

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOSÓLIDO OBTENIDO  
MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA  
TERMOFÍLICA, DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA  
DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**JOSE MARTIN AGUILAR**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PUNO – PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUÍMICA**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOSÓLIDO OBTENIDO  
MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA  
TERMOFÍLICA, DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA  
DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA**

**PRESENTADA POR:  
JOSE MARTIN AGUILAR**



**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**APROBADA POR:**

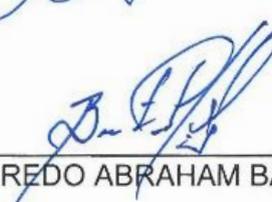
**PRESIDENTE:**

  
M.Sc. CIRO HERNAN VERA ALATRISTA

**PRIMER MIEMBRO:**

  
M.Sc. JANETTE ROSARIO RAMOS PINEDA

**SEGUNDO MIEMBRO:**

  
Ing. ALFREDO ABRAHAM BARTOLO LEÓN

**DIRECTOR / ASESOR:**

  
Dr. Sc. NAZARIO VILLAFUERTE PRUDENCIO

**ÁREA: Tecnología Ambiental**

**TEMA: Tratamiento de Lodos Residuales**

**LÍNEA: Tecnologías ambientales y recursos naturales**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 17 de diciembre de 2018**

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo principalmente a Dios, por derramarme sus bendiciones sobre mí y, darme fuerzas para seguir adelante y vencer todos los obstáculos desde el principio de mi vida, y por haberme dado salud para permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, además de su infinita bondad y amor.*

*A la Asociación Sandía Francia y al padre Martial Couderc por su apoyo, consejos, amor, apoyo en los momentos más difíciles, y ayudándome con los recursos necesarios para estudiar.*

*A la Familia Zúñiga Chambilla a quien le debo todo en la vida, le agradezco el cariño, la comprensión, la paciencia y el apoyo que me brindó para culminar mi carrera profesional.*

*A la Familia Loaiza Gonzales por estar siempre presentes, acompañándome, enseñándome ser perseverante, para conseguir mis objetivos.*

*A mis maestros gracias por su tiempo, por su apoyo, así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional, en especial: al Dr. Nazario Villafuerte Prudencio. por haber guiado el desarrollo de este trabajo y llegar a la culminación del mismo, a la Dr. Ciriaco Zuñiga Zuñiga por su apoyo ofrecido en los momentos difíciles en este trabajo; al Dr. Ciro Vera Alatrística por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional, así como al Lic. Lorgio Palacios.*

*A mis amigos que gracias al equipo que formamos logramos llegar hasta el final del camino y que hasta el momento, seguimos siendo amigos: Richard, Rodrigo, Adelayda, Marieley, Julio, Edward, Sarid, Reyner, Yober, Edgar Ismael, Nataly Irene, Betty, Sharamila, Leys y otros.*

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.*

*Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Facultad de Ingeniería Química, por ser mi alma mater.*

*Agradezco a los docentes Dr. Nazario Villafuerte Prudencio, M.Sc. Ciro Vera Alatrística, Dr. Ciriaco Zuñiga Zuñiga y Dr. Ángel Canales Gutiérrez por haberme dirigido y M.Sc. Salomón Tito León orientado durante la ejecución del presente trabajo.*

*A mis jurados; M.Sc Ciro Vera Alatrística M.Sc. Janette Rosario Ramos Pineda e Ing. Alfredo Abraham Bartolo León por brindar su tiempo y haberme guiado y apoyado en el desarrollo del presente trabajo*

*Al Lic. Lorgio Palacios por su intenso apoyo en el desarrollo de presente trabajo en la parte microbiológica y parasitológica.*

*Agradezco de manera especial a la Asociación Sandía (Francia) quien me ha brindado su apoyo, recursos necesarios y cariño en todo momento de mi vida profesional.*

**ÍNDICE GENERAL**

ÍNDICE DE FIGURAS .....	7
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	10
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS .....	11
RESUMEN .....	13
ABSTRACT .....	14
I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 OBJETIVOS.....	18
1.1.1 Objetivo general .....	18
1.1.2 Objetivos específicos.....	18
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	19
2.1 ANTECEDENTES.....	19
2.2 MARCO TEÓRICO .....	24
2.2.1 Agua Residual .....	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	54
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN.....	54
3.2 MATERIALES, INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y REACTIVOS .....	54
3.2.1 Materia Prima .....	54
3.2.2 Instrumentos.....	54
3.2.3 Materiales .....	54
3.2.4 Equipos.....	55
3.3 UBICACIÓN DE ESTUDIO .....	55
3.3.1 Extensión y características .....	56
3.4 MÉTODO EXPERIMENTAL .....	57
3.4.1 Determinación de los parámetros microbiológicos, parasitológico y contenido de metales de los lodos residuales frescos de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca.....	57
3.4.2 Determinación de los parámetros microbiológicos, parasitológico y contenido de metales del biosólido de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca.....	60
3.4.2 Determinación de la cantidad de macronutrientes (N, P, K.), Materia Orgánica y humedad presentes en el biosólido de los lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca. ....	62

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	66
5.1 Determinación de los parámetros microbiológicos, parasitológico y contenido de metales de los lodos residuales frescos de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca. ....	66
5.2 Determinación de los parámetros microbiológicos, parasitológico y contenido de metales del biosólido de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca.....	68
5.3 Determinación de la cantidad de macronutrientes (N, P, K.), Materia Orgánica y humedad presentes en el biosólido de los lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca. ....	72
V. CONCLUSIONES .....	76
VI. RECOMENDACIONES.....	77
VII. REFERENCIAS .....	78
ANEXOS .....	86

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1: Ubicación de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca .....	57
Figura 2: Protocolo de muestreo de lodos residuales .....	58
Figura 3: Puntos de muestreo de los lodos residuales de la laguna de estabilización - Juliaca .....	59
Figura 4: Proceso de digestión anaerobia termofílica .....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros de diseño típicos para lagunas de estabilización .....	28
Tabla 2: Caracterización de lodos generados en diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales .....	30
Tabla 3: Concentraciones permisibles para los metales pesados en los lodos ... ..	31
Tabla 4: Principales grupos de organismos patógenos y parásitos contenidos en los lodos residuales.....	39
Tabla 5: Concentración de huevos de helmintos presentes en lodos residuales en diferentes países.....	40
Tabla 6: Ventajas y desventajas de la digestión anaerobia. ....	44
Tabla 7: Ventajas y desventajas de la digestión aerobia .....	45
Tabla 8: Manejo de lodos residuales en diferentes países .....	49
Tabla 9: Clasificación de los biosólidos de acuerdo al contenido de patógenos por EPA 503 y comparación con países de América Latina .....	51
Tabla 10: Contenido de metales máximos permisibles en mg/ kg (base seca) en los biosólidos de acuerdo a EPA 503 y comparación de valores con países de América Latina .....	52
Tabla 11: Valores Máximos Permisibles en biosólidos según la RM-2017-Vivienda .....	53
Tabla 12: Puntos de muestreo de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca - Puno .....	59
Tabla 13: Contenido de metales del biosólido estabilizado según la norma 40 CFR parte 503 de EPA y la RM 024-2017- Vivienda .....	63
Tabla 14: Contenido en microbiológicos y parasitológico del biosólido estabilizado según la norma 40 CFR parte 503 de EPA y la RM 024-2017-Vivienda .....	63
Tabla 15: Métodos analíticos a utilizar para la muestra de lodos residuales y los biosólidos .....	64
Tabla 16: Determinación de parámetros microbiológicos y parasitológico de lodos residuales frescos de la Laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca .....	66

Tabla 17: Determinación de contenido de metales en los lodos residuales frescos .....	67
Tabla 18: Determinación de parámetros microbiológicos y parasitológico del biosólido .....	69
Tabla 19: Determinación de contenido de metales en los biosólidos .....	70
Tabla 20: Determinación de contenido de macronutrientes (NPK) .....	72
Tabla 21: Determinación de contenido de Humedad y Materia Orgánica del biosólido .....	74
Tabla 22: Comparación con las normas EPA 503 40 CFR y las Resolución Ministerial RM-024-2017-Vivienda .....	75
Tabla 23: Parámetros físicos medidos en in situ de los lodos residuales .....	87
Tabla 24: Temperaturas durante el proceso de digestión anaerobia termofílica.. .....	88

**ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1: Equipos de muestreo en la laguna de estabilización secundaria de la ciudad de Juliaca - Puno – Perú.....	89
Ilustración 2: Toma de muestras de lodo residuales de la laguna de estabilización secundaria de la ciudad de Juliaca - Puno – Perú .....	89
Ilustración 3: Georreferenciación de los puntos de muestreo de lodo residuales de la laguna de estabilización secundaria de la ciudad de Juliaca - Puno – Perú .....	90
Ilustración 4: Mediciones de los parámetros físico de los lodos residuales y toma de la laguna de estabilización secundaria de la ciudad de Juliaca - Puno – Perú .....	90
Ilustración 5: Toma de muestra de los biosólidos para envío a los laboratorios acreditados.....	91
Ilustración 6: Envío de muestras de lodo fresco y biosólido a los laboratorios acreditados Analíticos del Sur S.A Arequipa- Perú y Envirotest Environmental Testing Laboratory S.A.C Lima – Perú.....	91
Ilustración 7: Proceso de digestión anaerobia termofílico en el laboratorio acuática de la Faculta de Ciencias Biológicas UNA –Puno .....	92

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

PTAR	: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
As	: Arsénico
Cd	: Cadmio
Cr	: Cromo
Hg	: Mercurio
Ni	: Níquel
Pb	: Plomo
Se	: Selenio
Zn	: Zinc
Cu	: Cobre
Mo	: Molibdeno
N	: Nitrógeno
P	: Fosforo
K	: Potasio
INACAL	: Instituto Nacional de Calidad
NMP	: Número Más Probable
g	: Gramos
EPA	: Agencia de Protección Ambiental
US EPA	: United States Environmental Protection Agency
CFR	: Code of Federal Regulations
R.M	: Resolución Ministerial
MMC	: Millones de metros cúbicos
ANA	: Autoridad Nacional del Agua
ARD	: Aguas Residuales Domesticas
µS	: Micro Siemens

cm	: Centímetros
m	: Metros
Kg	: Kilogramos
d	: Día
N	: norte
E	: Este
°C	: Grados Centígrados
L	: Litros
%	: Porcentaje
m.s.n.m	: metros sobre el nivel del mar
ATL	: Autoridad Binacional del Lago Titicaca
UTM	: Universal Transverse Mercator
W	: watt
MO	: Materia Orgánica
μd	: micro Siemens
EPA	: Agencia de Protección Ambiental

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca – Puno, con la finalidad de evaluar la calidad de los biosólidos mediante la determinación de parámetros microbiológico, parasitológico, metales y macronutrientes, para la cual se procedió a la toma de 04 muestras de lodos de diferentes puntos de muestreo y analizados en los laboratorios referenciales con procedimientos acreditados por INACAL, también los lodos residuales fueron sometidos al proceso de digestión anaerobia termofílica con un tiempo de retención de 30 días, posteriormente enviadas a los laboratorios para su respectivo análisis de los parámetros microbiológico, parasitológico, metales, macronutrientes, humedad y materia orgánica. En los informes del ensayo de los laboratorios hemos llegado a determinar que los lodos residuales tienen una composición de: Coliformes fecales de  $74.325 \times 10^6$  NMP/g, *Salmonella* sp. de  $<3$  NMP/g, Huevos de Helminetos de 0.5 HH/4g, así mismo metales tales como arsénico (As) 0.40 mg/Kg, cadmio (Cd) 0.016 mg/Kg, cromo (Cr) 3.455 mg/Kg, mercurio (Hg) 5.978 mg/Kg, níquel (Ni) 11.445 mg/Kg, plomo (Pb) 52.86 mg/Kg, selenio (Se) 0.40 mg/Kg, zinc (Zn) 794.05 mg/Kg, cobre (Cu) 119.368 mg/Kg y molibdeno 0.18 mg/Kg y los informes de los análisis de los biosólidos obtenidos se encontraron Coliformes Fecales  $<3$  NMP/g, *Salmonella* sp.  $<3$  NMP/g, Huevos de Helminetos 0 HH/4g y el promedio de los contenido de metales arsénico (As) 0.40 mg/Kg, cadmio (Cd) 0.02 mg/Kg, cromo (Cr) 0.62 mg/Kg, mercurio (Hg) 12.76 mg/Kg, níquel (Ni) 12.023 mg/Kg, plomo (Pb) 42.685 mg/Kg, selenio (Se) 0.40 mg/Kg, zinc (Zn) 893.05 mg/Kg, Cobre (Cu) 122.15 mg/Kg y molibdeno 0.18 mg/Kg, también, el contenido de macronutrientes nitrógeno (N) 21115.25 mg/Kg, fósforo 4884 mg/Kg y potasio 1684.25 mg/Kg y 48 % de materia orgánica, carbón orgánico de 27.84 % y 71.41 % de humedad con un pH de 7.27. Por lo que el biosólido obtenido corresponde a la clase A según la EPA 503 de la parte 40 CFR y la norma peruana RM 024-2017-Vivienda.

**Palabras Clave:** Lodos, biosólido, digestión, anaerobia, termofílica

## ABSTRACT

The present research work was carried out with residual sludge from the stabilization lagoon of the city of Juliaca - Puno, with the purpose of evaluating the quality of the biosolids through the determination of microbiological, parasitological, metal and macronutrient parameters, for which proceeded to take 04 samples of sludge from different sampling points and analyzed in the reference laboratories with procedures accredited by INACAL, also the residual sludge was subjected to the process of thermophilic anaerobic digestion with a retention time of 30 days, subsequently sent to the laboratories for their respective analysis of the microbiological, parasitological, metals, macronutrients, humidity and organic matter. In the laboratory test reports we have come to determine that the residual sludge has a composition of: Fecal Coliforms of  $74.325 \times 10^6$  NMP/g, Salmonella sp. of  $<3$  NMP/g, Helminth eggs of 0.5 HH/4g, likewise metals such as arsenic (As) 0.40 mg/Kg, cadmium (Cd) 0.016 mg/Kg, chromium (Cr) 3.455 mg/Kg, mercury (Hg) 5.978 mg/Kg, nickel (Ni) 11,445 mg/Kg, lead (Pb) 52.86 mg/Kg, selenium (Se) 0.40 mg/Kg, zinc (Zn) 794.05 mg/Kg, copper (Cu) 119.368 mg/Kg and molybdenum 0.18 mg/Kg and the analysis reports of the biosolids obtained were Fecal Coliforms  $<3$  NMP/g, Salmonella sp.  $<3$  NMP/g, Helminth eggs 0 HH/4g and the average content of arsenic metals (As) 0.40 mg/Kg, cadmium (Cd) 0.02 mg/Kg, chromium (Cr) 0.62 mg/Kg, mercury (Hg) 12.76 mg/Kg, nickel (Ni) 12,023 mg/Kg, lead (Pb) 42.685 mg/Kg, selenium (Se) 0.40 mg/Kg, zinc (Zn) 893.05 mg/Kg, Copper (Cu) 122.15 mg/Kg and molybdenum 0.18 mg/Kg, also, the content of macronutrients nitrogen (N) 21115.25 mg/Kg, phosphorus 4884 mg/Kg and potassium 1684.25 mg/Kg and 48% organic matter, organic carbon of 27.84% and 71.41% of humidity with a pH of 7.27. Therefore, the biosolids obtained correspond to class A according to EPA 503 of part 40 CFR and Peruvian standard RM 024-2017-Vivienda.

**Key Words:** Sludge, biosolids, digestion, anaerobic, thermophilic

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la necesidad de minimizar residuos que perjudican al ambiente, así como su disposición adecuada y segura, son aspectos de mucha importancia, lo que lleva a la búsqueda de alternativas tecnológicas que permitan generar residuos no peligrosos y estables para su correcta disposición o reaprovechamiento (Oropeza, 2006). A medida que va ascendiendo la población se genera una gran cantidad de aguas residuales como resultado de las distintas actividades realizadas por el ser humano. Las aguas servidas (aguas residuales) son sometidas a tratamientos, para el mejoramiento de la calidad de los recursos hídricos (Castro *et al.*, 2007). Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos (Vélez, 2007), que genera grandes volúmenes de lodos residuales (Amador *et al.*, 2015), que son compuestos orgánicos sólidos, semisólidos o líquidos (Marambio & Ortega, 2003), las cuales, son dispuestos sin tratamiento previo, convirtiéndolos en una amenaza para la salud humana y un problema ambiental, debido a la presencia de patógenos, microorganismos y otros (Vásquez & Vargas 2018), que diariamente cobra mayor relevancia (González *et al.*, 2009).

El destino final de los lodos residuales generados en las PTAR deberán someterse a algún proceso de estabilización para minimizar los riesgos sanitarios, para ello es importante conocer su composición química, física y bacteriológica, con el fin de realizar una gestión adecuada (Arata, 2005), los lodos residuales tienen presentes microorganismos tales como Coliformes Fecales, Salmonella sp. y huevos del Helminto, además de contener en algunos casos, metales pesados, principalmente Zinc (Zn), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Mercurio (Hg) y Cromo (Cr). Por tanto, su potencial de acumulación en los tejidos humanos viene a ser una preocupación (Vélez, 2007), cuando los lodos residuales son puestos en rellenos sanitarios y/o en botaderos a cielo abierto, causa serios problemas ambientales, especialmente por la sobresaturación de este residuo y por la generación de biogás y lixiviados (Limón, 2013).

La digestión anaerobia es una tecnología para obtener un producto rico en nutrientes y útil como fertilizante (Sarabia *et al.*, 2017) siendo un proceso utilizado para tratamiento de lodos residuales generados en las PTAR, debido a

sus ventajas técnicas y económicas (Consuelo *et al.*, 2016), el proceso de digestión anaerobia se desarrolla en tres intervalos de temperatura como psicrófilico (15-20°C), mesófilico (30-40°C) y termófilico (50-60°C), siendo los dos últimos los procesos más utilizados para el tratamiento de residuos de alta carga orgánica (Borja *et al.*, 1992). La condición termófila es eficiente en términos de la detección orgánica (Tavares, Moraes de Césare, & Aparecida, 2010) Trabajando en el rango termófilico se asegura la destrucción de patógenos, la eliminación de semillas de malas hierbas, huevos y larvas de insectos (Flotats *et al.*, 2001).

Los lodos residuales seco pueden ser beneficiosos en la producción de bioabono (biosólidos) (Atencio *et al.*, 2011), con fines de reaprovechamientos (Misterio de Vivienda Perú), siendo valiosos para propósitos agronómicos (Torri *et al.*, 2017) es decir, tasas para proveer la cantidad de nitrógeno necesaria para los cultivos o vegetación (Carmen, & Castro, 2011), mejoramiento de suelos, fertilizante orgánico (Potisek *et al.*, 2010), en sitios de relleno o ser simplemente incinerados (quemados) (Arévalo & Lituma, 2010); también, para la vegetación y el control de procesos erosivos (Lopez *et al.*, 2010) permitiendo una mejor condición hídrica en las plantas (Donoso *et al.*, 2015), actividades forestales, cobertura de rellenos sanitarios (Dágner, 2003) y en elaboración de materiales cerámicos, para la construcción no estructural (Fuentes *et al.*, 2017), se puede considerar los biosólidos como fuente de materia orgánica y nutrientes (Negrín Brito & Jiménez Peña, 2012), además son una fuente importante de macro nutrientes como N, P, K y micro nutrientes como Cu y Zn (Silveira *et al.*, 2003).

En el Perú, se genera 786'379,599 millones de metros cúbicos (MMC) de aguas residuales domésticas (ARD) y solo se trata el 275'052,749 MMC que equivale el 35%, mientras tanto en la ciudad de Juliaca se genera el 5'433,569 MMC y se trata 2'848,775 MMC que equivale el 52.43% de las ARD (ANA, 2009), el manejo de los lodos residuales en la Laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca es un aspecto descuidado.

Por otra parte, existen diferencias entre las normas establecidas por la norma de la Agencia para la Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA),

La Directiva Europea considera un mayor intervalo para utilizarlos de forma segura y sin causar daños nocivos a los suelos, los cultivos y a las personas que van a manipularlos (EPA, 1994). En el Perú se aprobó la Norma mediante la Resolución Ministerial RM 024-2017-VIVIENDA para el reaprovechamiento de los biosólido generados en las PTAR (Ministerio de Vivienda, 2017).

