisuras y resistentes contra fuerzas mecánicas típicas durante el envío de cargas, utilizando en caso de botellas de vidrio, bolsas de poliburbujas, de embalaje o de cualquier otro material. Las tapas de los envases deben asegurar el sello de la muestra contra el aire ambiental.

Es importante, que todos los envases sean lavados y esterilizados antes de llenarlos con la muestra. En caso del análisis por laboratorios acreditados, ellos normalmente entregan los envases adecuados, lavados y de ser el caso esterilizados, por lo tanto, preparados para el uso directo.

Durante todo el proceso de preparación de muestra, el personal debe cumplir con las exigencias mínimas para la prevención de una contaminación cruzada de las muestras.

Para conservar las muestras hay que guardarlas en ambientes oscuros con temperaturas menores a 4 °C. Estas temperaturas previenen procesos de digestión que pueden alterar la calidad de la muestra y conservan las condiciones biológicas<sup>3</sup>. Por tal razón, es importante realizar el enfriamiento en un corto período. Para acelerar el proceso de enfriamiento es recomendable poner las botellas con la muestra en un baño con cubos de hielo y agua o almohadillas refrigerantes. Una vez enfriada, la muestra debe colocarse en una caja de almacenamiento térmica con refrigerante (ice pack), para cumplir con la recomendación de temperatura indicada. En caso de utilizar hielo, se debe colocar éste en bolsas herméticas para evitar fugas de la caja donde se transportan las muestras.

La congelación es una opción para la preservación de muestras de lodos o biosólidos, salvo para aquellas que servirán para el análisis de parámetros microbiológicos establecidos en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. La conservación química de las muestras no es necesaria para el análisis de los mencionados parámetros.

A pesar de las temperaturas bajas, se debe tomar precauciones durante el transporte y la apertura de los envases ante la posible acumulación de gases dentro del envase.

Se permite diferentes tiempos de almacenamiento de la muestra, según el parámetro analizado, para realizar muestras dirimentes posteriormente. En tanto los parámetros microbiológicos deben ser analizados dentro de 24 horas a partir de la toma de muestra, para el análisis de metales pesados se puede guardar la muestra hasta seis (6) meses, véase la Tabla 3.

La muestra y su envase deben estar cerrados y sellados adecuadamente para su transporte. El formato de cadena de custodia debe acompañar a las muestras desde su obtención o toma, transporte hasta su ingreso al laboratorio.



<sup>3</sup> Los parámetros microbiológicos deben ser analizados dentro de las 24 horas después de la toma de muestra.



Tabla 3: Condición de preservación y tiempos de almacenamiento de muestras de biosólidos (US EPA, POW Sludge Sampling And Analysis Guidance Document , 1989), (State of Ohio Environmental Protection Agency, 2009) (New Jersey Department of Environmental Protection, 2012)

Parámetros	Material del envase	Tiempo máximo de almacenamiento
Pérdida por calcinación) (sólidos totales, sólidos volátiles	Plástico, Vidrio	7 días con Temperaturas $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Arsénico, Cadmio, Cobre, Plomo, Níquel, Zinc, Cromo	Plástico, Vidrio	6 meses con Temperaturas $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Mercurio	Plástico, Vidrio	28 días con Temperaturas $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Nitrógeno total		
Nitrógeno total de Kjeldahl	Plástico, Vidrio	28 días con Temperaturas $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Nitrato	Plástico, Vidrio	28 días con Temperaturas $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Escherichia coli	Plástico, Vidrio	24 horas con Temperaturas $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Salmonella Sp.	Plástico, Vidrio	24 horas con Temperaturas $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Huevos de helmintos viables	Plástico, Vidrio	1 mes con Temperaturas $\leq 4^{\circ}\text{C}$

#### 6.1.4 Frecuencia de monitoreo

La obligación de monitoreo y de los parámetros monitoreados depende principalmente de la clase (A o B) que se pretende asignar o al biosólido producido, las exigencias normativas, los resultados de los monitoreos anteriores, el estado operativo y la tecnología del tratamiento de agua y lodo aplicada en la PTAR productora.

En caso de producción y calificación del lodo como biosólido, la Tabla 4 del Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales indica las frecuencias mínimas de monitoreo del biosólido dependiendo de la cantidad entregada por año y la Clase (A o B) y los resultados de los monitoreos anteriores.