Por lo señalado anteriormente, la presente investigación, por lo que nos hemos planteado los siguientes objetivos determinar los parámetros microbiológicos, parasitológico y contenido de metales de los lodos residuales frescos de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca, determinar los parámetros microbiológicos, parasitológico y contenido de metales del biosólido de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca, determinar la cantidad de macronutrientes (N, P, K.), Materia Orgánica y humedad presentes en el biosólido de los lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca. Con la finalidad de estableces nuevas alternativas para el manejo de los lodos residuales en la actualidad un recurso sin utilizar por tal razón hemos pretendido alcanzar una alternativa produciendo biosólido mediante el proceso de digestión anaerobia termofílica (55 a 65 °C) y realizar su evaluación de la calidad y así ser usado especialmente en cultivos agrícolas, en recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos y otros. Además, esta investigación tiene como finalidad fomentar el estudio y aprovechamiento de los lodos residuales producción por la las PTAR a nivel Nacional, las mismas que son económicamente más convenientes y ambientalmente más amigables.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo general

- ✓ Evaluar la calidad del biosólido obtenido mediante el proceso de digestión anaerobia termofílica de los lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar los parámetros microbiológicos, parasitológicos y contenido de metales de los lodos residuales fresco de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca.
- ✓ Determinar los parámetros microbiológicos, parasitológicos y contenido de metales del biosólido de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca.
- ✓ Determinar la cantidad de macronutrientes (N, P, K.), materia orgánica y humedad presentes en el biosólido de los lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 ANTECEDENTES

Vasquez & Vargas, (2018) El biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales municipio de Funza, tiene la siguiente composiciones humedad de 14.5 %, materia orgánica de 22.4 %, fosforo de 8.12 %, arsénico de 9 mg/Kg, cadmio de 5.10 mg/Kg, zinc de 1182 mg/Kg, cobre de 457 mg/Kg, cromo de 723 mg/Kg, mercurio de 4 mg/Kg, níquel de 387 mg/Kg, plomo de 47 mg/Kg, selenio de 9 mg/Kg con un pH de 5.53.

Párraga (2016) en su investigación realizo la caracterización físico química del biosólido provenientes de aguas residuales de una procesadora de pescado que cuenta con la siguiente composición nitrógeno (N) de 1.9 %, fósforo (P) de 1.84 %, potasio (K) de 0.39 %, los contenidos de metales fueron mercurio (Hg) de 0.25 mg/kg, plomo (Pb) de 15.37 mg/kg y cadmio (Cd) de 0.11 mg/kg.

Rodríguez (2016) caracterizó el biosólido proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre Bogotá – Colombia presentando la siguiente composición pH 7.2, conductividad eléctrica (C.E) 2.14 dS/m, materia orgánica de 20.86 %, nitrógeno de 2.87 %, fósforo de 343.7 mg/Kg, potasio de 594 mg/Kg, cobre de 0.4 mg/Kg, plomo de 0.09 mg/Kg, cromo de 0.09 mg/Kg, y zinc de 110.6 mg/Kg.

Trigoso & Martinez (2016) informa que la caracterización de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Antonio de Carapongo Lima- Perú tiene la siguiente composición arsénico 7.1 mg/Kg, cadmio 6.8 mg/Kg, cobre 783 mg/Kg, mercurio 8.45 mg/Kg, níquel 85 mg/Kg, plomo 633 mg/Kg y zinc 727 mg/Kg, selenio 5.3 mg/Kg, molibdeno 6.4 mg/Kg, Coliformes Fecales  $0.23 \times 10^6$  NMP/10g, Huevos de Helminthos 0.004HH/g y con un pH de 6.9.

Alonso *et al.*, (2015) El biosólido obtenido por digestión anaeróbica de la planta de tratamiento de aguas residuales de la industria ubicada en Orizaba,

Veracruz (México) contiene materia orgánica 0.92 %, Coliformes fecales 9.46 Log MPN/g TS, *Salmonella* sp. 4.3 Log NMP/g y Huevos de Helminos 0 HH/g.

González (2015) informa que los lodos residuales procedentes de una planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Córdoba - España, teniendo la siguiente composición pH 7.76, humedad 86.8 %, nitrógeno total (N) 1436 mg/Kg y fósforo total (P) 4765 mg/Kg.

Bermeo & Idrovo (2014) informa que la caracterización de los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba – Ecuador tiene la siguiente composición Fósforo (P) 3.4 g/Kg, potasio (K) con 1761 mg.kg<sup>-1</sup>, cobre (Cu) 238 mg.kg<sup>-1</sup>, Zinc (Zn) 969 mg.kg<sup>-1</sup>, cromo (Cr) 364 mg.kg<sup>-1</sup>, níquel (Ni) 45 mg.kg<sup>-1</sup>, plomo (Pb) 129 mg.kg<sup>-1</sup> y cadmio (Cd) 4.2 mg.kg<sup>-1</sup>, huevos de helmintos 31.13 HH/g y con un pH de 6.7.

Blanco (2014) informa que la Evaluación de los lodos residuales de la PITARNL – México tiene las siguientes características arsénico (As) 5 mg/Kg, cadmio 2 mg/Kg, zinc (Zn) 633.6 mg/Kg, cobre (Cu) 117.1 mg/Kg, cromo (Cr) 21.02 mg/Kg, mercurio (Hg) 0.65 mg/Kg, níquel (Ni) 13.6 mg/Kg, plomo (Pb) 28.8 mg/Kg, Coliformes fecales <300 NMP/g, *salmonella* spp. <3 NMP/g y huevos de helmintos 0 HH/g.

Chávez & Loaiza (2014) Los biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR salitre – México, tiene las siguientes características físico químicas pH 5.7, nitrógeno (N) 0.013%, fósforo (P) 0.03 %, potasio (K) 0.03 %, Plomo (Pb) 15.4 mg/kg, cadmio (Cd) 0.6 mg/kg y cromo (Cr) 18.9 mg/kg.

Moreno (2014), llegó a la conclusión que la digestión de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Bosque Urbano de Torreón ha sido de buena calidad con un pH 6.21, cantidades de metales como arsénico (As) 0.4 mg/Kg, cadmio (Cd) 0.4 mg/Kg, cobre (Cu) 6 mg/Kg, mercurio (Hg) 0.02 mg/Kg, níquel (Ni) 4 mg/Kg, plomo (Pb) 1 mg/Kg y zinc (Zn) 20 mg/Kg, en la parte de microbiología presenta la cantidad de Coliformes fecales 14 NMP/g, Coliformes Totales 59 NMP/g y 0 huevos de helmintos.

Villafuerte (2014) informa que el biosólido obtenido de los lodos sedimentados de la bahía interior de Puno- Lago Titicaca contiene nutrientes esenciales como nitrógeno (N) de 4331 mg/Kg, fósforo (P) de 2214.70 mg/Kg y potasio (K) 2000 mg/Kg, así mismo la contratación de metales arsénico (As) 41.04 mg/Kg, cadmio (Cd) 8.06 mg/Kg, cromo (Cr) 16.65 mg/Kg, mercurio (Hg) 1.61 mg/Kg, níquel (Ni) 12.69 mg/Kg, plomo (Pb) 417.77 mg/Kg, Selenio (Se) 0.1 mg/Kg y Zinc (Zn) 2573 mg/Kg y el contenido de patógenos como Coliformes Fecales <0.3 NMP/g, *Salmonella spp.* Ausencia y huevos de helmintos 3 HH/4g.

Bedoya *et al.*, (2013), Realizó la caracterización físico-química, microbiológica y parasitológica en biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando, Itagüí Antioquia - Colombia, promedio de nitrógeno (N) 2.5 %, fósforo (P) 2 %, potasio (K) 0.66 %, pH 7.16 y Coliformes fecales  $7.8 \times 10^5$  NMP/g.

del Pino *et al.*, (2012) realizó la caracterización química y evaluación de biosólidos producidos por digestión anaerobia de residuos agroindustriales nitrógeno (N) 2.0 %, fósforo (P) 0.64 %, potasio (K) 0.20 %, zinc (Zn) 94 mg/kg, cobre (Cu) 26 mg/kg, y un pH 7.46.

Negrin & Jiménez (2012) El biosólido procedente de la planta de tratamiento del Centro de Investigaciones en Bioalimentos por digestión anaerobia tiene la siguiente composición: materia orgánica 53 %, nitrógeno 2.2%, fósforo 1.5% y potasio con 0.8%, cobre  $4.27 \text{ mg.kg}^{-1}$ , zinc  $15.4 \text{ mg.kg}^{-1}$ , cromo  $7.31 \text{ mg.kg}^{-1}$ , níquel  $0.90 \text{ mg.kg}^{-1}$ , plomo  $21.9 \text{ mg.kg}^{-1}$  y cadmio  $0.7 \text{ mg.kg}^{-1}$  y con un pH de 7.5.

Quintana (2012) Caracterizo el biosólido producido por la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Cañaveralejo en la ciudad de Cali- Colombia que tiene los siguientes componentes pH 6.7, humedad de 67.9 %, nitrógeno de 2.73 %, fósforo de 1.35 %, potasio de 0.18 % y 8 HH/g huevos de helmintos.

Robledo (2012) informa sobre la caracterización del biosólido generado en la PTAR del Niágara de la ciudad de aguas calientes - México conteniendo de cadmio (Cd) 47.8 mg/Kg, cobre (Cu) 258 mg/Kg, níquel (Ni) 45 mg/Kg, plomo (Pb) 70.45 mg/Kg y zinc (Zn) 2905 mg/Kg, materia orgánica (MO) 63.3 %, nitrógeno (N) 52780 mg/Kg, fósforo (P) 3120 mg/Kg, potasio (K) 64960 mg/Kg con un pH de 6.8.

Atencio *et al.*, (2011) informa que la composición de lodo residual seco de la planta de tratamiento de aguas residuales de Puente Piedra - Lima tiene las siguientes características físico químicas pH 6.97, conductividad eléctrica 4.69 mS/cm, materia orgánica 41.94 g/100g, arsénico (As) 16.00 mg/kg, mercurio (Hg) 0.725 mg/kg, plomo (Pb) 49.6 mg/kg, cadmio (Cd) 2.00 mg/kg, cromo (Cr) 12,4 mg/kg y bacteriológicas coliformes fecales 140 NMP/g, *salmonella* sp. 6 NMP/g.

Arévalo & Lituma (2010), Concluye que la digestión anaerobia de biosólidos es un proceso que mejora sus características como fertilizante, con alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica, pueden ser aplicados a los suelos en estado fresco pues el tratamiento anaerobio elimina patógenos y malos olores. Esta investigación utilizó un digestor de 50 L, con 37,5 L de volumen de trabajo bajo condiciones mesofílicas (23 °C) y termofílicas (53°C), el cual se alimentó con biosólidos de la Planta de Tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la ciudad de Cuenca – Ecuador. Habiendo operado durante 39 días, teniendo el biosólido alimentado con un contenido de coliformes fecales de  $2.06 \times 10^6$  NMP/g y huevos de helmintos de 21 HH/4g. Se obtuvo una reducción de coliformes fecales (97,2 NMP/g ST) y con referente a la cuenta de huevos de helmintos a valores 2,4 HH/4g ST.

Potisek *et al.*, (2010) presenta la composición química del biosólido obtenidos del proceso de tratamiento de aguas residuales de la planta tratadora perteneciente al club Campestre La Rosita Torreón – México son las siguientes pH 7.07, conductividad eléctrica (C.E) 5.68 dS/m, materia orgánica de 23 %, nitrógeno de 1.74 %, fósforo de 715 mg/kg y potasio de 931 mg/kg.

González *et al.*, (2009) Caracterizó los biosólidos obtenidos por el proceso de digestión anaerobia a una temperatura de 30-40 °C y con un tiempo de retención de 30 días de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales localizada en la ciudad de Puebla – México cadmio (Cd) 4.4 mg/Kg, cromo (Cr) 16.7 mg/Kg, cobre (Cu) 173.4 mg/Kg, níquel (Ni) 49.7 mg/Kg, plomo (Pb) 170.9 mg/Kg y zinc (Zn) 234.9 mg/Kg.

Torres, Madera, & Silva (2009) en los estudios realizados en el mejoramiento de la calidad microbiológica de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en la Escuela de Antioquía – Colombia, llegaron a caracterizar los biosólidos generados en Cañaveralejo – Cali, con el siguiente resultado: pH 6.71; humedad de 68.17 %; materia orgánica de 26.63%, nitrógeno de 1.45%, fósforo de 179.41 mg/Kg y 7 HH/g huevos de helmintos.

Ramilla & Rojas (2008), informan de la composición de los biosólidos obtenidos de la planta de tratamiento de aguas servidas de La Farfana - Chile se hallaron el contenido de materia orgánica 59%, nitrógeno de 5,4%, arsénico 7 mg/Kg, Cadmio 2 mg/Kg, zinc 1.414 mg/Kg, cobre 422 mg/Kg, mercurio 2 mg/Kg, níquel 43 mg/Kg, plomo 66 mg/Kg y selenio 3 mg/Kg.

Utria *et al.*, (2006) Los biosólidos de aguas residuales urbanas de Quibú presentó niveles de materia orgánica (MO) 42.35 %, nitrógeno (N) 2.6%, fósforo (P) 1.35% y potasio (K) con 0.76%; los metales pesados como Cobre (Cu), Zinc (Zn), Cromo (Cr), Níquel (Ni) y Plomo (Pb), se encuentran con las siguientes concentraciones 337.67 mg.kg<sup>-1</sup>, 135.0 mg.kg<sup>-1</sup>, 79.37 mg.kg<sup>-1</sup>, 59.5 mg.kg<sup>-1</sup> y < LD (Límites de detección 5 mg.kg<sup>-1</sup>) respectivamente.

Andrade *et al.*, (2000) en su investigación caracterizo los lodos residuales procedentes de la estación depuradora de aguas residuales de Santiago de Compostela la cual tiene la siguiente composición pH 7.72, Nitrógeno total (N) 26.40 g/Kg, Fosforo (P) 13.5 g/Kg, Potasio (K) 11.1 g/Kg, materia orgánica (MO) 461 g/Kg, Plomo (Pb) 106 mg/kg, Cadmio (Cd) 6 mg/kg, Cromo (Cr) 84 mg/kg, Níquel (Ni) 58 mg/kg, Zinc (Zn) 2000 mg/kg, Cobre (Cu) 565 mg/kg.

## 2.2 MARCO TEÓRICO

### 2.2.1 Agua Residual

Las aguas residuales o servidas se pueden definir como aquellas que por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos dentro de sus orígenes tenemos las siguientes (Espigares & López, 1985):

- ✓ **Aguas residuales domésticas o aguas negras:** proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal, de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.
- ✓ **Aguas blancas:** pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego, limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden de evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración o alcantarillado.
- ✓ **Aguas residuales industriales:** proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales que contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos, grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales.
- ✓ **Aguas residuales agrícolas:** procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo.

La composición de las aguas residuales domésticas es muy variable en razón a la diversidad de factores que la afectan. Entre estos, principalmente, el consumo medio de agua por persona y por día, por cuanto determina, preferentemente, su concentración, y la dieta de la población conjuntamente con el nivel de desarrollo o tamaño de la municipalidad, que caracteriza fundamentalmente su composición química (Correa, 2008)

### 2.2.2 Planta de tratamiento de Aguas residuales (PTAR)

Las plantas de tratamientos de aguas residuales son unidades de transformación de los efluentes industriales y domésticos o sea unidades de transformación de la materia orgánica (Trejos & Agudelo).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son necesarias para proteger la salud pública y preservar la calidad ambiental de los ecosistemas hídricos y su entorno. El proceso de tratamiento de aguas residuales se selecciona en base a las características del afluente, a la calidad requerida del efluente, a la disponibilidad del terreno, a los costos de construcción y operación de la PTAR, a la confiabilidad de los procesos. En la línea de líquidos del proceso de tratamiento de las aguas residuales, específicamente en los sedimentadores primario y secundario se genera biomasa más conocidos como lodos que deben ser tratados y ser convertidos en biosólidos antes de su disposición final pudiendo ser utilizados en actividades agrícolas, recuperación de suelos, actividades forestales y cobertura de rellenos sanitarios. Unas inadecuadas gestiones de los mismos podrían convertirse en un problema adicional de salud pública porque contienen gran cantidad de microorganismos patógenos, sustancias tóxicas y atraen vectores por ser altamente putrescibles causando un efecto negativo sobre el ambiente y la salud (Díaz *et al.*, 2002).

#### 2.2.2.1. Lagunas de Estabilización

Entre las técnicas de bajo costo en el campo del tratamiento de aguas residuales, los sistemas lagunares son los que han encontrado mayor aplicación. Las primeras lagunas de estabilización fueron en realidad embalses construidos como sistemas reguladores de agua para riego. Se almacenaban los excedentes de agua residual utilizada en riegos directos, sin tratamiento previo. En el curso de este almacenamiento se observó que la calidad del agua mejoraba sustancialmente, por lo que empezó a estudiarse la posibilidad de utilizar las lagunas como método de tratamiento de aguas residuales. Las lagunas de estabilización son el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Están constituidos por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tiene forma rectangular o cuadrada, las cuales tienen como objetivos:

- ✓ Remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación.
- ✓ Eliminar microorganismos y patógenos que representan un grave peligro para la salud.
- ✓ Utilizar su efluente para reutilización con otras finalidades, como agricultura.

La eficiencia de la depuración del agua residual en lagunas de estabilización depende ampliamente de las condiciones climáticas de la zona, temperatura, radiación solar, frecuencia y fuerza de los vientos locales, y factores que afectan directamente a la biología del sistema.

Las lagunas de estabilización son lugares de almacenamiento de aguas residuales, relativamente grandes y de poca profundidad, provistas de estructuras en tierra abiertas al sol y al aire y cuyo fin es el de lograr el tratamiento de las aguas residuales a través de procesos naturales, pero controlados (Metcalf y Eddy, 1998). La laguna de estabilización es aparentemente un método simple de tratamiento de las aguas residuales pero los mecanismos de purificación involucrados son complejos. Estos involucran procesos de sedimentación, digestión, oxidación, síntesis, fotosíntesis, respiración endógena, intercambio de gases, aireación, evaporación, corrientes térmicas y filtración (Rolim, 2000).

De acuerdo a la naturaleza de la actividad biológica que tiene lugar en la misma, y por tanto al metabolismo que prevalece durante su funcionamiento, las lagunas de estabilización se clasifican en: (Mendez & Diaz, 2006)

- a) **Aerobias.** - Bajo esta denominación se incluyen aquellas lagunas en las que la materia biodegradable, suspendida y disuelta, es estabilizada por la acción de microorganismos aerobios. El oxígeno es suministrado por la acción fotosintética de las algas y por el oxígeno que se difunde del aire. Debido a que la luz solar es esencial para la producción de oxígeno mediante algas, la profundidad de estas lagunas está limitada de acuerdo con la penetración de la luz, y normalmente es menor de 50 cm.
- b) **Anaerobias.** - Las lagunas anaerobias se utilizan normalmente como primera fase en el tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales

con alto contenido en materia orgánica biodegradable. El objetivo primordial de estas lagunas es la reducción de contenido en sólidos y materia orgánica del agua residual, y no la obtención de un efluente de alta calidad. Por esta razón, las lagunas anaerobias operan en serie con lagunas facultativas.

Generalmente se utiliza un sistema compuesto por al menos una laguna de cada tipo en serie, para asegurar que el efluente final de la planta depuradora va a poseer una calidad adecuada durante todo el año.

En las lagunas de este tipo la materia orgánica es estabilizada mediante un mecanismo similar al que existe en los tanques de digestión anaerobia (formación de ácidos orgánicos y de metano). En las condiciones de climas tropicales la carga de las lagunas anaerobias puede variar entre 60 y 300 g DBO m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. La profundidad está limitada por elementos prácticos: nivel freático, tipo de suelo y facilidades para la limpieza eventual de los lodos o fangos que se depositan en el fondo con el transcurso del tiempo.

- c) **Facultativas.** -En las lagunas facultativas se distinguen dos zonas de trabajo bien diferenciadas: una región aerobia en la superficie y cercana a ésta y una región anaerobia en el fondo. Entre ambas existe una zona, no muy bien delimitada, facultativa. La carga orgánica de estas lagunas para países tropicales puede oscilar entre 20 y 35 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> con profundidades entre 1,5 y 2,5 m. Por lo general, una fracción de la materia orgánica contaminante que llega a la laguna es sedimentable, lo que origina la capa anaeróbica en el fondo. Las lagunas facultativas operan correctamente aun cuando todo su volumen no se encuentre oxigenado. La radiación solar puede ser un elemento limitante en la operación adecuada de este tipo de lagunas.
- d) **maduración o pulimento.**- son estanques cuya altura está entre 0.5 y 1.0 m, son utilizadas como procesos de tratamiento terciario y diseñadas con el propósito exclusivo de reducir los organismos patógenos (Correa, 2008).

De todos los procedimientos de diseño de procesos de tratamiento biológicos, quizá sea el menos definido el de las lagunas de estabilización. Por ello, son diferentes métodos y cuando se comparan los resultados obtenidos por cada uno de ellos son muchas las diferencias que se encuentran. Sin embargo, existen factores comunes que inciden en su funcionamiento, como son: la carga orgánica por unidad de área, la temperatura y patrones de viento, tiempo de detención real, dispersión y características de mezcla, energía solar, características de sólidos en el efluente, cantidad disponible de nutrientes esenciales para el metabolismo microbial. La tabla 1 incluye datos típicos sobre los parámetros de diseño para los distintos tipos de lagunas (Correa, 2008).

**Tabla 1: Parámetros de diseño típicos para lagunas de estabilización**

Parámetro	Tipo de lagunas				
	Aerobia	Facultativa	Maduración	Anaerobia	Aireada
1. Régimen de flujo	M.I	....	M.I	....	C.M
2. Tamaño de laguna (ha)	0.25 - 1.0	1.0 - 4.0(*)	1 - 4.0	0.2 - 1 (*)	1 - 4 (*)
3. Operación	serie	serie o paralelo	serie o paralelo	serie o paralelo	serie o paralelo
4. Tiempo de retención (días)	4.0 - 6.0	7.0 - 10.0	5.0 - 20	10.0 - 20.0	3.0 - 10
5. Profundidad (m)	0.30 - 0.50	1.8 - 2.5	1.0 - 1.5	2.5 - 5.0	3.0 - 5.0
6. pH	6.5 - 10.5	6.5 - 9.0	6.5 - 10.5	6.8 - 7.2	6.5 - 8.0
7. Carga de DBO5 (Kg/ha.d)	80 - 160	200 - 400 +	15 - 60	400 - 1200	800 - 1500
8. Conversión de la DBO5	80 - 95	80 - 95	60 - 80	40 - 80	80 - 95
9. Sólidos susp. Efluente (mg/l)	150 - 300 <sup>a</sup>	40 - 100 <sup>a</sup>	10 - 30 <sup>a</sup>	80 - 160	80 - 250 <sup>a</sup>

M.I = mezclado Intermitente

(\*) = múltiples

+ = aumentando la altura hasta 2.5 m puede ampliarse hasta 400

<sup>a</sup> = incluye algas, microorganismos y sólidos suspendidos residuales del afluente

C.M = completamente mezclado

Fuente: (Correa, 2008)

### 2.2.3 Producción de Lodos residuales

En las plantas de tratamiento de aguas residuales los lodos se generan principalmente en dos etapas, los primeros se generan en el tratamiento primario y los otros en el tratamiento secundario. Los primeros lodos se generan durante

la sedimentación primaria, es en donde se buscará eliminar los sólidos sedimentables. La cantidad generada de lodos dependerá de varios factores como la carga superficial o el tiempo de retención hidráulica. En ciertos casos se utiliza productos químicos para los procesos de sedimentación como son floculantes y coagulantes lo cual producirá mayor cantidad de lodos (Limon, 2013).

Los problemas que se generan con los lodos procedentes de una PTAR es cuando no se les da un tratamiento y disposición final adecuada. Estos lodos pueden representar un problema sobre la salud pública y el ambiente, dependiendo en gran medida a su composición química y microbiológica (Mahamud, 1996).

#### **2.2.4 Lodos residuales**

Según la EPA define “Lodo, es el sólido, semisólido, o líquido residual generado durante el tratamiento de residuos domésticos, en una planta de tratamiento”. Los lodos residual incluyen, pero no están limitados a espumas sólidos removidos en el proceso de tratamiento primario, secundario o avanzado de agua residual, y material derivado de lodos residuales, El lodo residual no incluye cenizas generados durante la incineración de los mismos o gravas y piedras generando durante el tratamiento preliminar de los residuos doméstico en plantas de tratamiento municipales (EPA 1994)”, así mismo, Según la Resolución Ministerial 024 -2017- Vivienda los lodos residuales son un subproducto del tratamiento de las aguas residuales por las plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR) (Ministerio de Vivienda, Perú).

El tratamiento de aguas servidas trae como consecuencia la formación de lodos residuales, subproductos extras difíciles de tratar y que implican un costo extra en su manejo y disposición (Oropeza, 2006). Los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales son producto de la concentración de sólidos contenidos en el efluente (lodos primarios), o de la formación de nuevos sólidos suspendidos (lodos activados) resultantes de los sólidos disueltos de la aguas residuales (Morales, 2005). Estos lodos son compuestos orgánicos sólidos, semisólidos o líquidos producidos durante el proceso de tratamiento mecánico, biológico y/o químico de purificación de las aguas servidas (Marambio & Ortega, 2003)

### 2.2.5 Características de los lodos residuales

Su composición depende principalmente de las características del agua residual afluyente y del proceso de tratamiento utilizado en la planta que lo genera. Uno de los problemas para el uso y manejo de los lodos es su alto contenido de patógenos, por lo que se requiere su estabilización (reducción de microorganismos patógenos) (Moeller *et al*, 2000).

En la tabla 2 se muestra la composición de diferentes tipos de lodos generados en el tratamiento de aguas residuales domésticas, observándose lo mencionado respecto a que sus características varían en función del proceso que los originan.

**Tabla 2: Caracterización de lodos generados en diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales**

PARÁMETROS	LODOS PRIMARIOS (Sin adición de Químicos)	LODOS SECUNDARIOS (licor mezcla de lodos activados)	LODOS DIGERIDOS (Mezcla)
pH	5.5 – 6.5	6.5 – 7.5	6.8 – 7.6
Contenido de Agua (%)	92 – 96	97.5 – 98	94 – 97
SSV (%SS)	70 – 80	80 – 90	55 – 65
Grasas (%SS)	12 – 14	3 – 5	4 – 12
Proteínas (%SS)	4 – 14	20 – 30	10 – 20
Carbohidratos (%SS)	8 – 10	6 – 8	5 – 8
Nitrógeno (%SS)	2 – 5	1 – 6	3 – 7
Fosforo (%SS)	0.5 – 1.5	1.5 – 2.5	0.5 – 1.5
Bacterias patógenas (NMP/100ml)	10 <sup>3</sup> – 10 <sup>5</sup>	100 – 1000	10 – 100
Metales pesados (%SS) (Zn, Cu, Pb)	0.2 – 2	0.2 – 2	0.2 – 2

SSV: Sólidos Suspendidos Volátiles, NMP: Numero más probable, SS: sólidos suspendidos

Fuente: Hernández, 1992

Las características de los lodos están estrechamente vinculadas al proceso empleado en las PTAR, que influirá en las características y propiedades de los biosólidos y la viabilidad de la alternativa a emplear en la gestión (Díaz *et al.*, 2015).

La caracterización de los lodos es la clave para cuantificar las concentraciones de nutrientes para su aplicación en los suelos y de los

compuestos dañinos que deben ser eliminados. Para el adecuado manejo de lodos se debe evaluar la composición química (incluida la concentración de metales pesados), así como el contenido de patógenos y parásitos que posean (Amador, 2015).

### 2.2.5.1 Metales en lodos residuales

Un indicador que debe valorarse en la caracterización de los lodos es el contenido de metales pesados, los cuales están representados por un grupo de elementos químicos que poseen una elevada toxicidad para los seres vivos, aunque se presentan en concentraciones permisibles en los lodos para su manejo de forma segura (Lorenzo, 2003) (Tabla 3).

**Tabla 3: Concentraciones permisibles para los metales pesados en los lodos**

<b>Metal</b>	<b>Concentración (mg/kg de lodo seco)</b>
Cadmio	20-40
Cobre	1000-1750
Níquel	300-400
Plomo	750-1200
Zinc	2500-4000
Mercurio	16-25
Cromo	1000-1500
Arsénico	20-40
Selenio	50-100
Molibdeno	10-25

Fuente: Lorenzo, 2003

El término «metal pesado» engloba a aquellos elementos cuya densidad es superior a 5 g/cm cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20. Los metales pesados desde el punto de vista de su función en los seres vivos se pueden clasificar en:

- ✓ Micronutrientes, como es el caso de Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Ni, Cr, V, Ti y Se, los cuales, en pequeñas cantidades son necesarios para que los organismos realicen su ciclo vital, pero que a partir de ciertas concentraciones pueden llegar a ser tóxicos.

- ✓ Elementos como Cd, Hg, Pb, Sb y Bi que no tienen una función biológica conocida y que pueden resultar altamente tóxicos para los organismos vivos debido a su capacidad de acumulación en el organismo.

La cantidad de metales pesados en los lodos de depuración depende, en la mayoría de los casos, del tipo de vertido. Los procesos industriales en los que se emplean materias primas que tienen un alto contenido en metales pesados son una importante fuente de los mismos en los lodos de depuradoras.

- ✓ **Cadmio**

El cadmio es un metal pesado que, en la naturaleza, normalmente aparece asociado a otros metales. La mayor parte del cadmio empleado como materia prima se obtiene como subproducto de la extracción de Zn, Pb y Cu. Debido a su alta resistencia a la corrosión, este metal es muy empleado en la industria en procesos de galvanoplastia (revestimientos metálicos), en aleaciones de latón, soldaduras y en la producción de baterías de níquel-cadmio. Otras aplicaciones son la fabricación de pesticidas, estabilizante en la producción de plásticos y pigmentos, etc.

El uso de lodos con un alto contenido en este metal puede ser un peligroso foco de contaminación para el medio ambiente, ya que interacciona con la materia orgánica, estando su solubilidad influenciada por el grado de acidez. Así, una disminución del pH de los lodos conduce a la disolución del metal y ello, a su vez, permite su asimilación por parte de las plantas y/o la contaminación de los suelos y aguas próximas. Además, las altas concentraciones el metabolismo de ciertos microorganismos presentes en el suelo puede verse alterado.

La intoxicación por Cd de los animales es debida principalmente a la ingestión de alimentos contaminados. Una vez absorbido por el organismo, es transportado hacia el hígado por la sangre; allí interacciona con ciertas proteínas que lo transportan hacia los riñones, donde se acumula pudiendo causar un daño en el mecanismo de filtración. Además de las consecuentes alteraciones renales, también puede producir daños pulmonares y óseos, alteraciones del sistema nervioso central y del sistema inmune.

- ✓ **Cromo**

El cromo elemental no se encuentra en la naturaleza y suele aparecer formando compuestos con otros elementos. El mineral más importante es la

cromita. Sus propiedades mecánicas, incluyendo la dureza y la resistencia a la tensión, determinan su capacidad de utilización.

La aplicación más importante del cromo es el cromado de piezas metálicas y su uso en aleaciones para obtener acero inoxidable. De las diferentes formas de oxidación, el Cr (VI) es la de mayor uso industrial por sus propiedades oxidantes y su capacidad de formar sales muy coloreadas e insolubles. Algunos ejemplos del uso del Cr (VI) son la fabricación de pigmentos, vidrios y esmaltes de color.

El cromo entra en el aire, agua y suelo en forma de Cr (III) y Cr (VI) a través de procesos naturales y antropogénicos. Las actividades humanas que incrementan más las concentraciones de Cr (III) en el medio ambiente son: la fabricación de acero, peleterías, industrias textiles y pintura eléctrica. Las plantas normalmente absorben sólo Cr (III), aunque no es esencial para las mismas. El Cr (VI) puede ser fitotóxico. No se ha observado acumulación de cromo en peces, pero altas concentraciones del mismo pueden dañar sus agallas.

El Cr (III) es un nutriente esencial para los humanos y la falta de éste puede causar problemas de corazón, trastornos metabólicos y diabetes. La principal ruta de entrada en el organismo de Cr (III) es a través de los alimentos, ya que se encuentra de forma natural en vegetales, frutas, carnes, levaduras y granos. A altas dosis puede producir efectos adversos sobre la salud como, por ejemplo, erupciones cutáneas.

El cromo (VI) es tóxico para los humanos, causando problemas respiratorios, alteraciones del material genético y cáncer de pulmón.

#### ✓ **Cobre**

Es un metal de transición cuya gran utilidad se debe a sus propiedades químicas, físicas, mecánicas y eléctricas, así como a su abundancia. El cobre se presenta en la naturaleza como metal nativo, aunque la mayor parte se obtiene de los sulfuros minerales como la calcosita, calcopirita y de los óxidos como la cuprita.

Este metal se emplea en la fabricación de cañerías, tuberías de calefacción y refrigeración, en baterías de cocina, techumbres y producción de aleaciones de cobre. También se utiliza como pigmento y en pinturas antioxidantes. Además, el sulfato de cobre se usa como alguicida y fungicida.

El cobre puede ser liberado en el medio ambiente tanto por actividades humanas como por procesos naturales. El cobre monovalente es inestable en disoluciones

acuosas. Los compuestos de Cu (I) como  $\text{Cu}_2\text{O}$  y  $\text{Cu}_2\text{S}$  son insolubles en agua. El Cu (II) tiende a formar complejos con ligandos inorgánicos u orgánicos como el ión amonio, cloruro y ácidos húmicos, por tanto, interaccionan con la materia orgánica y minerales. En suelos con altas concentraciones de cobre sólo pueden sobrevivir un pequeño número de plantas. Este metal puede influir en la calidad del

Suelo dependiendo de su acidez y de la presencia de materia orgánica, afectando a la actividad microbiana. Los animales de granja también pueden verse afectados por el cobre y en especial las ovejas, debido a que en ellas los efectos se manifiestan a bajas concentraciones.

Se trata de un oligoelemento esencial para el metabolismo humano y se encuentra presente en muchos alimentos. El hombre ingiere diariamente de 2 a 5 mg de cobre, del cual sólo una pequeña parte se asimila, por lo que la toxicidad alimentaria por Cu es poco común. Sin embargo, a altas concentraciones puede ser una amenaza para la salud, especialmente en el caso de los compuestos solubles en agua, los más habituales en las aplicaciones agrícolas. Su toxicidad puede provocar lesiones hepáticas, renales o neurológicas.

#### ✓ **Mercurio**

Es un metal noble, soluble únicamente en soluciones oxidantes. Este metal y sus compuestos son muy tóxicos. El mercurio forma amalgamas con oro, plata, platino, uranio, cobre, plomo, sodio y potasio. En la naturaleza, se encuentra normalmente como rojo de cinabrio y, en menor abundancia, como metal cinabrio negro. A veces los minerales de mercurio contienen gotas pequeñas de mercurio metálico.

Tanto su forma elemental como sus compuestos son muy empleados en la industria. El mercurio metálico se utiliza en interruptores eléctricos como material líquido de contacto, termómetros, barómetros, tacómetros y termostatos, aunque su uso se está restringiendo. Otros ejemplos son su uso en la fabricación de baterías, bombillas eléctricas incandescentes, en la producción de cloro y de ácido acético, en la electrodeposición de oro, en curtido de pieles, fotografía y producción de pigmentos. Los compuestos orgánicos se suelen emplear en la fabricación de fungicidas y alguicida y como conservantes en pinturas.

El mercurio es un elemento que se puede encontrar de forma natural en el medio ambiente como resultado de la ruptura de minerales o debido a la

actividad humana. El mercurio que se encuentra en las aguas superficiales o suelos, es transformado por los microorganismos en metilmercurio, una sustancia que puede ser absorbida rápidamente por la mayoría de los organismos y producir alteraciones en el sistema nervioso. Los peces absorben gran cantidad de metilmercurio, que se acumula en su organismo y pasa a la cadena alimentaria. El mercurio del suelo puede acumularse en los champiñones.

El mercurio es un elemento no esencial y tóxico para los organismos vivos. Produce graves daños como alteraciones en la función renal, trastornos en el estómago, daño en el aparato digestivo, fallos en la reproducción y alteración del ADN. Se han detectado casos de envenenamiento de seres humanos por la ingestión de semillas y peces contaminados.

#### ✓ **Níquel**

El níquel es un elemento bastante abundante, que constituye cerca de 0,008% de la corteza terrestre y 0,01% de las rocas ígneas. Dos minerales importantes son la pentlandita y pirrotita. El níquel se encuentra en pequeñas cantidades en plantas y animales.

Se aplica fundamentalmente en aleaciones duras, maleables y resistentes a la corrosión, para niquelados y plateados en la fabricación de baterías de cocina, joyería, etc. También es utilizado en baterías, pigmentos, colorantes y moldes para recipientes cerámicos y vidrio.

La mayor parte de todos los compuestos del níquel que son liberados al ambiente son adsorbidos por los sedimentos o partículas del suelo donde son inmovilizados. En condiciones ácidas, el níquel se une a la materia orgánica del suelo aumentando su movilidad y pudiendo alcanzar las aguas subterráneas. Altas concentraciones de este metal en suelos arenosos pueden afectar a las plantas. Los microorganismos pueden también sufrir alteraciones en su metabolismo debido a la presencia de este metal, pero normalmente tienden a desarrollar una resistencia al mismo.

El níquel es un elemento esencial para los animales en pequeñas cantidades, pero a altas concentraciones puede ser muy dañino, ya que puede causar varios tipos de cánceres. No tiende a acumularse en plantas o animales por lo que no se biomagnifica en la cadena alimentaria.

### ✓ **Plomo**

El plomo es un metal pesado de color azul grisáceo, que rara vez se encuentra en su estado elemental. Su mineral más común la galena. Otros minerales de importancia comercial son la cerusita y anglesita.

Debido a su alta resistencia a la corrosión, el plomo es muy utilizado en la construcción y, en particular, en la industria química, ya que es resistente al ataque de muchos ácidos, porque forma su propio revestimiento protector de óxido. Otras aplicaciones se encuentran en la fabricación de tubos, aleaciones, cables, pigmentos y antidetonantes para combustibles. Los silicatos de plomo se emplean para la fabricación de fritas de vidrio y de cerámica que se utilizan para introducir plomo en los acabados del vidrio y de la cerámica.

El plomo se encuentra de forma natural en el medio ambiente, pero la gran mayoría proviene de procesos industriales, de la combustión del petróleo y de residuos sólidos.

El plomo es un elemento químico particularmente peligroso, y se acumula en organismos acuáticos y terrestres, pudiendo entrar en la cadena alimentaria. Algunos de los síntomas de envenenamiento por plomo son dolores de cabeza, vértigo e insomnio.

### ✓ **Zinc**

El Zinc es uno de los elementos menos comunes de la corteza terrestre. Su principal mineral es la blenda. El cinc puro y pulido es de color blanco azulado y moderadamente duro. Es dúctil y maleable pudiéndose enrollar y tensar, pero cantidades pequeñas de otros metales pueden volverlo quebradizo. Es buen conductor del calor y la electricidad y es activo químicamente.

Este metal debido a su alta resistencia a la corrosión es muy utilizado en el recubrimiento de superficies metálicas. También es empleado como pigmento para la fabricación de lacas y pinturas. El sulfato de cinc o vitriolo blanco se utiliza como conservante de pieles y maderas, decolorante de papel y coadyuvante de pesticidas y fungicidas.

La mayoría del cinc encontrado en el medio ambiente proviene de actividades industriales, como la minería, el procesado del acero, la combustión de carbón y residuos. El zinc presente en los suelos y sedimentos puede disolverse y contaminar las aguas subterráneas y superficiales incrementando su acidez. Además, se acumula en el organismo de los peces, entrando en la

cadena alimentaria donde se biomagnifica. La acumulación de Zn en el suelo es nociva para las plantas, que son capaces de absorberlo, pero no eliminarlo y mueren. Además, este metal puede influir negativamente en la actividad microbiana de los suelos y en lombrices, provocando que la descomposición de la materia orgánica, posiblemente, sea más lenta debido a esto.