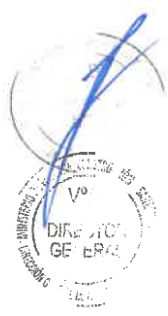
En caso de producción y entrega del biosólido en períodos intermedios de varios años, por ejemplo, en caso del biosólido de lagunas de estabilización, la frecuencia de monitoreo es de menor importancia. En su caso importa más la cantidad de muestras puntuales a tomar para su análisis directo o el procesamiento de muestras compuestas, según las indicaciones del ítem 6.1.2.2.1.

#### 6.1.5 Documentación

##### 6.1.5.1 Etiquetado de la muestra

Los frascos deben ser etiquetados, con letra clara y legible. De preferencia debe usarse plumón de tinta indeleble y cubrir la etiqueta con cinta adhesiva transparente conteniendo la siguiente información:

- Número de identificación de la muestra.
- Nombre de la empresa y unidad del proceso donde se toma la muestra.
- Fecha y hora de la toma de muestra.
- Ubicación del punto de la toma de muestra (georeferenciada).



- Tipo de muestra (compuesta, puntual).
- Nombre de la persona que toma la muestra.
- Tipo y procedimiento de medidas de conservación.
- Parámetros analizados de la muestra.
- Comentarios.

Los envases pueden estar previamente etiquetados o se podrán utilizar adhesivos específicos para registrar o rotular la información indicada.

Un ejemplo para una etiqueta se encuentra en el ítem 8.1. del presente protocolo. Laboratorios acreditados ante INACAL pueden utilizar su propio formato de etiqueta.

#### **6.1.5.2 Protocolo de transporte – Cadena de custodia**

La Cadena de Custodia es el procedimiento documentado de la toma de muestra, su transporte y entrega al laboratorio. El formato de cadena de custodia debe indicar al menos:

- Número de muestra.
- Parámetros a evaluar.
- Tipo de frascos que contienen la muestra.
- Condiciones o características de la muestra de lodo o biosólido: líquido, pastoso o seco.
- Volumen de la muestra.
- Condiciones de conservación.
- Nombres y firmas de cada persona involucrada entre la toma de muestra hasta la recepción en el laboratorio. (Con hora y fecha de entrega en cada paso).
- Observaciones

Un ejemplo de formato se encuentra en el ítem 8.2. del presente protocolo. Laboratorios acreditados ante INACAL pueden utilizar su propio formato de etiqueta.

#### **6.1.5.3 Libro de ocurrencias – Protocolo de la toma de muestra**

El generador del lodo o biosólido debe contar con un libro de ocurrencia y monitoreo en el cual se anota información técnica del muestreo como condiciones del punto o puntos de muestreo y descripción del proceso, así como otros datos referenciales. Es recomendable trabajar con un formato propio.

La información del libro de ocurrencias y monitoreo sirve para aclarar incertidumbres en la interpretación de los resultados, pero también para analizar y eventualmente optimizar las actividades para el siguiente monitoreo. La información relevante para el registro, sin perjuicio de la información que el generador considere oportuna, es:

- Fecha, hora y ubicación de los puntos de la toma de muestra.
- Tipo, cantidad y volumen de las muestras tomadas.
- Personas participantes
- Condiciones climáticas.
- Equipo de toma de muestra.
- Descripción del proceso de la toma.
- Número de identificación de las muestras.
- Método y empresa responsable del transporte de las muestras.





### 6.1.6 Normas y buenas prácticas nacionales e internacionales

Los métodos de ensayo incluyen indicaciones sobre la toma de muestra para los lodos o biosólidos. Sin embargo, estos métodos deben estar acreditados por el INACAL o cualquier Organismo de acreditación firmante de acuerdos de Reconocimiento Multilateral (MLA) de la cooperación Internacional de Acreditación de laboratorios (ILAC).

No obstante, el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales permite en los primeros tres (3) años a partir de la publicación del protocolo de monitoreo, el análisis de los parámetros de los biosólidos previstos en el Reglamento, mediante laboratorios con aplicación de métodos no acreditados por INACAL.