El zinc es un nutriente esencial para los animales e incluso se recomienda una dosis mínima diaria.

La deficiencia de este metal en la dieta humana deteriora el crecimiento, la madurez y produce anemia. No se acumula en los organismos y su absorción es más difícil si se encuentra en tejidos vegetales. Está presente en la mayor parte de los alimentos, especialmente en los que son ricos en proteínas, pero a pesar de esto, la ingestión de una alta cantidad de sales de zinc puede provocar irritaciones en el tracto digestivo (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009).

#### **2.2.5.2 Características biológicas en lodos Residuales**

El lodo residual de acuerdo a su naturaleza se encuentra formado por una gran variedad de microorganismos siendo más comunes bacterias, virus, y parásitos los que se encuentran con altas concentraciones. En este parámetro el factor que hace que varía sus características esta dado de acuerdo a el estado de salud y el tamaño de la población (Llivichuzca, 2016). Entre los microorganismos que comúnmente se encuentran en los lodos tenemos *Salmonella spp.* (Especialmente *S. Typhi*), Coliformes Fecales, Huevos de Helmintos, y en el caso de los virus de mayor preocupación el de la hepatitis A y los calcivirus (Campos, 2005).

Las aguas de origen doméstico contienen alta carga microbiana, se encuentran diferentes microorganismos que están presentes en el intestino del hombre, llamados “flora intestinal normal” y los microorganismos patógenos que en el intestino producen enfermedades de diferentes tipos (Ortiz *et al.*, 1994).

##### ✓ ***Salmonella***

*Salmonella* es un género de bacterias que pertenece a la familia Enterobacteriaceae, formado por bacilos gramnegativos, anaerobios facultativos, con flagelos peritricos que rodean al microorganismo y no desarrollan cápsula ni espora. Son bacterias móviles que producen sulfuro

De hidrógeno ( $H_2S$ ).

✓ **Coliformes totales y fecales**

La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos. El grupo coliforme está formado por los siguientes géneros:

- ✓ *Escherichia*
- ✓ *Klebsiella*
- ✓ *Enterobacter*

No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por tanto, los *coliformes totales* que comprende la totalidad del grupo y *coliformes fecales* aquellos de origen intestinal. (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009)

Dickerson (2000), señala la potencialidad de los lodos residuales como abonos orgánicos, debido a la gran carga de organismos patógenos y parásitos para el hombre, no pueden ser utilizados en hortalizas. Algunos de los organismos patógenos y parásitos que se encuentran presentes en los lodos residuales se mencionan en la tabla 4.

**Tabla 4: Principales grupos de organismos patógenos y parásitos contenidos en los lodos residuales**

GRUPO	AGENTES	EFEECTO EN LA SALUD
Bacterias	<i>Salmonella Typhi</i> <i>Salmonella paratyphi A y B</i> <i>Shigella sp</i> <i>Vibrio cholerae</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella sp.</i>	Fiebre tifoidea, paratifoidea Disentería bacilar Cólera Gastroenteritis agudas diarreas Diarreicas Hepatitis Poliomelitis
Virus	<i>Virus hepatitis A y E</i> <i>Virus de la Polio</i> <i>Virus de Norwalk</i> <i>Rotavirus</i> <i>Enterovirus</i> <i>Adenovirus</i>	Gastroenteritis aguda y diarreas Meningitis Enteritis Infecciones respiratorias
Protozoa	<i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i> <i>intestinales</i>	Disentería amebiana Gastroenteritis. Cisticercosis
Helmintos	<i>Taenia saginata</i> <i>Ascaris lumbricoides</i> <i>Tricheuris trichiuria</i> <i>Toxocara spp</i>	Ascariasis Tricocefalosis o tricuriasis Toxoplasmosis

Fuente: Dickerson, 2000

#### ✓ Huevos de helmintos

Los Huevos de Helmintos son un grupo de organismos que incluyen nematodos, trematodos y cestodos y todos los gusanos parásitos (de humanos, animales o vegetales) de forma libre, con forma y tamaño variado (Lituma, 2010). Representan un elevado riesgo a la salud humana debido a que son altamente persistentes en el agua contaminada y lodos crudos (huevos embrionados o larvas), en elevadas concentraciones y afectando al suelo y vegetación en donde se reúsan estos productos ya sea en forma de riego o como acondicionador del suelo convirtiéndose en una fuente directa de contaminación, por lo que ha surgido como una alternativa la técnica de desinfección y a su vez es necesario evaluar la eficiencia de la remoción de estos parásitos en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. (León, 2002).

En estudios realizados en diferentes países de América Latina, se han encontrado concentraciones altas de huevos de helmintos en muestras de

biosólido; se estima que el rango de huevos de helmintos oscila entre 70 y 3000 HH/L en aguas y lodos residuales en lo referente a los países en vía de desarrollo, mientras que en países como Estados Unidos es de 1 a 8/L (Bedoya *et al.*, 2013).

**Tabla 5: Concentración de huevos de helmintos presentes en lodos residuales en diferentes países**

País/ Región.	Huevos de helmintos en aguas residuales. (huevos/litros)	Huevos de helmintos en lodos residuales. (huevos/gr. ST)
México	6 a 98 aumentando a 330 en zonas pobres.	73-177
Brasil	166-202	75
Egipto	-----	Media 7, Máximo 735
Ghana	-----	76
Marruecos	840	-----
Jordán	300	-----
Ucrania	60	-----
Estados Unidos	1-8	2-13
Francia	9	5-7
Alemania	-----	<1
Inglaterra	-----	<6

Fuente: Pineda, 2010

### 2.2.6 Tratamiento de los lodos residuales

Los métodos de tratamientos de lodos pueden estar orientados fundamentalmente a conseguir dos fines bien diferenciados. Por un lado, la existen una serie de tratamientos que llevan a cabo una estabilización de los biosólidos, es decir, los someten a un tratamiento que da lugar un producto adecuado para su utilización posterior, reduciendo su capacidad de fermentación y la presencia de organismos patógenos. Los procesos de tratamientos de lodos pueden, en general, dividirse en dos grandes categorías, procesos de estabilización de los lodos y procesos de reducción/eliminación del componente orgánico de los mismos (Mahamud *et al.*, 1996).

La tecnología de tratamiento para lodos residuales generados en las PTAR en Estados Unidos y Europa se realiza utilizando alguno de los siguientes cuatro procesos (Oropeza, 2006):

### 2.2.6.1 Tratamiento físico

#### ✓ **Espesamiento**

El espesamiento se emplea para concentrar el contenido sólido de los lodos mediante la eliminación en parte de su fracción líquida, consiguiendo una disminución importante en su volumen. Esta operación suele llevarse a cabo mediante procedimientos físicos que incluyen el espesamiento por gravedad, flotación, centrifugación y filtro de banda por gravedad (Cortez, 2003 citado por García, 2011).

#### ✓ **Desecado**

El desecado consiste en la remoción de agua del lodo tanto como sea posible, reduciendo el volumen a tratar en operaciones subsecuentes. La técnica se basa en la evaporación y percolación natural o en la aplicación de medios mecánicos como filtros, centrifugas, canchas de secado y lagunaje. En el caso de los biosólidos se requiere un acondicionamiento previo antes de desaguarlos (Cortez, 2003 citado por García, 2011).

### 2.2.6.2 Tratamiento químico

#### ✓ **Acondicionamiento químico**

En este tratamiento se reduce la humedad del lodo desde un 90-99% a un 65-85% dependiendo de la naturaleza de los sólidos a tratar. Esto permite la coagulación de los sólidos y la alteración de agua absorbida por lo cual se efectúa antes de las operaciones de deshidratación. Entre los productos químicos más utilizados para este acondicionamiento se encuentra el cloruro férrico, la cal, el aluminio y los polímeros orgánicos. Su dosificación debe ser en forma líquida, por lo cual algunos reactivos requieren ser previamente disueltos antes de su incorporación (Cortez, 2003 citado por García, 2011).

#### ✓ **Estabilización con óxido de calcio o cal**

La estabilización con cal consiste básicamente en aumentar y mantener el lodo a pH 12 mediante la adición de cal. A consecuencia de ello, no se degradará la materia orgánica contenida en los biosólidos, no se generarán olores y se combatirá la existencia de microorganismos patógenos. Existen dos métodos de estabilización con cal, uno se realiza antes de la deshidratación y otro después de ella. Para la estabilización se suele utilizar cal viva y cal hidratada (Cortez, 2003 citado por García, 2011; Oropeza, 2006).

### 2.2.6.3 Tratamiento Térmico

#### ✓ Secado térmico

Este proceso permite eliminar el agua mediante la aplicación de calor extremo. El producto resultante contiene prácticamente todo el material sólido y su contenido de humedad es del orden del 5 al 10% (Cortez, 2003 citado por García, 2011; Oropeza, 2006).

#### ✓ Incineración

Este proceso consiste en la combustión de los biosólidos, con la cual se destruyen los materiales orgánicos volátiles aprovechando el poder calorífico generado de estos materiales, minimizando la utilización de combustible externo (Cortez, 2003 citado por García, 2011) La incineración es un proceso térmico en el cual se realiza la oxidación química de los biosólidos con cantidades estequiometrias de oxígeno en exceso. Los productos finales incluyen gases calientes de combustión (nitrógeno, anhídrido carbónico y vapor de agua) y los lodos se convierten en ceniza (García Oropeza, 2006)

#### ✓ Oxidación por vía húmeda

Es un proceso que consiste en la oxidación del lodo crudo por vía humedad a presión y a temperaturas elevadas entre (175 y 360) proceso genera como residuos gases líquidos y cenizas. Los líquidos y las cenizas se reciclan para calentar los lodos y luego se extraen ya estabilizados en forma separada para ser enfriados (Cortez, 2003 citado por García, 2011)

#### ✓ Pasteurización

Consiste en un tratamiento térmico de los lodos que ocurre a 70°C durante 30 minutos, permitiendo inactivar las larvas y huevos de los parásitos. Su práctica es obligatoria en Europa, no así en México (Mahamud *et al.*, 1996; Cortez, 2003 citado por García, 2011)

### 2.2.6.4 Tratamiento biológico

#### ✓ Digestión anaeróbica

La digestión anaerobia es actualmente una de las técnicas más utilizadas en el campo y en la industria para disminuir considerablemente los olores y mejorar la capacidad fertilizante del biosólido haciendo uso de su alto contenido de materia orgánica, nitrógeno, fosforo y micronutrientes, aportando grandes

beneficios en la agricultura y en actividades de recuperación de tierras degradadas (Rodríguez, 2010).

Es un proceso de fermentación natural, conocido por el hombre desde tiempo atrás, pero poco utilizado, especialmente en América Latina. Ocurre en ausencia de oxígeno (sin aire) al interior de un biodigestor, aparato que facilita el crecimiento y la proliferación de un grupo de bacterias anaeróbicas metanogénicas, que descomponen y tratan los residuos dejando como resultado final, un gas combustible conocido como biogás; además, de un efluente rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada llamado "biol". Esta tecnología de tratamiento anaerobio ha sido desarrollada como método para biodegradar residuos sólidos y líquidos, entre ellos se encuentran el estiércol porcino, pulpa de café, cachaza aguas residuales del café vinaza de destilería (Rodríguez, 2000).

Es uno de los procesos en el que la degradación de la materia orgánica ocurre en ausencia de oxígeno y genera biogás. Existen diversos métodos de digestión anaerobia entre las cuales destacan las siguientes (Mahamud *et al.*, 1996)

- ✓ Digestión convencional que se realiza en el intervalo mesófilo de temperaturas, entre los 30 y 38°C
- ✓ Digestión de una fase y carga alta, proceso que difiere del anterior por que la carga de sólidos en los lodos es mucho mayor y no se produce una separación de biosólidos y de sobrenadante.
- ✓ Digestión en dos fases, que consiste en una acción combinada entre un digestor de alta carga y un estanque, que sirve para almacenar lodos formando un sobrenadante clarificado.
- ✓ Digestión anaeróbica termofílica, que se produce a la temperatura situada entre los 50 a 70°C, proporcionando condiciones adecuadas para la actividad de bacterias termofílicas (Flotats *et.al*, 2001).

Montalvo & Guerrero (2003), reportan algunas ventajas y desventajas de la digestión anaerobia las cuales se muestran en el Tabla 6:

**Tabla 6: Ventajas y desventajas de la digestión anaerobia.**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Reducción del contenido de sólidos	Costos de inversión altos
El biogás producido es un gas combustible energético.	Falta de experiencia en el diseño y construcción de digestores anaerobios para lodos residuales.
Baja producción de biomasa alrededor del 10 % o menores.	Largos tiempos de estabilización del sistema.
Bajo requerimiento de nutrientes	El proceso es sensible a la temperatura, ubicación geográfica y tipo de material de fabricación del biorreactor.
Bajo consumo de energía eléctrica por no requerir aireación.	
Reducción en el número de patógenos	

Fuentes: Montalvo & Guerrero, 2003

#### ✓ **Digestión aeróbica**

Corresponde a la estabilización de los lodos residuales mediante el suministro de aire (oxígeno), obteniéndose como producto anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>) y agua (no genera biogás). Es aplicable a biosólidos, mezcla de biosólidos con lodos primarios y lodos no desarenados (Cortez, 2003 citado por García, 2011; Oropeza-García, 2006).

La Tabla 7, muestra las principales ventajas y desventajas de la utilización de la digestión aerobia, para la estabilización de lodos residuales secundarios, donde los costos energéticos no hacen rentable este sistema para el tratamiento de lodos

**Tabla 7: Ventajas y desventajas de la digestión aerobia**

Ventajas	Desventajas
<p>La reducción de sólidos volátiles en un digestor aerobio es aproximadamente igual a la obtenida en condiciones anaerobias.</p> <p>Producción de humus sin olor, biológicamente estable como producto final.</p> <p>La operación es sencilla (generalmente son sistemas automatizados).</p>	<p>Alto costo de energía asociado al suministro de oxígeno requerido</p> <p>El proceso se ve afectado por la temperatura, ubicación geográfica, geometría del tanque, concentración de sólidos en la alimentación, el tipo de mezcla y del dispositivo de aireación.</p> <p>Los costos de operación y mantenimiento son altos</p>

Fuente: Metcalf y Eddy, 2003

✓ **Compostaje**

El compostaje es la descomposición biológica de materia orgánica en condiciones aeróbicas. Los objetivos de compostaje son reducir los agentes patógenos por debajo de los niveles permisibles, degradar los sólidos volátiles, y elaborar un producto útil; la reducción de patógenos es una función del tiempo y la temperatura. El compost de lodos es una manera de cumplir el reglamento de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América que se basan en la reducción de patógenos (EPA 2003).

El compostaje consiste en la descomposición aerobia por parte de bacterias y hongos de la materia orgánica existente en el fango deshidratado, con formación de un nuevo producto. Para ello se lleva a cabo la mezcla del lodo deshidratado con un agente de textura o material soporte, que sirve para proporcionar porosidad y permitir la circulación de aire en el interior de la masa. Este material de soporte también suele actuar como fuente suplementaria de carbono para las reacciones biológicas. El biosólido compostado de forma

técnicamente correcta, genera un humus higiénico, libre de olores y de sustancias patógenas, por lo cual se puede utilizar como mejorador de suelos (Grajales et al., 2006; Oropeza, 2006; Ozores & Mendez, 2010). El compostaje de biosólidos garantiza un producto con pH entre 6.5 y 8.0 que favorece el crecimiento de las plantas, reduce la movilidad de metales pesados (EPA, 1999), por lo que después del composteo estos materiales pueden ser usados benéficamente como condicionadores de los suelos (Torres *et al.*, 2007).

#### ✓ **Vermiestabilización**

La vermiestabilización es un proceso de descomposición aerobio de bioxidación y estabilización de los diversos residuos orgánicos a través de la acción descomponedora conjunta de lombrices y microorganismos, que lo convierten en un material humificado y mineralizado (Grajales et al., 2006; Durán & Henríquez, 2007).

La vermiestabilización es una tecnología basada en la cría intensiva de lombrices para la producción de humus de lombriz, también denominado vermicompost, a partir de diversos sustratos orgánicos. Este es un proceso de descomposición natural, similar al composteo termofílica, en el cual los materiales orgánicos, además de ser atacados por los microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos, levaduras, etc.) existentes en el medio natural, también son por el complejo sistema digestivo de las lombrices. En el intestino de las lombrices ocurren procesos de fraccionamiento, desdoblamiento, síntesis y enriquecimiento enzimático y microbiano, lo cual tiene como consecuencia un aumento significativo en la velocidad de degradación y mineralización del residuo, obteniendo un producto de alta calidad (Cardoso, 2002). El vermicompostaje de residuos orgánicos a través de la actividad de las lombrices (*Eisenia foetida*), ha resultado ser un método exitoso para el tratamiento de lodos y aguas residuales para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo mejorando la disponibilidad de diferentes elementos nutritivos.

#### **2.2.7 Manejo de los lodos residuales**

La selección de alguno de estos procesos para la estabilización de un lodo en particular depende de varios factores, tales como: la cantidad y calidad de

lodos a tratar, las condiciones particulares del sitio y, la situación financiera en cada caso. En muchos países, la utilización del lodo requiere de una infraestructura costosa, pero con fines justificados, ya que soluciona problemas de contaminación e incorpora nutrientes reciclando elementos vitales en los ciclos biológicos naturales; además de convertir un residuo peligroso en un recurso aprovechable y no peligroso. Así, la denominada gestión de excelencia destina cada residuo a su tratamiento: reciclaje, composteo, incineración y vertedero. Como ejemplo, el Plan de Residuos (Oropeza, 2006)

Uno de los aspectos ambientales y económicos más importantes en el tratamiento de aguas residuales es el relacionado con el manejo de los lodos resultantes. En principio, los residuos pueden ser clasificados en tres categorías: aprovechables, no aprovechables y peligrosos. En todos los casos se debe asegurar que el medio de recolección y transporte sea el adecuado y, adicionalmente, los sitios temporales de almacenamiento sean apropiados para impedir la contaminación de los suelos y/o de las aguas subterráneas (Martínez, 2015).

#### **2.2.6.1 Aprovechables**

La mayoría de los lodos provenientes de los procesos de tratamientos aerobios y anaerobios provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, una vez estabilizados, pueden ser utilizados con vermicompostaje, compostaje (como abonos y acondicionadores, así como restauradores de suelo) y generación de energía (sustitución parcial de combustibles en altos hornos y en procesos de incineración). Dentro de ellos se incluyen los lodos inorgánicos inertes de operaciones de desarenado y de sedimentación, que pueden ser utilizados como relleno y nivelación de terreno o en la preparación de materiales con base en arcilla y sílice como ladrillos y concretos. (Martínez, 2015).

#### **2.2.6.2 No Aprovechables**

En esta categoría, son lodos que son generados en los sistemas de sedimentación primaria, los retenidos por cribado grueso y fino de las PTAR, sustancias relativamente inertes que debido a los altos costos que implica su recuperación no pueden ser reutilizados (Martínez, 2015)

### 2.2.6.3 Peligrosos.

Son aquellos que contienen materiales y sustancias que pueden causar daño a la salud humana o al medio ambiente y que deben ser dispuestos en sitios especiales con las medidas adecuadas de seguridad. En los procesos de la PTAR ameritan una atención especial los corrosivos (los lodos con pH extremos que se pueden generar en procesos de refinación o en remoción de metales pueden afectar el medio ambiente) y los tóxicos (los lodos de tratamiento biológico).

Estos residuos deben ser previamente neutralizados y, si contiene metales pesados o sustancias orgánicas potencialmente tóxicas, deben ser ubicados en un relleno especial bien sea de carácter municipal o privado en donde se garantice su total confinamiento y un tratamiento adecuado de los lixiviados (Martínez, 2015)

Como ejemplo, el Plan de Residuos de Holanda, fija objetivos del 30% de reciclaje, 30% de compostaje, 30% de recuperación de energía y el 10% de vertido como residuo no aprovechable. En Viena, el esquema es de 50% de valorización energética, 29% de reciclaje, 12% de compostaje y 9% de vertido. Tabla 8, se exponen el manejo que se le da a los lodos residuales en algunos países.

**Tabla 8: Manejo de lodos residuales en diferentes países**

País	Manejo de lodos
Europa, Australia, Estados Unidos y otros países	Los lodos especialmente tratados se aplican como fertilizantes en tierras agrícolas,
España	Son utilizados en la agricultura previo tratamiento ya que se considera que es el destino más adecuado desde el punto de vista ambiental y económico. Se estudia la aplicación de lodos residuales en el control de filtraciones de productos fitosanitarios al acuífero.
Dinamarca	La gran parte de los lodos estabilizados se usan como fertilizantes en tierras laborales.
Chile	Conforme a su legislación sobre lodos residuales que deben ser tratados y dispuestos de manera adecuada para prevenir impactos negativos al ambiente.
Argentina	Se han instrumentado plantas de compostaje para su posterior aplicación como biosólidos en la agricultura.
México	En la Norma Oficial Mexicana para lodos y biosólidos, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes contenidos para su aprovechamiento y disposición final

Fuente: Oropeza, 2006

### 2.2.8 Biosólido

Los biosólidos son un producto originado después de un proceso de estabilización de lodos orgánicos provenientes del tratamiento de las aguas residuales. La estabilización se realiza para reducir su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores. Gracias a este proceso, el biosólido tiene aptitud para utilización agrícola y forestal, y para la recuperación de suelos degradados (Dágner, 2003).

Los biosólidos son definidos por la EPA como “residuos sólidos, semisólidos o líquidos generados durante el tratamiento de aguas servidas domiciliarias. Los biosólidos incluyen las escorias ó sólidos removidos durante el tratamiento primario, secundario o avanzado del proceso de tratamiento de aguas servidas

y cualquier material derivado de los lodos, excepto las gravillas o cenizas generadas durante el proceso de incineración”(EPA, 1994)

En la legislación peruana existe una resolución ministerial 024-2017-Vivienda la cual norma para el reaprovechamiento de los lodos residuales (Ministerio de vivienda Perú).

### .2.2.9 Clasificación de los biosólidos.

La Norma 503 de la (EPA) en función del contenido de patógenos clasifica los biosólidos en:

- ✓ **Biosólido Clase A.** Suelen llamarse de calidad excepcional. Presentan una densidad de coliformes fecales inferior a 1000 NMP por gramo de sólidos totales o la densidad de *Salmonella spp.* es inferior a 3NMP por 4 gramos de sólidos totales. y los huevos viables de helmintos inferiores a 1 por 4 gramos de sólidos totales. Un biosólido con estos niveles que además tenga tratamiento para reducir vectores, no tendrá restricciones en su aplicación agraria y sólo será necesario solicitar permisos para garantizar que estas normas hayan sido cumplidas.

Lodo sin restricciones sanitarias para aplicación a suelo. En este punto, la EPA es más específica, al denominarlos “Exceptional Quality Biosolids (EQ) ó Biosólidos de Calidad Excepcional, que son aquellos biosólidos que son poco contaminantes y tienen reducción de patógenos Clase A (virtual ausencia de patógenos) y que han reducido el nivel de componentes degradables que atraen vectores (EPA, 1994)

- ✓ **Biosólido Clase B.** Con una densidad de coliformes fecales inferior a  $2 \times 10^6$  NMP por gramo de sólidos totales o  $2 \times 10^6$  UFC por gramo de sólidos totales. Este tipo de biosólidos deberá recibir tratamiento y será el que mayores restricciones presenta para uso agrícola.

Lodo apto para aplicación al suelo, con restricciones sanitarias de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos. La EPA los denomina como “Pollutant Concentration Biosolids” (PC) y los

define como aquellos biosólidos que también logran los mismos bajos límites de concentración de contaminantes que los EQ, pero sólo logran una reducción de patógenos Clase B y/o están sujetos a la administración

Además , la citada regla que rige el uso y eliminación de biosólidos establece límites cuantitativos relativos al contenido de metales presentes en ellos, normas de reducción de agentes patógenos, restricciones a los sitios de aplicación, condicionantes y supervisión de recolección de cultivos tratados, mantenimiento de registros y requerimientos de presentación de informes sobre biosólidos aplicados a la tierra, así como disposiciones similares para los que se desechan en rellenos sanitarios. Los biosólidos que se incineran tienen que satisfacer las normas relativas al contenido de metales y las disposiciones sobre emisiones que liberan al medio ambiente, incluidas las disposiciones de las Leyes de Aire Limpio. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos conocida como La EPA cuenta con la reglamentación más completa sobre tratamiento y disposición de biosólidos (tablas 9 y 10), por ende, ha servido como punto de partida para las reglamentaciones de algunos países latinoamericanos como México y Chile, Colombia y hoy las decisiones que se toman sobre estos en Perú, también se basan en lo establecido por este ente rector

**Tabla 9: Clasificación de los biosólidos de acuerdo al contenido de patógenos por EPA 503 y comparación con países de América Latina**

País	Clase A	Clase B	Clase C
Argentina	Escherichia coli < 1000 NMP/gr ST Salmonella sp. < 3 NMP/4gr ST Reducción 99,9% densidad bacteriofago somático de E. coli	E. coli < 2.000.000 NMP/gr MS	
Brasil	Coli fecal < 1000 NMP/gr ST Salmonella sp. Ausencia en 10gr.ST	Coli fecal < 1.000.000 NMP/gr ST Ova helmíntica < 10 HH/gr ST	
Chile	Coli fecal < 1000 NMP/gr ST ó Salmonella sp. < 3 NMP/4 gr ST (1) Ova helmíntica < 1 HH/4 gr ST (2)	C. fecal < 2.000.000 NMP/gr ST (3)	
Colombia	Salmonella sp. Ausentes en 25 gr de producto final Enterobacterias totales < 1000 UFC/gr producto final		

México	Coli fecal < 1000 NMP/gr ST	Coli fecal < 1000 NMP/gr ST	Coli fecal < 1000 NMP/gr ST
	Salmonella sp. < 3 NMP/gr ST	Salmonella sp. < 3 NMP/gr ST	Salmonella sp. < 3 NMP/gr ST
	Ova helmíntica < 1 HH/gr ST	Ova helmíntica < 10 sp. < 300 NMP/gr ST	Ova helmíntica < 10 sp. < 300 NMP/gr ST
EPA 503	Coli fecal < 1000 NMP/gr ST ó	Coli fecal < 1000 NMP/gr ST ó	Coli fecal < 1000 NMP/gr ST ó
	Salmonella sp. < 3 NMP/4 gr ST	Salmonella sp. < 3 NMP/4 gr ST	Salmonella sp. < 3 NMP/4 gr ST
	(1) Ova helmíntica < 1 HH/4 gr ST (4)	(1) Ova helmíntica < 1 HH/4 gr ST (4)	(1) Ova helmíntica < 1 HH/4 gr ST (4)

- (1) Requerimiento alternativo a Coli fecal
  - (2) Puede demostrar cumplimiento de este requisito mediante la aprobación de operación de algunos de los métodos PRFP
  - (3) Alternativamente puede demostrar cumplimiento de este requisito mediante aprobación de operación de métodos PRSP
  - (4) Debe demostrar cumplimiento en caso que no aplique procesos térmicos o de temperatura-pH. Alternativamente puede aplicar procesos PRFP.
- Fuente: Mena Patri María Pía (2008).

**Tabla 10: Contenido de metales máximos permisibles en mg/ kg (base seca) en los biosólidos de acuerdo a EPA 503 y comparación de valores con países de América Latina**

Meta	Argentina	Brasi	Chile		Colombia		México		EPA 503	
			Agr.(a)	Degr.(b)	(c)	(d)	Exc	Bueno	A	B
As	75	41	20	40	41	15	41	75	41	75
Ba		1300								
Cd	20 a 40	39	8	40	39	0.7	39	85	39	85
Cu	1000 a 1750	1500	1000	1200			1500	4300	1500	4300
Cr	1000 a 1500	1000			1200	70	1200	3000	1200	3000
Hg	16 a 25	17	10	20	17	1	17	57	17	57
Mo		50								
Ni	300 a 400	420	80	420	420	25	420	420	420	420
Pb	750 a 1200	300	300	400	300	140	300	840	300	840
Se		100	50	100					36	100
Zn	2500 a 4000	2800	2000	2800			2800	7500	2800	7500

- (a) Suelos con severas limitaciones agrícolas
- (b) Suelos degradados
- (c) Abono orgánico mineral: Mezcla de abonos minerales y lodos de tratamiento de aguas residuales, contiene porcentajes mínimos de materia orgánica.

Fuente: Mena Patri María Pía (2008).

En la tabla 10. Se observan que los países: Colombia y México se adecuan estrictamente a la norma de EPA 503, en cambio Chile es más exigente que las normas EPA 503

Los principales productos del proceso de digestión anaerobia, son el biogás y un efluente estabilizado, llamado biosólido estabilizado.

Según los decretos establecidos en los países se deben tener en cuenta los valores máximos y los valores máximos permisibles de Químicos - Metales en los biosólidos, estos varían según el reglamento de cada país, en el Perú se aprobó la Resolución Ministerial 024-2017- Vivienda la cual pone los parámetros de re-aprovechamiento de lodos residuales de las PTAR en la Tabla 11

**Tabla 11: Valores Máximos Permisibles en biosólidos según la RM-2017-Vivienda**

COMPONENTES	UNIDAD	503 EPA		Peruano RM-024- 2017- VIVENDA CLASE A Y B
		CLASE A	CLASE B	
<b>Metales</b>				
<b>Arsénico</b>	mg/Kg	41	75	40
<b>Cadmio</b>	mg/Kg	39	85	40
<b>Cromo</b>	mg/Kg	1200	3000	1200
<b>Mercurio</b>	mg/Kg	17	57	17
<b>Níquel</b>	mg/Kg	420	420	400
<b>Plomo</b>	mg/Kg	300	840	400
<b>Selenio</b>	mg/Kg	36	100	-----
<b>Zinc</b>	mg/Kg	2800	7500	2400
<b>Cobre</b>	mg/Kg	1500	4300	1500
<b>Molibdeno</b>	mg/Kg	-----	75	-----
<b>microbiológico</b>				
<b>Salmonella sp</b>	NMP	<3NMP/4g	-----	<1NMP/10g
<b>Coliformes fecales</b>	NMP	<1000NMP/ g	< 2x10 <sup>6</sup> NMP/g	<1000NMP/ g
<b>Huevos de helmintos</b>	HH	<1HH/4g	-----	<1HH/4g

Fuentes EPA 1993 – RM 024-2017-Vivienda

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

El desarrollo de la presente investigación se realizó en el laboratorio de Especies Acuáticas de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno (UNA- Puno), ubicada en la Provincia de Puno, Departamento: de Puno con Coordenadas 8250182 N, 391242 E y zona 19L

#### 3.2 MATERIALES, INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y REACTIVOS

##### 3.2.1 Materia Prima

La materia prima para la realización del proyecto de investigación fue los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de la ciudad de Juliaca de la región de Puno.

##### 3.2.2 Instrumentos

- ✓ 01 Sensor de pH inalámbrico marca Pasco- PS-3204
- ✓ 06 Termómetro -10 a +110 °C marca Boeco
- ✓ 01 Termómetro digital JR-1 (-50°C a +550°C) marca Benetech
- ✓ 01 Sensor Conductímetro inalámbrico c/datalogger marca Pasco - PS-3210
- ✓ 01 Sensor de temperatura inalámbrico (-40 a 125 °C) c/datalogger Pasco - PS-3201
- ✓ 01 Termocupla (-180 a 1370°)
- ✓ 08 Matraces kitazatos de 1L pírex marca Kyntel

##### 3.2.3 Materiales

- ✓ 02 baldes de 20 L marca pasis
- ✓ 01 flexómetro 5m/16” marca Stanley
- ✓ 12 recipientes de polipropileno con capacidad de 1 kg
- ✓ 01 Pala muestreadora de acero fundido
- ✓ 01 Cuchara de acero Inox
- ✓ 01 Espátula de 2” acero Inox
- ✓ 01 Caja de guantes de Nitrilo
- ✓ 01 Caja de barbijo (mascarilla de un solo uso) 3M
- ✓ 01 lentes de seguridad transparentes 3 M
- ✓ 02 Tibet de polipropileno de un solo uso

- ✓ 01 Mascarilla siliconado con filtro para gases 3M
- ✓ 01 Caja de tecnopor
- ✓ 05 Cintas de embalaje de polipropileno
- ✓ 08 Llaves de paso ½" de bronce
- ✓ 08 Mangueras transparentes de ½" de polipropileno
- ✓ 08 Tampones de jebe
- ✓ 06 Cintas de teflón
- ✓ 02 Picetas
- ✓ 06 Focos Philips de 60 W
- ✓ 01 Gel pack mantiene temperaturas -4°C
- ✓ 01 Cuaderno de campo
- ✓ 02 Lapiceros (azul y rojo)

### 3.2.4 Equipos

- ✓ 01 Multiparametro digital Sparck Science marca Pasco Scientific
- ✓ 02 Incubadoras de madera recubierto con tecnopor
- ✓ 01 Cámara fotográfica digital
- ✓ 02 Incubadora
- ✓ 01 GPS marca Garmin
- ✓ 01 medidor de temperatura

### 3.2.5 Reactivos

- ✓ 02 Galones de Aguas destilada
- ✓ 02 Botellas de Alcoholes de 1L

## 3.3 UBICACIÓN DE ESTUDIO

La ubicación del presente estudio de investigación es la laguna de estabilización de aguas residuales de la ciudad de Juliaca de la región de Puno.

- ✓ Ubicación:

Provincia: San Román

Distrito: Juliaca

Departamento: Puno

Coordenadas: 8286663 N, 378372 E altura y zona 19L

### 3.3.1 Extensión y características

La ciudad de Juliaca capital de la Provincia de San Román, está ubicada a 35 km al noroeste del Lago Titicaca, en la parte central de la región Puno y la meseta del Collao. Es la más poblada de la región con 225146 habitantes, el 96% urbana. La principal actividad económica es el comercio que es una de las más dinámicas del sur del Perú y el mayor de la región Puno (ALT 2006).

Las lagunas de estabilización se encuentran en el sector de Chilla, cercano al botadero (ECO INGENIA S.A.), cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales en base a lagunas de estabilización y humedales, construida en el año 1980. Las lagunas están conectadas a una red de 08 cámaras de bombeo que se conectan a un caisson principal que bombea las aguas residuales a través de una tubería de 24 pulgadas de diámetro. El pre tratamiento consiste en una cámara de rejillas para la separación de sólidos. El tratamiento primario se realiza en 08 lagunas de estabilización con una superficie de 01 hectárea y una profundidad de 2.63 m cada una. El proceso de estabilización es durante las 24 horas del día, luego descarga al río Coata a través de un tramo de 4 km del cauce del río Torococha, donde ocurre el tratamiento secundario mediante totorales dentro del cauce. Las aguas residuales con tratamiento primario se mezclan con las aguas no tratadas que discurren por el río a través del cauce del Torococha. Las lagunas presentan acumulación de lodos residuales (ALT 2006), mientras SEDA Juliaca S.A informa que más de 80 mil metros cúbicos de lodo tiene que ser removidos, la Planta fue diseñado para recibir una carga no mayor de 100 L/s, actualmente se tiene el exceso de carga de aguas residuales en entrada ya que estas lagunas reciben un caudal no menor de 260 L/s (SEDA JULIACA S.A, 2018)



**Figura 1: Ubicación de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca**

Fuente: Google maps, 2018 - ECO INGENIA S.A.

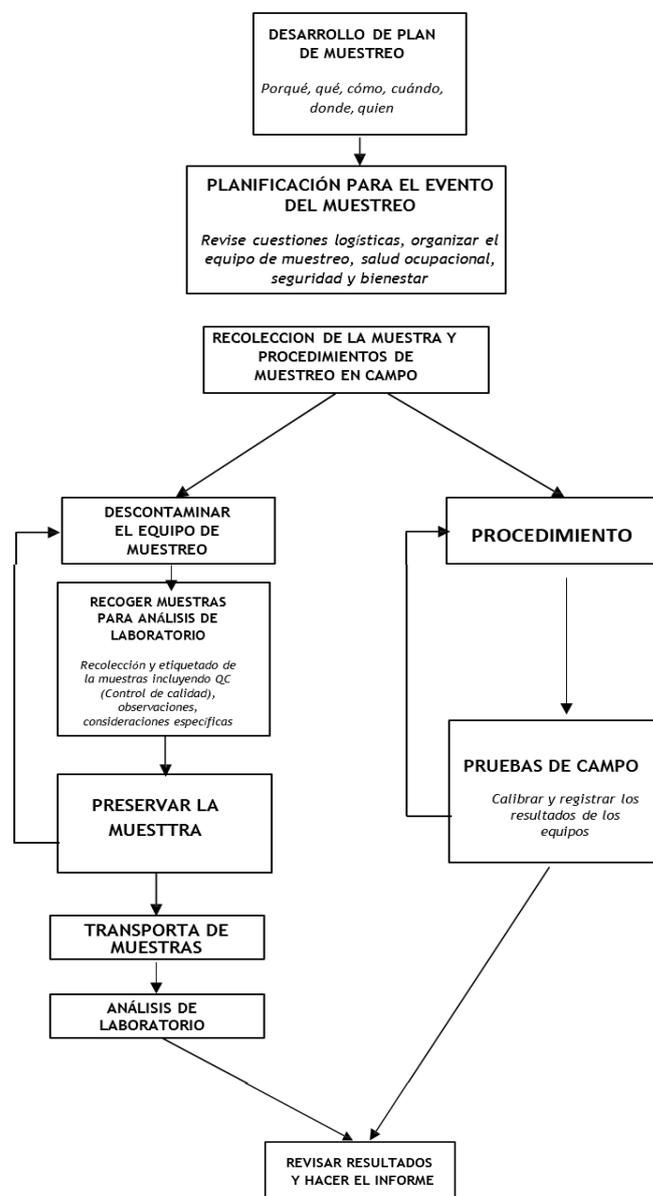
### **3.4 MÉTODO EXPERIMENTAL**

#### **3.4.1 Determinación de los parámetros microbiológicos, parasitológico y contenido de metales de los lodos residuales frescos de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca.**

Para alcanzar el primer objetivo específico planteado en el presente trabajo de investigación se siguió los siguientes procedimientos

- ❖ Muestreo de los lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca

- ❖ Para el desarrollo de la toma de muestra de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca la cual se basó en la guía de muestreo del EPA en la figura N° 2 se presenta el protocolo de muestreo para los lodos residuales



**Figura 2: Protocolo de muestreo de lodos residuales**

Fuente: (Ducan, Harvey, Walker, & EPA, 2007), ( U.S. Environmental Protection Agency, 1989), (U.S. Environmental Protection Agency, 2014) (William, Telliard, Chief, Analysis and Analytical Support Branch, & USEPA Office of Water Regulations and Standards, 1989), (Ministerio del Ambiente, 2014)

El muestreo se realizó en cuatro (04) puntos de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca Figura N° 3, el primer punto fue el afluente, el segundo punto fue el lado lateral derecho, el tercer punto fue al frente del afluente y el cuarto punto fue a lado lateral izquierdo.



**Figura 3: Puntos de muestreo de los lodos residuales de la laguna de estabilización - Juliaca**

Fuente: Google Maps, 2018 Elaboración propia

Se ha tomado un aproximado de 12 kg de lodo residual de los 04 puntos (en cada punto puntual se tomó 3kg) con la ayuda de una pala muestreadora y una cuchara de acero Inox, puesto en un recipiente de polipropileno de una capacidad de 01 Kg y sellado con cinta de embalaje y puestos en una caja de tecnopor debidamente rotulados y refrigerados. Cabe indicar se geo referenció los puntos de muestreo de los lodos residuales Tabla N° 12.