Por tal razón, debido que para la calidad de una muestra es muy relevante la determinación del punto de la toma de muestra y siendo esta responsabilidad del productor y/o comercializador de biosólidos, el presente protocolo proporciona orientaciones respecto a normas internacionales reconocidas, relacionadas a la toma de muestra de lodos y biosólidos. Sin carácter limitante, algunas de estas son:

#### Normas del Deutsches Institut fuer Normung y de la International Standard Organisation - DIN ISO

- DIN EN ISO 5667-13:2011-08:
- DIN 38414-11:1987-08

#### United States Environmental Protection Agency – US EPA (nacional, federal)

- US EPA 833-B-89-100:
- US EPA: Biosolids Reference Sheet (Brobst, 2017)
- EPA New Jersey: New Jersey Sludge Sampling and Analytical Guidance Document
- EPA, Ohio: Manual of Ohio EPA Sludge Program Field Sampling Methods and Quality Assurance Practices

## 6.2 Análisis de muestras en laboratorios

### 6.2.1 Parámetros relevantes

El Reglamento para el Reaprovechamiento de los lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales establece en sus artículos 13 y 14, los parámetros relevantes para el análisis de biosólidos. A continuación, se indican los parámetros químicos y microbiológicos, así como las unidades para su análisis:

Los parámetros químicos relevantes para el análisis de biosólidos según el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales son:

- Pérdida por calcinación (determina el grado de estabilización) en % o  $\text{kg}_{\text{Sólidos totales volátiles}} / \text{kg}_{\text{Sólidos totales}}$ ,
- Nitrógeno total en  $\text{g}_{\text{Nitrógeno}} / \text{kg}_{\text{Sólidos totales}}$ ,
- Metales pesados (arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc) en  $\text{mg}_{\text{Metal}} / \text{kg}_{\text{Sólidos totales}}$ ,

Los parámetros microbiológicos relevantes para el análisis de biosólidos según el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales son:



- Salmonellas sp. en NMP / 10 g Sólidos totales,
- Escherichia coli en NMP / 1g Sólidos totales
- Huevos viables de Helmintos en 1 / 4 g Sólido totales

Los laboratorios deben relacionar la masa o cantidad de la contaminación detectada a la masa de los sólidos totales de la muestra, por lo cual, parte del análisis de la muestra es siempre determinar también la concentración de los sólidos.

### 6.2.2 Número de análisis

Se debe realizar por cada parámetro al menos un análisis. En caso se realice más de un análisis, el resultado válido en caso de parámetros químicos será el promedio aritmético de ambos análisis y en caso de parámetros microbiológicos el promedio geométrico.

#### 6.2.2.1 Muestra dirimente

La muestra dirimente es la muestra que se toma en la misma oportunidad que la muestra original, sea esta puntual o compuesta, la cual es analizada bajo los mismos criterios y es comparable en caso existan eventuales reclamos sobre la validez de los resultados de la muestra original. En este caso, se aplicará la muestra dirimente según lo establecido por el laboratorio de acuerdo al literal k, del numeral 4.6.1. del Reglamento para la Acreditación de Organismos de Evaluación de la Conformidad (OEC).

La muestra dirimente se aplica solo a los parámetros químicos y a la presencia de huevos de helmintos viables, aplicando las medidas de conservación de muestras adecuadas en el laboratorio.

La muestra dirimente se contrata separadamente, por lo cual los laboratorios tienen la obligación de informar a los productores y/o comercializadores de los lodos o biosólidos, previamente a su contratación sobre los alcances y costos de ella.

### 6.2.3 Términos de referencia para el análisis en los primeros 3 años

Los métodos de ensayo para el producto de lodos o biosólidos deberán estar acreditados por el INACAL o cualquier Organismo de acreditación firmante de acuerdos de Reconocimiento Multilateral (MLA) de la Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios (ILAC).

Si bien el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales permite en un período de tres (3) años de aprobado el protocolo de monitoreo, el análisis de parámetros a través de laboratorios con aplicación de métodos no acreditados por INACAL, debido a la importancia de un buen monitoreo de los lodos o biosólidos para la salud pública y el ambiente, también los laboratorios sin metodología acreditada deben aplicar metodologías según las buenas prácticas y normas internacionales indicadas en la TABLA 4.

A continuación se presentan algunos términos de referencia que contienen normas internacionales de referencia para el monitoreo del lodo o biosólido.