**Tabla 12: Puntos de muestreo de la laguna de estabilización de la ciudad**

Puntos de muestreo	Afluente	Lado lateral derecho	Frente del Afluente	Efluente
<b>Código</b>	MJ-1	MJ-2	MJ-3	MJ-4
<b>Coordenadas UTM</b>	N 8286432 E 0382010	N 8286370 E 0382096	N 8286327 E 0382034	N 8286392 E 0381990
<b>Altitud (m.s.n.m)</b>	3824	3824	3824	3824
<b>Profundidad (m)</b>	0.8	1.01	1.15	0.9
<b>Hora de muestreo (h)</b>	06:00	06:05	06:10	06:15

**de Juliaca - Puno**

Fuente: Elaboración propia datos tomados en el campo - 2018

- ❖ Envío de muestras de lodos residuales a hacer analizados por laboratorios

Para la determinación de los parámetros microbiológicos, parasitológico y de metales de los lodos residuales frescos de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca se envió a los siguientes laboratorios acreditados por INACAL (Anexo)

- ✓ Para su determinación de Microbiológico (Coliformes Fecales y *Salmonella* sp.) en NMP/g y Parasitológico (Huevos de Helminetos) en HH/4g Según (LAS, 2018) “Recolectar la muestra directamente en los frascos de vidrio de 500 ml demarcado como “MB”. Sacar la tapa juntamente con el capuchón de papel, como una unidad; evitando exponer o tocar por dentro la tapa rosca del frasco, para ello se debe mantener boca abajo” se sugiere el frasco, llenado solo las  $\frac{3}{4}$  partes del frasco o 400 ml. Cerrar el frasco colocando la tapa juntamente con el capuchón de papel. Se envió al laboratorio Analíticos del Sur (LAS) Arequipa – Perú (Anexo)
- ✓ Para su determinación de metales pesados (Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Plomo, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Selenio y Zinc), en mg/Kg (LAS, 2018) indica “Recolectar las muestras aproximadamente 500g en las bolsas ziploc, se cierran herméticamente y posteriormente se colocará en las otras bolsas y se amarra de manera tal que no haya contaminación de la muestra “se envió al laboratorio Envirotest Environmental Testing Laboratory S.A.C Lima – Perú (Anexo)

### **3.4.2 Determinación de los parámetros microbiológicos, parasitológico y contenido de metales del biosólido de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca.**

Para alcanzar el segundo objetivo específico planteado en el presente trabajo de investigación se siguió los siguientes procedimientos

- ❖ Proceso de digestión anaerobia termofílica de los lodos residuales

Para el desarrollo del proceso de digestión anaerobia termofílica (55°C - 65°C) se utilizó 01 incubadoras de madera de dimensiones: 1m x 1m x 1m recubierta de tecnopor interiormente con 03 focos de 60 W para que emitan y distribuyan el calor internamente, además, 01 Termocupla para controlar la

temperatura (°C) junto con su controlador de temperatura (exterior), también, se colocó 03 termómetros de mercurio ubicados en la parte superior y dos colocados dentro de la incubadora (izquierda-derecha), interiormente se colocó los 04 biodigestor con los lodos residuales (600g) para el tratamiento mediante el proceso de digestión anaerobio termofílico de los lodos residuales con un tiempo de retención de 30 días, éstos biodigestor son los matraces kitazatos de una capacidad de 1 litros cada uno de los cuales, que se encuentra sellado en la parte superior por una tapa de goma con empaque y cinta de teflón para evitar el ingreso de oxígeno durante el proceso, dispone de una salida para el biogás que se genera (manguera transparente con su llave de paso), el mezclado de los biodigestores se realiza manualmente. En la figura N°4 se muestra la incubadora junto con el proceso de digestión anaerobia termofílica



**Figura 4: Proceso de digestión anaerobia termofílica**

Fuente Elaboración Propia

- ❖ Envío de muestras de biosólido para ser analizados por laboratorios

Para la determinación de los parámetros microbiológicos, parasitológico y de metales del biosólido se envió a los siguientes laboratorios acreditados por INACAL (Anexo)

- ✓ Para su determinación de Microbiológico (Coliformes Fecales y *Salmonella* sp.) en NMP/g y Parasitológico (Huevos de Helminths) en HH/4g Según (LAS, 2018) "Recolectar la muestra directamente en los

frascos de vidrio de 500 ml demarcado como “MB”. Sacar la tapa juntamente con el capuchón de papel, como una unidad; evitando exponer o tocar por dentro la tapa rosca del frasco, para ello se debe mantener boca abajo” se sugiere el frasco, llenado solo las  $\frac{3}{4}$  partes del frasco o 400 ml. Cerrar el frasco colocando la tapa juntamente con el capuchón de papel. Se envió al laboratorio Analíticos del Sur (LAS) Arequipa – Perú (Anexo)

- ✓ Para su determinación de metales pesados (Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Plomo, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Selenio y Zinc), en mg/Kg (LAS, 2018) indica “Recolectar las muestras aproximadamente 500g en las bolsas ziploc, se cerrar herméticamente y posteriormente se colocará en las otras bolsas y se amarra de manera tal que no haya contaminación de la muestra “se envió al laboratorio Envirotest Environmental Testing Laboratory S.A.C Lima – Perú (Anexo)

#### **3.4.2 Determinación de la cantidad de macronutrientes (N, P, K.), Materia Orgánica y humedad presentes en el biosólido de los lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca.**

Para alcanzar el tercer objetivo específico planteado en el presente trabajo de investigación se siguió el siguiente procedimiento

- ❖ Envío de muestras de biosólido para ser analizados por laboratorios

Para la determinación de la cantidad de macronutrientes (N, P, K.), Materia Orgánica y humedad presentes en el biosólido se envió al siguiente laboratorio acreditados por INACAL (Anexo)

- ✓ Para su determinación del (N, P, K), Materia Orgánica y humedad presentes (LAS, 2018) indica “Muestrear aproximadamente 500g en las bolsas ziploc, se cerrar herméticamente y posteriormente se colocará en las otra bolsas y se amarra de manera tal que no haya contaminación de la muestra se envió al laboratorios Analíticos del Sur (LAS) Arequipa – Perú (Anexo)

Los resultados obtenidos del biosólido serán comparados con la norma EPA 40 CFR 503 y la Resolución Ministerial 024-2017- Vivienda se describe en la

tabla N° 14 tabla de microbiológico y parasitológico y la tabla N° 13 de metales presentes en los biosólidos.

**Tabla 13: Contenido de metales del biosólido estabilizado según la norma**

COMPONENTES	SIMBOLO	UNIDAD	503 EPA(a)		Peruano
			CLASE A	CLASE B	RM-024-2017-VIVENDA(b)
					CLASE A Y B
<b>Arsénico Total</b>	<b>As</b>	mg/Kg	41	75	40
<b>Cadmio Total</b>	<b>Cd</b>	mg/Kg	39	85	40
<b>Cromo Total</b>	<b>Cr</b>	mg/Kg	1200	3000	1200
<b>Mercurio Total</b>	<b>Hg</b>	mg/Kg	17	57	17
<b>Níquel Total</b>	<b>Ni</b>	mg/Kg	420	420	400
<b>Plomo Total</b>	<b>Pb</b>	mg/Kg	300	840	400
<b>Selenio Total</b>	<b>Se</b>	mg/Kg	36	100	NL
<b>Zinc Total</b>	<b>Zn</b>	mg/Kg	2800	7500	2400
<b>Cobre Total</b>	<b>Cu</b>	mg/Kg	1500	4300	1500
<b>Molibdeno Total</b>	<b>Mo</b>	mg/Kg	NL	75	NL

40 CFR parte 503 de EPA y la RM 024-2017- Vivienda

NL: no tiene límite

Fuentes: (a) EPA 40 CFR 503, (b) Resolución Ministerial 024-2017- Vivienda

**Tabla 14: Contenido en microbiológicos y parasitológico del biosólido estabilizado según la norma 40 CFR parte 503 de EPA y la RM 024-2017- Vivienda**

COMPONENTES	UNIDAD	503 EPA(a)		Peruano
		CLASE A	CLASE B	RM-024-2017-VIVENDA (b)
				CLASE A Y B
<b>Coliformes Fecales</b>	NMP/g	<10 <sup>3</sup>	<2x 10 <sup>6</sup>	<10 <sup>3</sup> (*)
<b>Salmonella sp.</b>	NMP/g	<3/4	-----	<1/10
<b>Huevos de Helminthos</b>	HH/g	<1/4	-----	<1/4

\**Escherichia coli*

Fuentes: (a) EPA 40 CFR 503, (b) Resolución Ministerial 024-2017- Vivienda

En la Tabla N° 15 se muestra los parámetros físico químico, microbiológico y parasitológico a determinar y los métodos analíticos a utilizar para la muestra de lodos residuales frescos y los biosólidos

**Tabla 15: Métodos analíticos a utilizar para la muestra de lodos residuales y los biosólidos**

Variable	Unidad	Técnica de medición
pH	upH	7023 Determinación de pH 1:2 potenciometría en suelos
Humedad	%	7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad 70 °C
Materia orgánica	%	7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica – Fotometría en suelos y sedimentos
Nitrógeno	mg/kg	7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación- Fotometría en suelos y sedimentos
Fósforo	mg/kg	7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES
Potasio	mg/kg	7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES
<b>Contenido de metales</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	7022 EPA 200.7 Determinación de Mercurio en Suelos y sedimentos(Lixiviación Acida) por ICP -
Cromo(Cr)	mg/kg	7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES
Mercurio(Hg)	mg/kg	7004 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES
Molideno(Mo)	mg/kg	7005 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES
Níquel (Ni)	mg/kg	7006 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES

Plomo(Pb)	mg/kg	7007 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES
Selenio(Se)	mg/kg	7008 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES
Zinc (Zn)	mg/kg	7009 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES

---

**Microbiológico y parasitológico**


---

Coliformes fecales	NMP/g	7070 Numeración de Coliformes Fecal ISO 4831:2006
<i>Salmonella</i> sp.	NMP/g	7114 Detección de Salmonella: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part -9260 B
Huevos de helmintos	HH/g	7020 Recuento Huevos y larvas de Helmintos patógenos

---

Fuente: Laboratorios Envirotest Environmental Testing Laboratory S.A.C Lima – Perú, 2018 y laboratorios Analíticos del Sur (LAS) Arequipa – Perú, 2018.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 5.1 Determinación de los parámetros microbiológicos, parasitológico y contenido de metales de los lodos residuales frescos de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca.

Después del muestreo de los lodos residuales y los análisis fueron realizados en los laboratorios Analíticos del Sur (LAS) Arequipa – Perú y Envirotest Environmental Testing Laboratory S.A.C Lima – Perú, los resultados se muestran en la siguiente tabla N°16

**Tabla 16: Determinación de parámetros microbiológicos y parasitológico de lodos residuales frescos de la Laguna de estabilización de la ciudad de**

COMPONENTES	UNIDAD	MUESTRAS INICIALES DE LODOS RESIDUALES				
		MJ-1	MJ-2	MJ-3	MJ-4	Promedio
Salmonella	NMP/g	<3	<3	<3	<3	<3
Coliformes Fecales	NMP/g	24x10 <sup>7</sup>	93x10 <sup>5</sup>	24x10 <sup>6</sup>	24x10 <sup>6</sup>	74.325x10 <sup>6</sup>
Huevos de Helmintos	HH/4g	1	0	0	1	0.5

**Juliaca**

Fuente: Elaboración Propia

En el presente trabajo de investigación se encontró un promedio de Salmonella <3NMP/g y Coliformes fecales 74.325x10<sup>6</sup> NMP/g estos resultados son comparados con (Marquina y Martínez, 2016) encontró en los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Antonio de Carapongo Lima- Perú contiene Coliformes Fecales 0.23x10<sup>6</sup> NMP/10g, (0.23x10<sup>7</sup>) y *Salmonella* sp presencia, lo cual es superior de los que encontraron ellos debido a la presencia de mayor heces fecales, mientras el autor Atencio *et al.*, (2011) informa que encontró Coliformes fecales 140 NMP/g, salmonella sp. 6 NMP/g. en el lodo residual seco de la planta de tratamiento de aguas residuales de Puente Piedra – Lima, la cual es inferior a nuestro resultados de nuestra investigación y también. Blanco (2014) informa que la Evaluación de lodos

residuales de la PITARNL – México tiene las siguientes características coliformes fecales <300 NMP/g, *salmonella* sp. <3 NMP/g.

Bermeo & Idrovo (2014) informa que los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba – Ecuador tiene Huevos de helmintos 31.12 HH/g, estos resultados son superiores a los encontrados por nosotros con un promedio de 0.5 HH/4g, así mismo, los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Antonio de Carapongo Lima-Perú de huevos de helmintos 0.004HH/g (Marquina y Martínez, 2016) estos resultados son inferiores reportados por el presente estudio y Blanco (2014) informa que la Evaluación de los lodos residuales de la PITARNL – México contiene huevos de helmintos 0 HH/g. la cual es inferior.

**Tabla 17: Determinación de contenido de metales en los lodos residuales frescos**

COMPONENTES	UNIDAD	MUESTRAS INICIALES DE LODOS RESIDUALES				
		MJ-1	MJ-2	MJ-3	MJ-4	Promedio
<b>Arsénico</b>	mg/Kg	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
<b>Cadmio</b>	mg/Kg	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
<b>Cromo</b>	mg/Kg	2.49	3.14	5.69	2.50	3.455
<b>Mercurio</b>	mg/Kg	4.43	4.32	11.43	3.73	5.978
<b>Níquel</b>	mg/Kg	12.00	11.47	13.01	9.30	11.445
<b>Plomo</b>	mg/Kg	59.13	50.26	59.74	42.31	52.86
<b>Selenio</b>	mg/Kg	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
<b>Zinc</b>	mg/Kg	505.00	801.5	947.40	922.30	794.05
<b>Cobre</b>	mg/Kg	96.77	117.50	156.10	107.10	119.368
<b>Molibdeno</b>	mg/Kg	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18

Fuente: Elaboración Propia

El promedio de los metales presentes en la investigación se obtuvieron arsénico (As) 0.40 mg/Kg, cadmio (Cd) 0.016 mg/Kg, cromo (Cr) 3.455 mg/Kg, mercurio (Hg) 5.978 mg/Kg, níquel (Ni) 11.445 mg/Kg, plomo (Pb) 52.86 mg/Kg, selenio (Se) 0.40 mg/Kg, zinc (Zn) 794.05 mg/Kg, cobre (Cu) 119.368 mg/Kg y molibdeno 0.18 mg/Kg, mientras que en Bermeo & Idrovo (2014) encontró los siguientes metales en los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba – Ecuador cobre (Cu) 238 mg.kg<sup>-1</sup>, zinc (Zn) 969 mg.kg<sup>-1</sup>, cromo (Cr) 364 mg.kg<sup>-1</sup>, níquel (Ni) 45 mg.kg<sup>-1</sup>, plomo (Pb) 129 mg.kg<sup>-1</sup> y cadmio (Cd) 4.2 mg.kg<sup>-1</sup> en dicha investigación se observa que

contiene mayor concentración respecto a nuestro trabajo de investigación, así también, (Marquina y Martínez, 2016) informa que la caracterización de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Antonio de Carapongo Lima- Perú tiene la siguiente composición arsénico (As) 7.1 mg/Kg, cadmio (Cd) 6.8 mg/Kg, cobre (Cu) 783 mg/Kg, mercurio (Hg) 8.45 mg/Kg, níquel (Ni) 85 mg/Kg, plomo (Pb) 633 mg/Kg, zinc (Zn) 727 mg/Kg, selenio (Se) 5.3 mg/Kg y molibdeno (Mo) 6.4 mg/Kg. La cual indica que su concentración de metales es mayor, con excepción del zinc que es inferior de nuestro trabajo de investigación, los lodo residual seco de la planta de tratamiento de aguas residuales de Puente Piedra - Lima tiene las siguiente elementos químicos arsénico (As) 16.00 mg/kg, mercurio (Hg) 0.725 mg/kg, plomo (Pb) 49.6 mg/kg, cadmio (Cd) 2.00 mg/kg y cromo (Cr) 12,4 mg/kg (Atencio *et al.*, 2011) las cuales se encuentra el mercurio y el plomo son inferiores su concentración y los demás metales tiene un valor elevando respecto a nuestro trabajo de investigación, así mismo, Blanco (2014) encontró algunos metales en los lodos residuales de la PITARNL – México lo siguientes arsénico (As) 5 mg/Kg, cadmio 2 mg/Kg, zinc (Zn) 633.6 mg/Kg, cobre (Cu) 117.1 mg/Kg, cromo (Cr) 21.02 mg/Kg, mercurio (Hg) 0.65 mg/Kg, níquel (Ni) 13.6 mg/Kg, plomo (Pb) 28.8 mg/Kg por lo cual los metales de As, Cd, Cr, Ni tienen un concentración alta y el Zn, Cu, Hg y Pb tienen concentraciones bajas respecto a nuestro resultados de nuestro trabajo de investigación

## **5.2 Determinación de los parámetros microbiológicos, parasitológico y contenido de metales del biosólido de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca.**

Después del muestreo de los biosólidos y los análisis fueron realizados en los laboratorios Analíticos del Sur (LAS) Arequipa – Perú y Envirotest Environmental Testing Laboratory S.A.C Lima – Perú, los resultados se muestran en la siguiente tabla N°18

**Tabla 18: Determinación de parámetros microbiológicos y parasitológico del biosólido**

COMPONENTES	UNIDA D	MUESTRA FINAL DE LODOS RESIDUALES (BIOSOLIDO)				PROMEDI O
		MJ-1	MJ-2	MJ-3	MJ-4	
<i>Salmonella</i> sp.	NMP/g	<3	<3	<3	<3	<3
Coliformes Fecales	NMP/g	<3	<3	<3	<3	<3
Huevos de Helmintos	HH/4g	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

En el presente trabajo de investigación se obtuvieron los siguientes resultado microbiológicos *Salmonella* sp. <3 NMP/g y Coliformes Fecales <3 NMP/g mientras que (Villafuerte, 2014) informa que el biosólido obtenido de los lodos sedimentados de la bahía interior de Puno- Lago Titicaca contiene Coliformes fecales <0.3 NMP/g estos resultados son inferiores del presente trabajo de investigación, además Moreno (2014), indica que los biosólidos obtenidos por la digestión de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Bosque Urbano de Torreón presenta la cantidad de Coliformes Fecales 14 NMP/g la cual es superior a los encontrado en el trabajo, así también, Los biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando, Itagüí Antioquia – Colombia contiene Coliformes fecales  $7.8 \times 10^5$  NMP/g. (Bedoya *et al.*, 2013), con la cual es superior a los resultados del trabajo de investigación. El contenido parasitológico según (Villafuerte, 2014) informa que el biosólido obtenido de los lodos sedimentados de la bahía interior de Puno- Lago Titicaca contiene huevos de Helmintos 3HH/4g, también, Quintana (2012) del biosólido producido por la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Cañaveralejo en la ciudad de Cali-Colombia tiene Huevos de helmintos 8HH/g así también, Torres *et al.*, (2009), en los estudios realizados a los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en la Escuela de Antioquía – Colombia obtuvieron que el biosólido contiene huevos de helmintos 7 HH/g estos superan a los resultado obtenidos en la investigación que es de Huevos de Helmintos 0 HH/4g, así mismo Alonso *et al.*, (2015) informa que el biosólido obtenido por digestión anaeróbica de la planta de tratamiento de

aguas residuales de la industria ubicada en Orizaba, Veracruz (México) contiene 0 HH/g de Huevos de Helmintos TS, Además, Moreno (2014), los biosólidos obtenidos por la digestión de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Bosque Urbano de Torreón contiene 0 HH/g de huevos de helmintos por lo que estos resultados son iguales obtenidos en el presente trabajo de investigación.

**Tabla 19: Determinación de contenido de metales en los biosólidos**

COMPONENTES	UNIDAD	MUESTRA BIOSOLIDO				
		MJ-1	MJ-2	MJ-3	MJ-4	PROMEDIO
<b>Arsénico</b>	mg/Kg	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
<b>Cadmio</b>	mg/Kg	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
<b>Cromo</b>	mg/Kg	0.23	0.23	0.55	0.23	0.62
<b>Mercurio</b>	mg/Kg	4.93	14.07	26.78	5.26	12.76
<b>Níquel</b>	mg/Kg	12.77	12.47	11.82	11.03	12.023
<b>Plomo</b>	mg/Kg	38.59	50.24	42.35	39.56	42.685
<b>Selenio</b>	mg/Kg	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
<b>Zinc</b>	mg/Kg	593.7	1000	1000	978.5	893.05
<b>Cobre</b>	mg/Kg	81.8	138.1	141.3	127.4	122.15
<b>Molibdeno</b>	mg/Kg	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18

Fuente: Elaboración Propia

En el presente trabajo de investigación se obtuvieron los siguientes resultados de metales arsénico (As) 0.40 mg/Kg, cadmio (Cd) 0.016 mg/Kg, cromo (Cr) 3.455 mg/Kg, mercurio (Hg) 5.978 mg/Kg, níquel (Ni) 11.445 mg/Kg, plomo (Pb) 52.86 mg/Kg, selenio (Se) 0.40 mg/Kg, zinc (Zn) 794.05 mg/Kg, cobre (Cu) 119.368 mg/Kg y molibdeno 0.18 mg/Kg, los resultados son comparables con los reportados por (Vásquez & Vargas, 2018) El biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales municipio de Funza, tiene el siguiente arsénico (As) 9 mg/Kg, cadmio 5.10 mg/Kg, zinc (Zn) 1182 mg/Kg, cobre (Cu) 457 mg/Kg, cromo (Cr) 723 mg/Kg, mercurio (Hg) 4 mg/Kg, Níquel (Ni) 387 mg/Kg, plomo (Pb) 47 mg/Kg, selenio (Se) 9 mg/Kg, estos resultados tiene mayor concentración con excepción del mercurio que se encuentra en una concentración baja respecto a los resultados del trabajo de investigación, así también, Los biosólidos de aguas residuales urbanas de Quibú presentó niveles de cobre (Cu), zinc (Zn), cromo (Cr), níquel (Ni) y plomo (Pb), se encuentran con las siguientes concentraciones 337.67 mg.kg<sup>-1</sup>, 135.0 mg.kg<sup>-1</sup>, 79.37 mg.kg<sup>-1</sup>, 59.5 mg.kg<sup>-1</sup> y <

5 mg.kg<sup>-1</sup> (Utria *et al.*, 2006), los metales de Hg, Se, se encuentran con baja concentración y los demás metales tienen valores altos respecto a los resultados obtenidos, según (Villafuerte, 2014) informa que el biosólido obtenido de los lodos sedimentados de la bahía interior de Puno- Lago Titicaca la contratación de metales arsénico (As) 41.04 mg/Kg, cadmio (Cd) 8.06 mg/Kg, cromo (Cr) 16.65 mg/Kg, mercurio (Hg) 1.61 mg/Kg, níquel (Ni) 12.69 mg/Kg, plomo (Pb) 417.77 mg/Kg, selenio (Se) 0.1 mg/Kg y zinc (Zn) 2573 mg/Kg los metales de Hg y Se se encuentra con baja concentración y los otros metales contienen una alta concentración respecto al trabajo de investigación, Moreno (2014), los biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Bosque Urbano de Torreón contiene arsénico (As) 0.4 mg/Kg, cadmio (Cd) 0.4 mg/Kg, cobre (Cu) 6 mg/Kg, mercurio (Hg) 0.02 mg/Kg, níquel (Ni) 4 mg/Kg, plomo (Pb) 1 mg/Kg y zinc (Zn) 20 mg/Kg, y Rodríguez (2016) caracterizo el biosólido proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre Bogotá – Colombia tiene cobre (Cu) 0.4 mg/Kg, plomo (Pb) 0.09 mg/Kg, cromo (Cr) 0.09 mg/Kg, y zinc (Zn) 110.6 mg/Kg y Chávez y Loaiza (2014) Los biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR salitre – México tiene plomo (Pb) 15.4 mg/kg, cadmio (Cd) 0.6 mg/kg y cromo (Cr) 18.9 mg/kg, se encuentran con concentraciones bajas en comparación con los resultados obtenidos en la presenta investigación, el biosólido procedente de la planta de tratamiento del Centro de Investigaciones en Bioelementos (CIBA) por digestión anaerobia tiene cobre (Cu) 4.27 mg.kg<sup>-1</sup>, zinc (Zn) 15.4 mg.kg<sup>-1</sup>, cromo (Cr) 7.31 mg.kg<sup>-1</sup>, níquel (Ni) 0.90 mg.kg<sup>-1</sup>, plomo (Pb) 21.9 mg.kg<sup>-1</sup> y cadmio (Cd) 0.7 mg.kg<sup>-1</sup> según Negrín & Peña, (2012) en comparación con el resultado obtenido en la investigación se encontró que los metales de Cu, Zn, Ni, y Pb se encuentra con mayor concentración y Cr y Cd con menor concentración, el autor (Gonzales *et al.*, 2009) Caracterizó los biosólidos obtenidos por el proceso de digestión anaerobia de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales localizada en la ciudad de Puebla – México contiene cadmio (Cd) 4.4 mg/Kg, cromo (Cr) 16.7 mg/Kg, cobre (Cu) 173.4 mg/Kg, níquel (Ni) 49.7 mg/Kg, plomo (Pb) 170.9 mg/Kg y zinc (Zn) 234.9 mg/Kg contiene una concentración baja con excepción de Zn respecto a lo obtenido en el proyecto de investigación, así también, el biosólido generado en la PTAR del Niágara de la ciudad de aguas calientes - México conteniendo de cadmio (Cd) 47.8 mg/Kg, cobre (Cu) 258 mg/Kg, níquel (Ni) 45 mg/Kg, plomo (Pb) 70.45

mg/Kg y zinc (Zn) 2905 mg/Kg según Robledo (2012) en comparación con los resultados obtenidos del proyecto de investigación tiene una concentración elevada, según Rámila & Rojas (2008), informan de la composición de los biosólidos obtenidos de la planta de tratamiento de aguas servidas de La Farfana - Chile se hallaron arsénico (As) 7 mg/Kg, Cadmio 2 mg/Kg, zinc (Zn) 1.414 mg/Kg, cobre (Cu) 422 mg/Kg, mercurio (Hg) 2 mg/Kg, Níquel (Ni) 43 mg/Kg, plomo (Pb) 66 mg/Kg y selenio (Se) 3 mg/Kg en comparación con lo obtenido en el proyecto de investigación los metales contienen concentraciones elevadas con excepción de Zn y Hg.

### 5.3 Determinación de la cantidad de macronutrientes (N, P, K.), Materia Orgánica y humedad presentes en el biosólido de los lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca.

Después del muestreo del biosólido obtenido fueron enviados a realizar en los laboratorios Analíticos del Sur (LAS) Arequipa – Perú y Envirotest Environmental Testing Laboratory S.A.C Lima – Perú, los resultados se muestran en la siguiente tabla N°20

**Tabla 20: Determinación de contenido de macronutrientes (NPK)**

COMPONENTE S	UNIDAD	MUESTRA DEL BIOSOLIDO					PROMEDI O	%
		MJ-1	MJ-2	MJ-3	MJ-4			
<b>Nitrógeno</b>	mg/Kg	14607	20322	23384	26148	21115.25	2.1	
<b>Fosforo</b>	mg/Kg	3850	5141	5225	5320	4884	0.5	
<b>Potasio</b>	mg/Kg	1464	1745	1670	1858	1684.25	0.2	

Fuente: Elaboración Propia

En la presente investigación se obtuvieron en promedio los siguientes resultados nitrógeno (N) 21115.25 mg/Kg (2.1%), fósforo 4884 mg/Kg (0.5%) y Potasio 1684.25 mg/Kg (0.2%) estos resultados son comparados con el autor Villafuerte, (2014) informa que el biosólido obtenido de los lodos sedimentados de la bahía interior de Puno- Lago Titicaca contiene nutrientes esenciales como nitrógeno (N) 4331 mg/Kg, fósforo (P) 2214.70 mg/Kg y potasio (K) 2000 mg/Kg, además, Potisek *et al.*, (2010) indica que biosólidos obtenidos del proceso de tratamiento de aguas residuales de la planta tratadora perteneciente al club

Campestre La Rosita Torreón – México tiene nitrógeno total (N) 1.74 %, fosforo disponible (P) 715 mg/kg y potasio disponible (K) 931 mg/kg, también, los lodos residuales procedentes de una planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Córdoba - España, teniendo la siguiente composición pH 7.76, nitrógeno (N) 1436 mg/Kg y fosforo (P) 4765 mg/Kg según Gonzáles (2015), igualmente, Chávez y Loaiza (2014) Los biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR salitre – México, tiene las siguiente características pH 5.7, nitrógeno (N) 0.013%, fosforo (P) 0.03 %, potasio (K) 0.03 % , estos resultados son con menor concentración respecto a los resultados obtenidos en la investigación, sin embargo, Utria *et al.*, (2006) Los biosólidos de aguas residuales urbanas de Quibú presentó niveles de nitrógeno (N) 2.6%, fósforo (P) 1.35% y potasio (K) con 0.76%, así también, Bedoya et al., (2013), informa que los biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando, Itagüí Antioquia - Colombia, promedio de Nitrógeno (N) 2.5 %, Fósforo (P) 2 %, Potasio (K) 0.66 %, igualmente, el biosólido producido por la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Cañaveralejo en la ciudad de Cali- Colombia que tiene los siguientes componentes pH 6.7, nitrógeno (N) 2.73 %, fosforo (P) 1.35 %, potasio (K) 0.18 % según (Quintana 2012), contiene mayor concentración de macronutrientes respecto al trabajo de investigación, otros autores como Del Pino et al., (2012), realizo la evaluación de biosólidos producidos por digestión anaerobia de residuos agroindustriales nitrógeno (N) 2.0 %, fosforo (P) 0.64 %, potasio (K) 0.20 % estos resultados comparado con los resultados obtenidos en el presente investigación el fosforo se encuentra con mayor porcentaje, así también, Rodríguez (2016) caracterizo el biosólido proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre Bogotá – Colombia presentando la siguiente composición pH 7.2 , nitrógeno (N) 2.87 %, fósforo (P) 343.7 mg/Kg, potasio (K) 594 mg/Kg comparado con los resultados obtenido en la investigación el nitrógeno se encuentra mayor cantidad.

**Tabla 21: Determinación de contenido de Humedad y Materia Orgánica del biosólido**

COMPONENTES	UNIDA D	MUESTRA DEL BIOSOLIDO				
		MJ-1	MJ-2	MJ-3	MJ-4	PROMEDIO
<b>Materia orgánica</b>	%	36.9	47	52	56.1	48
<b>Carbón orgánico</b>	%	21.4 0	27.2 6	30.16	32.5 4	27.84
<b>Humedad</b>	%	70.2	75.4 2	69.94	70.0 9	71.413

Fuente: Elaboración Propia

En el presente trabajo de investigación tiene en promedio los siguientes resultados 48 % de materia orgánica, carbón orgánico de 27.84 % y 71.41 % de Humedad estos resultados son comparados con Vásquez & Vargas, (2018) El biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales municipio de Funza, tiene la siguiente composiciones humedad (H) de 14.5 %, materia orgánica (MO) de 22.4 % , también, Utria *et al.*, (2006) Los biosólidos de aguas residuales urbanas de Quibú presentó niveles de materia orgánica (MO) 42.35, del mismo modo, Alonso *et al.*, (2015) El biosólido obtenido por digestión anaeróbica de la planta de tratamiento de aguas residuales de la industria ubicada en Orizaba, Veracruz (México) contiene materia orgánica (MO) 0.92 %, así también, Potisek *et al.*, (2010) presenta la composición química del biosólido obtenidos del proceso de tratamiento de aguas residuales de la planta tratadora perteneciente al club Campestre La Rosita Torreón – México son las siguientes pH 7.07, conductividad eléctrica (C.E) 5.68 dS/m, materia orgánica (MO) 23 %, según Rodríguez (2016) caracterizo el biosólido proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre Bogotá – Colombia presentando la siguiente composición pH 7.2, conductividad eléctrica (C.E) 2.14 dS/m, materia orgánica (MO) 20.86 %, según Torres *et al.*, (2009), informa que los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en la Escuela de Antioquía – Colombia, llegaron a caracterizar los biosólidos generados en Cañaveralejo – Cali, con el siguiente resultado: pH 6.71 ; humedad 68.17 %; materia orgánica (MO) 26.63% y Quintana (2012) Caracterizo el biosólido producido por la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Cañaveralejo en la ciudad de Cali-Colombia que tiene los siguientes componentes pH 6.7, humedad (H) 67.9 %, estos resultados tienen menor porcentaje comparado con

los resultados obtenidos, sin embargo, Rámila & Rojas (2008), informan de la composición de los biosólidos obtenidos de la planta de tratamiento de aguas servidas de La Farfana - Chile se hallaron el contenido de materia orgánica (MO) 59% estos resultados tienen mayor porcentaje comparados con los resultados obtenidos en la investigación.

La evaluación del biosólidos en comparación con las normas EPA 503 40 CFR y las Resolución Ministerial RM-024-2017-Vivienda se presenta en la siguiente tabla 22.

**Tabla 22: Comparación con las normas EPA 503 40 CFR y las Resolución Ministerial RM-024-2017-Vivienda**

COMPONENTE S	UNIDA D	503 EPA(a)		Peruano RM-024- 2017- VIVENDA(b)	BIOSOLIDO DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIO N DE LA CIUDAD DE JULIACA
		CLASE	CLASE	CLASE A Y	
		A	B	B	
<b>Arsénico</b>	mg/Kg	41	75	40	0.4
<b>Cadmio</b>	mg/Kg	39	85	40	0.02
<b>Cromo</b>	mg/Kg	1200	3000	1200	0.62
<b>Mercurio</b>	mg/Kg	17	57	17	12.76
<b>Níquel</b>	mg/Kg	420	420	400	12.023
<b>Plomo</b>	mg/Kg	300	840	400	42.685
<b>Selenio</b>	mg/Kg	36	100	NL	0.4
<b>Zinc</b>	mg/Kg	2800	7500	2400	893.05
<b>Cobre</b>	mg/Kg	1500	4300	1500	122.15
<b>Molibdeno</b>	mg/Kg	NL	75	NL	0.18
<b>Coliformes Fecales</b>	NMP/g	<10 <sup>3</sup>	<2x 10 <sup>6</sup>	<10 <sup>3</sup>	<3
<b>Salmonella sp.</b>	NMP/g	<3/4	-----	<1/10	<3
<b>Huevos de Helmintos</b>	HH/g	<1/4	-----	<1/4	0

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar que no sobre pasa los límites establecidos por 503 EPA parte 40 CFR y la Resolución Ministerial RM-024-2017-Vivienda; Por lo tanto, podemos indicar que el biosólido obtenido es de Calidad Excepcional que se clasifica como Biosólido de clase A

## V. CONCLUSIONES

El proceso de digestión anaerobia termofílica (55°C - 65°C) con un tiempo de retención de 30 días permitió obtener biosólidos que se pueden clasificar como Clase A. según la EPA 503 de la parte 40 CFR y según la resolución del ministerio de Vivienda RM 024 -2017-vivineda

- ✓ Se obtuvieron los resultados en los lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca tienen una composición de: Coliformes Fecales de  $74.325 \times 10^6$  NMP/g, *Salmonella* sp. de  $<3$  NMP/g, Huevos de Helmintos de 0.5 HH/4g, así mismo metales tales como arsénico (As) 0.40 mg/Kg, cadmio (Cd) 0.016 mg/Kg, cromo (Cr) 3.455 mg/Kg, mercurio (Hg) 5.978 mg/Kg, níquel (Ni) 11.445 mg/Kg, plomo (Pb) 52.86 mg/Kg, selenio (Se) 0.40 mg/Kg, zinc (Zn) 794.05 mg/Kg, cobre (Cu) 119.368 mg/Kg y molibdeno 0.18 mg/Kg
- ✓ Los biosólidos obtenidos se encontraron Coliformes Fecales  $<3$  NMP/g, *Salmonella* sp.  $<3$  NMP/g, Huevos de Helmintos 0 HH/4g y el promedio de los contenido de metales arsénico (As) 0.40 mg/Kg, cadmio (Cd) 0.02 mg/Kg, cromo (Cr) 0.62 mg/Kg, mercurio (Hg) 12.76 mg/Kg, níquel (Ni) 12.023 mg/Kg, plomo (Pb) 42.685 mg/Kg, selenio (Se) 0.40 mg/Kg, zinc (Zn) 893.05 mg/Kg, Cobre (Cu) 122.15 mg/Kg y molibdeno 0.18 mg/Kg
- ✓ La cantidad de macronutrientes (N, P, K), materia orgánica y humedad presentes en el biosólido de los lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca después del proceso de digestión anaerobia termiónica se obtuvieron en promedio Nitrógeno (N) 21115.25 mg/Kg, Fosforo 4884 mg/Kg y Potasio 1684.25 mg/Kg y 48 % de Materia Orgánica, Carbón Orgánico de 27.84 % y 71.41 % de Humedad con un pH de 7.27.
- ✓ El biosólido obtenido corresponde a la clase A según los límites establecidos por 503 EPA parte 40 CFR y la Resolución Ministerial RM-024-2017-Vivienda

## VI. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los resultados de los parámetros del biosólido obtenidos mediante el proceso de digestión anaerobia termófila de lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca, se efectúan las siguientes recomendaciones para trabajos futuros.

- ✓ Se recomienda continuar con la investigación en lodos residuales mediante otro tipo de tecnologías como tratamientos físicos, químicos y biológicos.
- ✓ Se recomienda realizar investigación sobre el efecto fertilizante en cultivos de tallo alto y bajos en la agricultura.
- ✓ Se recomienda realizar investigación en el uso de los biosólidos de para la fabricación de ladrillos y Cerámicos.
- ✓ Se recomienda realizar investigación en diferentes lagunas de estabilización de la región de puno y del país para darle solución a lodos residuales generados por estas.
- ✓ Se recomienda realizar a escala piloto e industrial para el aprovechamiento de los lodos residuales.

## VII. REFERENCIAS

- Alonso Atenodoro, J., Espinoza Ruíz, J. E., Lassman Alvarado, A., Sibaja Martínez, A., Delgadillo Martines, S. ., & Méndez Contreras, J. . (2015). THE ENHANCED ANAEROBIC DEGRADABILITY AND KINETIC PARAMETERS OF PATHOGENIC INACTIVATION OF WASTEWATER SLUDGE USING PRE- AND 1 POST-THERMAL TREATMENTS PART 2.
- Andrade, M., Marcet, P., Reyzábal, M., & Montero, M. (2000). Contenido, evolución de nutrientes y productividad en un suelo tratado con lodos residuales urbanos. *Edafología*, 7(3), 2–29.
- Antonio, M., Méndez, S., Ramón, J., Canepa, L., Aurelio, J., & Olivier, S. (2017). (Recibido noviembre 2015; aceptado junio 2016), 33(1), 109–116. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.10>
- Arévalo, P., & Lituma, P. (2010). Digestión de lodos residuales de las lagunas de oxidación de Ucubamba, Cuenca. *La Granja*, 11(1), 31–35.
- Atencio, F., Matías, R., & Yato, A. (2011a). Aprovechamiento agrícola de lodo generado en la PTAR de Puente Piedra - LIMA POTENTIAL USE IN AGRICULTURE OF SEWAGE SLUDGE FROM PUENTE PIEDRA ' s WASTE WATER TREATMENT PLANT - LIMA, 77(1), 75–85.
- Atencio, F., Matías, R., & Yato, A. (2011b). APROVECHAMIENTO AGRÍCOLA DEL LODO GENERADO EN LA PTAR DE PUENTE PIEDRA - LIMA POTENTIAL USE IN AGRICULTURE OF SEWAGE SLUDGE FROM PUENTE PIEDRA ' s WASTE WATER TREATMENT PLANT - LIMA, 77(1), 75–85.
- Autoridad Nacional del Agua. (2009). Problemática de la disposición final de aguas residuales municipales.
- Bedoya-Urrego, K., Acevedo-Ruíz, J. M., Peláez-Jaramillo, C. A., & Agudelo-López, S. del P. (2013). Caracterización de biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando, Itagüí (Antioquia, Colombia). *Revista de Salud Pública*, 15(5), 778–790.