#### 6.2.3.1 Parámetros químicos

##### 6.2.3.1.1 Pérdida por calcinación

Para determinar la pérdida por calcinación se debe medir primero los sólidos totales, después se queman los sólidos, quedando la ceniza. La diferencia de masa entre los sólidos totales y la ceniza corresponde a la pérdida por calcinación o también a los



sólidos volátiles. La relación de la pérdida de calcinación y la masa de los sólidos totales en porcentaje (%) corresponde al indicador del grado de la estabilización del sustrato.

La información sobre los sólidos totales de la muestra es también base para el análisis de la presencia de metales pesados, nitrógeno y parámetros microbiológicos en el sustrato.

Normas y recomendaciones internacionales para la medición de sólidos totales y sólidos totales volátiles se encuentran en la TABLA 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

#### **6.2.3.1.2 Metales pesados**

Hay diferentes tecnologías para la detección de metales pesados.

1. Una tecnología normalizada internacionalmente para el análisis de lodos o biosólidos es la espectroscopia de emisión por plasma de acoplamiento inductivo (ISP), la cual sirve para detectar una gran parte de los metales pesados, menos el mercurio.

Al inicio de la medición hay que preparar una dilución de la muestra del lodo o biosólido que contiene todos los metales, esto se puede hacer por la extracción mediante agua regia. Dicho líquido alimenta el equipo analizador en el cual será transformado en un aerosol mediante el gas Argón para su ionización en un plasma generado por un campo magnético oscilante. Las temperaturas hasta 8000 K dentro del plasma aseguran que todos átomos serán ionizados.

Dependiendo del tipo de medición por ISP:

- a. Los iones serán acelerados por un campo eléctrico hacia un espectrómetro de masas, el cual detecta la presencia y concentración (masa) de presencia del elemento (p. e. metal pesado). En este caso se habla del ISP-MS.
- b. Sensores ópticos miden las radiaciones emitidas de los iones, las cuales tienen longitudes de ondas específicas por cada elemento y la intensidad de la radiación. De esta manera se identifica el elemento (p. e. metal pesado) presente y su concentración. En este caso se habla del ISP-OES

La tecnología tiene su debilidad en caso de dominancia de presencia de un elemento particular. Sin embargo, normalmente este punto no es relevante en los lodos o biosólidos dentro del marco del presente protocolo.

2. Otra tecnología normalizada internacionalmente para el análisis de presencia y concentraciones de metales pesados en lodos o biosólidos es la espectrometría de absorción atómica (AA). Se atomiza y activa los elementos (metales pesados) de una dilución de la muestra del lodo o biosólido, por ejemplo, en temperaturas elevadas, y manda luz de cierta longitud de onda por la nube de átomos. Dependiendo del tipo del átomo y la concentración de su presencia en la nube parte de la luz será adsorbida. La diferencia entre la luz emitida y adsorbida identifica el elemento y la concentración de su presencia en la muestra.

---

Dependiendo del tipo de atomización de la muestra del lodo o biosólido se diferencia los sistemas de análisis de la espectrometría de absorción atómica de mayor aplicación entre:





- a. El sistema de calentamiento en tubos de grafito (AA-ET) hasta temperaturas de 2500 °C,
- b. El sistema de reducción primero los elementos (metales pesados) presentes a sus hidruros gaseosos, tras reacción química y calentarlos después hasta temperaturas cerca de 1000 °C. En este caso se habla de la (AA-HG o AA Hidruro). Esta tecnología detecta solamente aquellos elementos que reaccionan a hidruros gaseosos.

En caso de la detección de mercurio se trabaja con otros químicos para su reducción y además con menores temperaturas. Por esto se habla en su caso con detección en vapor frío (AA-CV).

Normas y recomendaciones internacionales para la medición de metales pesados se encuentran en la TABLA 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

#### **6.2.3.1.3 Nitrógeno total**

El nitrógeno total se mide quemando la muestra en condiciones especiales, las cuales aseguran que todas las formas químicas de nitrógeno se conviertan en nitrógeno elemental, presente en el gas de incineración. El nitrógeno del gas se separa para la determinación de su concentración.

La concentración de nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal se determina mediante el método de Kjeldahl, donde se separa primero ambas fracciones del nitrógeno de la muestra del lodo o biosólido por digestión en condiciones ácidas y extracción en condiciones básicas. La cantidad del nitrógeno extraído se determina posteriormente.

El nitrato se mide en la solución de la muestra por ejemplo por fotometría.

Normas y recomendaciones internacionales para la medición de nitrógeno total se encuentran en la TABLA 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

#### **6.2.3.2 Parámetros microbiológicos**

##### **6.2.3.2.1 Escherichia Coli**

El primer paso para su análisis consiste en lavar la muestra del sustrato en agua destilada por cierto tiempo y diluir esta solución varias veces. De la dilución se realiza el monitoreo de Escherichia Coli según el procedimiento para la determinación del NMP en aguas vía tubos de incubación con sustrato de incubación de Escherichia Coli.

Normas y recomendaciones internacionales para la medición de Escherichia Coli se muestran en la Tabla 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

##### **6.2.3.2.2 Salmonellas sp.**

El procedimiento es similar al procedimiento para Escherichia Coli, pero se utiliza el medio de incubación correspondiente para Salmonellas sp.

Normas y recomendaciones internacionales para la medición de Salmonellas sp se detallan en la TABLA 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

##### **6.2.3.2.3 Huevos de helmintos**

En un proceso de lavado (con surfactantes), colado y centrifugado (con ciertos químicos) de la muestra en varias etapas, se separa los huevos de helmintos del resto de la sustancia particular de la muestra. En una segunda etapa se incuban los huevos separados para determinar su viabilidad.



Normas y recomendaciones internacionales para la medición de Huevos de Helmintos se detallan en la TABLA 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

*TABLA 4: Normas y recomendaciones internacionales para la medición de los parámetros de biosólidos relevantes según el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Moodley, Archer, Hawksworth, & Leibach, 2008) (New Jersey Department of Environmental Protection, 2012) (State of Ohio Environmental Protection Agency, 2009) (US EPA, Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge, 2003)*

<b>Parámetro</b>	<b>Norma y/o método normalizada<sup>1)</sup></b>
Pérdida por calcinación sólidos totales	SM 2540 G-1997 DIN EN 12880:2001-02
Pérdida por calcinación sólidos totales volátiles	SM 2540 G-1997 DIN EN 15935:2012-11
Arsénico	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7061 (AA Hidruro) SW-846 Method 7060*, SW-846 Method 7010 (AA ET) DIN 38405-35:2004-09 (AA) DIN EN ISO 15586:2004-02 (AA)
Cadmio	ISO 17378-2:2014-02 (AA Hidruro) DIN EN ISO 17294-2: 2005-02 (ICP-MS) DIN EN ISO 11885:2009-09 ICP-OES SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7130*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7131*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04((Extracción con agua regia)
Cromo	DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS) DIN 38406-16:1990-03 Voltametría SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7190*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7191*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace)
Cobre	DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 ICP-MS SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7210*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7211*, (SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS) DIN 38406-7:1991-09 DIN 38406-16:1990-03 Voltametría



Parámetro	Norma y/o método normalizada <sup>1)</sup>
Plomo	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7420*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7421*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS) DIN 38406-6:1998-07 DIN 38406-16:1990-03 (Voltimetría)
Mercurio	SW-846 Method 7471 (Cold Vapor (manual)) DIN EN ISO 17294-2 DIN EN ISO 12846:2012-08
Níquel	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7520*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7521*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS) DIN 38406-11:1991-09 DIN 38406-16:1990-03 (Voltimetría)
Zinc	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7950*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7951*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS) DIN 38406-8:2004-10 DIN 38406-16:1990-03 (Voltimetría)
Nitrógeno total	ISO 13878:1998-03
Nitrógeno total de Kjeldahl	SM 4500-Norg B or C-1997 EPA Method 351.1 (TKN) EPA Method 351.2 (TKN) SM 4500-Norg D-1997 DIN EN 13342:2001-01
Nitrógeno del nitrato	SW-846 Method 9056
Salmonellas Sp.	DIN 38414-13:1992-03 SM 9260 D EPA Method 1682 Note 11,12 "Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge", Appendix G (Kenner and Clark), EPA/625/R-92/013, July 2003 (Método de análisis) "Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge", Appendix F, EPA/625/R-92/013, July 2003





Parámetro	Norma y/o método normalizada <sup>1)</sup>
Escherichia Coli	Método de preparación de muestra SM-9221 C E-2006 EPA Method 1680 Note 15,12 EPA Method 1681 Note 16,12 (Método de análisis) "Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge", Appendix F, EPA/625/R-92/013, July 2003
Huevos de helmintos viables	Método de reparación de muestra Yanko (1987) and "Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge", Appendix I, EPA/625/R-92/013, July 2003 Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Moodley et al: Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Urine-Diversion Waste in South Africa Moodle , Archer, Hawksworth, & Leibach, 2008

- 1) SM significa Método estandarizado para la examinación de aguas y aguas residuales, American Public Health Association, 1015 15th Street, NW., Washington, DC 20005  
SW-846 significa Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods. EPA Publication SW-846, incluyendo todas modificaciones y actualizaciones.
- 2) ISP, ISP-OES, ISP-MS, AA, AA-ET, AA-Hidruro véase el ítem 6.2.3.1.2.

#### 6.2.4 Términos referencia para el análisis luego de los 3 años

Según el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales se reconoce después de un plazo de tres (3) años de adecuación solo resultados de mediciones en base de la aplicación de métodos de análisis acreditados por INACAL.

#### 6.2.5 Manejo de los resultados de monitoreo

##### 6.2.5.1 Registro y reportes internos

Los resultados de los análisis son almacenados y registrados colocando toda la información en orden cronológico (señalando la fecha de monitoreo) en una hoja de cálculo o una base de datos computarizada. La información es comparada con los límites de calidad para biosólidos establecidos en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

El registro cronológico de los datos es necesario para determinar tendencias a largo plazo respecto a la calidad del lodo o biosólido, permitiendo obtener conclusiones sobre el funcionamiento de su producción e ingreso de contaminantes (metales pesados) no controlados en el proceso de producción.

Esta información, conjuntamente con la información del protocolo de monitoreo, la cadena de Custodia y los documentos conteniendo los reportes de los análisis realizados en los laboratorios correspondientes, deberá ser almacenada por un periodo mínimo de cinco años, debiendo estar, el archivo, a disposición del MVCS.

##### 6.2.5.2 Registro y reportes externos

Los resultados del monitoreo son reportados al Registro Nacional de Producción y Reaprovechamiento de Biosólidos, que administra el MVCS y entregados a los adquirentes y/o usuarios finales de biosólidos, según las indicaciones del Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.





#### ANEXO 4

Ficha de recolección de datos diarios de temperatura ambiente y presión.

FECHA	M1 - TEMPERATURA AMBIENTE (MAYO - AGOSTO)				PROMEDIO (DIARIO)
	TEMPERATURA (° C)			PRESION (bar)	
	07:00 a.m.	01:00 p.m.	06:00 p.m.		
7/05/2021					
8/05/2021					
9/05/2021					
10/05/2021					
11/05/2021					
12/05/2021					
13/05/2021					
14/05/2021					
15/05/2021					
16/05/2021					
17/05/2021					
18/05/2021					
19/05/2021					
20/05/2021					
21/05/2021					
22/05/2021					
23/05/2021					
24/05/2021					
25/05/2021					
26/05/2021					
27/05/2021					
28/05/2021					
29/05/2021					
30/05/2021					
31/05/2021					

Ficha de recolección de datos diarios de temperatura acondicionada con cobertura y presión.

FECHA	M2 - TEMPERATURA ACONDICIONADA CON COBERTURA (MAYO-AGOSTO)			
	TEMPERATURA (° C)			PRESION (bar)
	07:00 a.m.	01:00 p.m.	06:00 p.m.	
7/05/2021				
8/05/2021				
9/05/2021				
10/05/2021				
11/05/2021				
12/05/2021				
13/05/2021				
14/05/2021				
15/05/2021				
16/05/2021				
17/05/2021				
18/05/2021				
19/05/2021				
20/05/2021				
21/05/2021				
22/05/2021				
23/05/2021				
24/05/2021				
25/05/2021				
26/05/2021				
27/05/2021				
28/05/2021				
29/05/2021				
30/05/2021				
31/05/2021				

## ANEXO 5

### Panel fotográfico



*Figura 23.* Extracción de lodos en las lagunas de estabilización de Juliaca.



*Figura 24.* Muestreo de lodos para los análisis fisicoquímicos, microbiológicos, metales totales.



*Figura 25.* Construcción de las hélices para mantener la humedad homogénea dentro del biodigestor tanto para temperatura ambiente como a temperatura acondicionada con cobertura.



*Figura 26.* Construcción de la estructura para el acondicionamiento de la temperatura.





*Figura 27.* Monitoreo de los parámetros y finalmente la prueba de fuego realizado con mi asesor.





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

**"Universidad Pública de Calidad"**