- Bedoya, K., Peláez, C., Acevedo, J. M., & Agudelo, S. (2013). Caracterización de biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando, Itagüí (Antioquia, Colombia). *Revista de Salud Pública*, 15(5), 778–790. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Bermeo, A., & Idrovo, E. (2014). *APROVECHAMIENTO DE LODOS DESHIDRATADOS GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL COMO AGREGADO PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*. Unoversidad de Cuenca.
- Blanco, P. (2014). Aprovechamiento de lodos residuales para cerrar el ciclo urbano del agua, mejorar la eficiencia energética y reducir los GEI: caso de la PITAR Nuevo Laredo. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 1–103.
- Cardoso, L. (2002). SISTEMA DE VERMIESTABILIZACIÓN PARA PLANTAS DE TRATAMIENTO MUNICIPAL, 1–8.
- Castro Paz, C., Henríquez, O., & Freres, R. (2007). Posibilidades de aplicación de lodos o biosólidos a los suelos del sector norte de la Región Metropolitana de Santiago. *Revista de Geografía Norte Grande*, 45(37), 35–45. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022007000100003>
- Chávez, Á., & Loaiza, X. (2014). Estudio de la movilidad de npk en los biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales ptar salitre, tratados con vermicompostaje.
- Correa, G. (2008). *EVALUACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE SANTA FÉ DE ANTIOQUIA, COLOMBIA*. Universidad de Antioquia.
- Dáguer, G. P. (2003). Gestión de biosólidos en Colombia, 1–7. <https://doi.org/10.1021/nn302204b>
- del Pino, A., Casanova, O., Barbazán, M., Mancassola, V., Rodriguez, J., Arló, L., ... Passeggi, M. (2012). CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE BIOSÓLIDOS PRODUCIDOS POR DIGESTIÓN ANAEROBIA DE

RESIDUOS AGROINDUSTRIALES. *Ciencia Del Suelo*, 30(2), 129–136.

del Pino, A., Casanova, O., Barbazán, M., Mancassola, V., Rodríguez, J., Arló, L., ... Passeggi, M. (2012). Caracterización y evaluación de biosólidos producidos por digestión anaerobia de residuos agroindustriales. *Ciencia Del Suelo*, 30(2), 129–136.

Díaz, A. A., Lorenzo, E. V., & Venta, M. B. (2015). Tratamiento de lodos , generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 46, 1–10.

Dirección General de Asuntos Ambientales, & Ministerio de Vivienda. (2017). RM24-2017.pdf.

Donoso, S., Peña-rojas, K., Pacheco, C., Durán, S., Santelices, R., & Mascaró, C. (2015). The physiological and growth response of *Acacia caven* under water stress and the application of different levels of biosolids, 42(2), 273–283. <https://doi.org/10.4067/S0718-162020150002000013>

EPA. (1992). Environmental Regulations and Technology. 1993.

Espigares G, M.; Pérez López, J. a. (1985). Aguas Residuales: Composicion. *Aguas Residuales. Composición*, 22.

Flotats, X., Campos, E., & Bonmatí, J. P. A. (2001). Digestión anaerobia de purines de cerdo y co-digestión con residuos de la industria alimentaria.

García Oropeza, N. (2006). Lodos residuales : estabilización y manejo. *Caos Conciencia*, 1(figura 1), 51–58. Retrieved from [http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006\\_Vol\\_1/Num\\_1/NO\\_Vol\\_I\\_21-30\\_2006.pdf](http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf)

González, E., Tornero, M., Ángeles, Y., & Bonilla, N. (2009). CONCENTRACIÓN TOTAL Y ESPECIACIÓN DE METALES PESADOS EN BIOSÓLIDOS DE ORIGEN URBANO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(1), 15–22.

González Flores, E., Tornero Campante, M. A., Ángeles Cruz, Y., & Bonilla Y Fernández, N. (2009). Concentracion total y especificaciones de metales

pesados en biosólidos de origen urbano. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 25(1), 15–22.

González, I. (2015). *GENERACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LODOS DE EDAR*. Universidad de Córdoba.

Grajales, S., Monsalve, J., & Castaño, J. (2006). PROGRAMA DE MANEJO INTEGRAL DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA. *Scientia Et Technica ISSN:*, 12(31), 285–290.

Jacqueline, I., Roc, D., Cifuentes, A., & Andr, C. (2010). Seguimiento a Patógenos Presentes En Biosólido Empleado Como Enmienda Para Revegetalizar Un Talud Follow - Up To Pathogens Present in Biosolids Used As Emendation To Reforest, 9(17), 29–40.

Julio Guerrero, I. C., Peláez Jaramillo, C. A., & Molina Pérez, J. (2016). residuales municipales con residuos de alimentos Anaerobic co-digestion of municipal sewage sludge with food waste Avaliação do co-digestão anaeróbica de lodo de esgotos locais com resíduos dos alimentos, 29(1), 63–70. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n1-2016005>

Limon, J. (2013). LOS LODOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ¿PROBLEMA O RECURSO?

LAS (2018), Laboratorio Analíticos del Sur procedimientos de toma de muestras en suelos

Lituma, P. (2010). *Biodigestión anaerobia de lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba*. Universidad Politecnica Salesiana Sede Cuenca.

Marambio, C., & Ortega, R. (2003). Uso potencial de lodos derivados del tratamiento de aguas servidas en la producción de cultivos en Chile. *Revista Agronomía y Forestal UC*, 20, 20–23.

- Martínez, L. (2015). *PROCESO DE GERMINACIÓN CON BIOSÓLIDOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) TRATADOS CON VERMICOMPOSTAJE, CASO ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA, ASOCIADO AL PROYECTO DE INVESTIGACION INV ING 1761 DE VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES UMNG. Journal of applied microbiology. Universidad Militar Nueva Granada.*
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2009). *Caracterización de los lodos de depuradoras generados en España.*
- MORENO, H. D. J. (2014). *CALIDAD DE BIOSÓLIDOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) BOSQUE URBANO DE TORREÓN, COAH. PARA USO AGRÍCOLA. Redvet.*
- Negrin, A., & Jiménez, Y. (2012). EVALUACIÓN DEL EFECTO AGRONÓMICO DEL BIOSÓLIDO PROCEDENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO POR DIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUALES PECUARIOS EN EL CULTIVO DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, 33(2), 13–19.
- Negrín Brito, A., & Jiménez Peña, Y. (2012). Evaluación del efecto agronómico del biosólido procedente de una planta de tratamiento por digestión anaerobia de residuales pecuarios en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, 33(2), 13–19.
- Ozores, M., & Mendez, J. (2010). Uso de Biosolidos en Produccion de Hortalizas. *IFAS Extension*, (August).
- Padilla, P. R. B., Martín, A. M., Barrantes, M. M. D., Maestro, R., De, I., Avda, C. S. C., ... Universidad, D. C. (1992). Estudio cinético comparativo del proceso de digestión anaerobia del alpechín en los intervalos mesofílico y termofílico de temperatura ., 43, 341–346.
- Párraga, A. (2016). *BIOSÓLIDOS PROVENIENTES DE AGUAS RESIDUALES DE UNA PROCESADORA DE PESCADO APLICADOS AL CULTIVO DE MAÍZ (Zea mayz var. INIAP-528) EN LA PROVINCIA DE MANABÍ*. Universidad de Guayaquil.

- Potisek, M. del C., Figueroa, U., González, G., Orona, R., & Jasso, I. (2010). APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS AL SUELO Y SU EFECTO SOBRE CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIMENTOS Soil. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 327–333.
- Potisek Talavera, M. C., González Cervantes, G., Figueroa Viramontes, U., Jasso Ibarra, R., & Orona Castillo, I. (2010). Aplicación de biosólidos al suelo y su efecto sobre contenido de materia orgánica y nutrientes. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 327–333. Retrieved from <http://www.chapingo.mx/terra/?module=resumenes&#38;volumen=28&%2338;numero=4>
- Protection Agency Environmental. (1994). EPA A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule Excellence in compliance through, (September).
- Quintana, J. (2012). *Estudio para la viabilidad técnica de compostaje a partir de biosólido seco proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR- Cañaveralejo Cali*. Universidad de San Buenaventura Cali.
- Ramilla, J., & Rojas, S. (2008). *ALTERNATIVAS DE USO Y DISPOSICIÓN DE BIOSÓLIDOS Y SU IMPACTO EN LAS TARIFAS DE AGUA*. Universidad de Chile.
- Robledo, E. (2012). *Manejo y Uso de Biosólidos en Suelos Agrícolas*. Institucion de enseñanaza e investigación en ciencias agrarias.
- Rodríguez Pérez, Y. (2016). Estudio preliminar de lotes con diferente historial de incorporación de biosólidos provenientes de la PTAR El Salitre en la escombrera El Corzo, Bogotá, 105. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/52900/>
- Rolim, S. (2000). Lagunas de estabilizacion.
- Sc, G. M., Carmen, S., & Castro, P. (2011). *AGROSISTEMAS DE LA PROVINCIA DE MELIPILLA , REGIÓN METROPOLITANA , CHILE* Tesis para optar al Grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental OLIVIA DE LAS MERCEDES HENRÍQUEZ HENRÍQUEZ Directora de

Tesis.

- Silveira, M. L. A., Alleoni, L. R. F., & Guilherme, L. R. G. (2003). Biosolids and heavy metals in soils. *Scientia Agricola*, 60(4), 793–806. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000400029>
- Tavares, J., Moraes de Césare, G., & Aparecida, A. (2010). Water-Dispersible clay in soils treated with sewage sludge. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 34(1), 1527–1534.
- Torres, P., Madera, C., & Silva, J. (2009). Mejoramiento de la calidad microbiológica de biosólido generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista EIA*, (11), 21–37. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=45266810&lang=es&site=ehost-live>
- TORRES, P., MADERA, C., & SILVA, J. (2009). MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE BIOSÓLIDOS GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS. (Spanish). *MICROBIOLOGICAL QUALITY IMPROVEMENT OF BIOSOLIDS FROM DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT PLANTS*. (English), (11), 21–37.
- Torres, P., Pérez, A., Escobar, J., Uribe, I., & Imery, R. (2007). Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Eng Agríc Jaboticabal*, 27(1), 267–275. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000100021>
- Torri, S. I., Correa, R. S., & Renella, G. (2017). Biosolid Application to Agricultural Land a Contribution to Global Phosphorus Recycle: A Review. *Pedosphere*, 27(1), 1–16. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60106-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60106-0)
- Trigoso, M., & Martinez, J. (2016). *OBTENCION DE ABONOS ORGANICOS OBTENCION DE ABONOS ORGANICOS POR MEDIO DE LAS LOMBRICES Eisena foetida A PARTIR DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SAN ANTONIO DE CARAPONGO LIMA-PERU*. Universidad Nacional del Callao.

Utria, E., Reynaldo, I., Cabrera, A., Morales, D., Morúa, A. y, & Álvarez, N. (2006). Caracterización De Los Biosólidos De Aguas Residuales De La Estación Depuradora De Aguas Residuales “Quibú.” *Cultivos Tropicales*, 27(3), 83–87.

Utria, E., Reynaldo, I., Cabrera, A., Morales, D., Morúa, A., & Alvarez, N. (2006). CARACTERIZACIÓN DE LOS BIOSÓLIDOS DE AGUAS RESIDUALES DE LA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES “QUIBÚ.” *Cultivos Tropicales*, 27, 83–87.

Vasquez, J., & Vargas, G. (2018). *APROVECHAMIENTO DE LODOS PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPIO DE FUNZA, COMO INSUMO DE CULTIVO Y MEJORAMIENTO DEL SUELO*. Universidad católica de Colombia.

Villafuerte, N. (2014) Digestion anaerobia de los lodos sedimentados en la bahia interior de Puno- Lago Titicaca, para la obtencion de biogas y biosolido estable. Puno-Perú

**ANEXOS**

- Anexo A : Propiedad Física de las muestras in situ de los lodos residuales
- Anexo B : Propiedad Física de las muestras in situ de los lodos residuales
- Anexo C : Panel fotográfico de la investigación
- Anexo D : Certificados de los resultado de los análisis de lodo Fresco de los laboratorios Analíticos del Sur S.A Arequipa- Perú y laboratorios Envirotest Enviromental Testing Laboratory S.A.C Lima – Perú
- Anexo E : Certificados de los resultado de los análisis de los biosólidos de los laboratorios Analíticos del Sur S.A Arequipa- Perú y laboratorios Envirotest Enviromental Testing Laboratory S.A.C Lima – Perú

## ANEXO A

**Propiedad Física de las muestras in situ de los lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca**

Tal como se mencionó en la 3.4.1 se realizó el muestreo de los lodos residuales en las cuales se tomaron los parámetros físicos en *in situ*

**Tabla 23: Parámetros físicos medidos en in situ de los lodos residuales**

Puntos de muestreo	Afluyente	Lado lateral derecho	Frente del Afluyente	Efluente
	MJ-1	MJ-2	MJ-3	MJ-4
<b>Parámetros físicos</b>				
Temperatura ambiental (°C)	5.2	5.2	5.5	5.2
Temperatura del lodo residual (°C)	7.2	7.3	7.7	7.5
pH del lodo residual (µpH)	7.33	7.19	7.17	7.25
Conductividad (µS/cm)	946.9	1013.5	1221.0	1013.4

Fuente: Elaboración propia datos tomados en el campo - 2018

## ANEXO B

## Parámetro medido en el proceso de digestión anaerobia termofílica

Tabla 24: Temperaturas durante el proceso de digestión anaerobia termofílica

Fecha	semana	días	Temperatura (°C)			
			MJ-1	MJ-2	MJ-3	MJ-4
10/07/2018	<i>in situ</i>	0	7.2	7.3	7.7	7.5
11/07/2018	miércoles	1	55	55	55	55
12/07/2018	jueves	2	56	56	56	56
13/07/2018	viernes	3	55	55	55	55
16/07/2018	lunes	4	56	56	56	56
17/07/2018	martes	5	55	55	55	55
18/07/2018	miércoles	6	55	55	55	55
19/07/2018	jueves	7	56	56	56	56
20/07/2018	viernes	8	57	57	57	57
23/07/2018	lunes	9	55	55	55	55
24/07/2018	martes	10	56	56	56	56
25/07/2018	miércoles	11	58	58	58	58
26/07/2018	jueves	12	55	55	55	55
27/07/2018	viernes	13	56	56	56	56
30/07/2018	lunes	14	55	55	55	55
31/07/2018	martes	15	56	56	56	56
01/08/2018	miércoles	16	57	57	57	57
02/08/2018	jueves	17	56	56	56	56
03/08/2018	viernes	18	56	56	56	56
06/08/2018	lunes	19	55	55	55	55
07/08/2018	martes	20	55	55	55	55
08/08/2018	miércoles	21	55	55	55	55
09/08/2018	jueves	22	55	55	55	55

Fuente: Recolección de los resultados obtenidos

**Agitación:** La agitación fue levemente por un periodo de 1 min/día

**pH:** Inicial de 7.24 y final de 7.27

**ANEXO C****Panel fotográfico de la investigación**

**Ilustración 1: Equipos de muestreo en la laguna de estabilización secundaria de la ciudad de Juliaca - Puno – Perú**



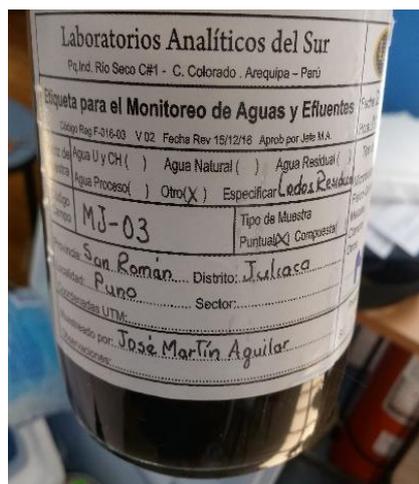
**Ilustración 2: Toma de muestras de lodo residuales de la laguna de estabilización secundaria de la ciudad de Juliaca - Puno – Perú**



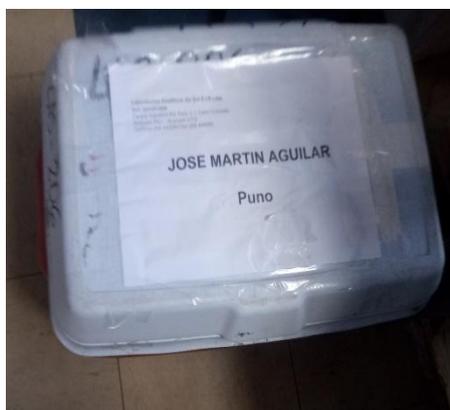
**Ilustración 3: Georreferenciación de los puntos de muestreo de lodo residuales de la laguna de estabilización secundaria de la ciudad de Juliaca - Puno – Perú**



**Ilustración 4: Mediciones de los parámetros físico de los lodos residuales y toma de la laguna de estabilización secundaria de la ciudad de Juliaca - Puno – Perú**



**Ilustración 5: Toma de muestra de los biosólidos para envió a los laboratorios acreditados**



**Ilustración 6: Envió de muestras de lodo fresco y biosólido a los laboratorios acreditados Analíticos del Sur S.A Arequipa- Perú y Envirotest Enviromental Testing Laboratory S.A.C Lima – Perú**



**Ilustración 7: Proceso de digestión anaerobia termofílica en el laboratorio acuática de la Facultad de Ciencias Biológicas UNA –Puno**

## INFORME DE ENSAYO Nº 183135 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : **JOSÉ MARTI AGUILAR**  
 Dirección : Reservado por el cliente  
 Solicitado Por : José Marti Aguilar  
 Referencia : Cotización N° 1976-18R01  
 Proyecto : Evaluación de Lodos Residual  
 Procedencia : Reservado por el cliente  
 Muestreo Realizado Por : El cliente  
 Cantidad de Muestra : 4  
 Producto : Lodo  
 Fecha de Recepción : 15/07/2018  
 Fecha de Ensayo : 15/07/2018 al 27/07/2018  
 Fecha de Emisión : 27/07/2018

La muestra fue recepcionada en buenas condiciones

**I. Resultados**

Código de Laboratorio	183135-01	183135-02	183135-03	183135-04
Código de Cliente	MJ-1	MJ-2	MJ-3	MJ-4
Fecha de Muestreo	10/07/2018	10/07/2018	10/07/2018	10/07/2018
Hora de Muestreo (h)	06:00	06:05	06:10	06:15
Ubicación Geográfica (WGS 84)	N 8286432 E 0382010	N 8286370 E 0382096	N 8286327 E 0382034	N 8286392 E 0381990
Tipo de Producto	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo

Tipo Ensayo	Unidad	L.D.M.	Resultados				
<b>Metales (ICP-AES) (Peso Seco)</b>							
Ag Plata	mg/Kg PS	0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14
Al Aluminio	mg/Kg PS	0,77	5399	7402	8779	6545	
As Arsénico	mg/Kg PS	0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
B Boro	mg/Kg PS	0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
Ba Bario	mg/Kg PS	0,04	175,3	231,9	262,8	217,0	
Be Berilio	mg/Kg PS	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ca Calcio	mg/Kg PS	0,35	18756	18427	15585	16549	
Cd Cadmio	mg/Kg PS	0,016	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016
Ce Cerio	mg/Kg PS	0,96	<0,96	<0,96	<0,96	<0,96	<0,96
Co Cobalto	mg/Kg PS	0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
Cr Cromo	mg/Kg PS	0,23	2,49	3,14	5,69	2,50	
Cu Cobre	mg/Kg PS	0,05	96,77	117,5	156,1	107,1	
Fe Hierro	mg/Kg PS	0,52	>10000	>10000	>10000	>10000	>10000
K Potasio	mg/Kg PS	4,63	1723	1820	2157	1630	
Li Litio	mg/Kg PS	0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Mg Magnesio	mg/Kg PS	1,07	2527	2745	2980	3072	
Mn Manganeso	mg/Kg PS	0,04	205,1	240,6	240,6	241,3	
Mo Molibdeno	mg/Kg PS	0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18
Na Sodio	mg/Kg PS	0,74	962,9	999,9	1139	828,1	
Ni Níquel	mg/Kg PS	0,15	12,00	11,47	13,01	9,30	
P Fósforo	mg/Kg PS	2,37	4945	6057	7130	5400	
Pb Plomo	mg/Kg PS	0,13	59,13	50,26	59,74	42,31	
Sb Antimonio	mg/Kg PS	0,42	<0,42	<0,42	<0,42	<0,42	<0,42
Se Selenio	mg/Kg PS	0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Si Silicio	mg/Kg PS	0,51	83,98	82,95	105,6	82,76	
Sn Estaño	mg/Kg PS	0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26
Sr Estroncio	mg/Kg PS	0,02	>100,0	>100,0	>100,0	>100,0	>100,0
Ti Titanio	mg/Kg PS	0,21	24,06	17,51	21,92	12,30	
Tl Talio	mg/Kg PS	0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
V Vanadio	mg/Kg PS	0,05	27,08	27,51	30,89	23,74	
Zn Zinc	mg/Kg PS	0,09	505,0	801,5	947,4	922,3	

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango de trabajo. "---" = No Analizado.

## INFORME DE ENSAYO Nº 183135 CON VALOR OFICIAL

Código de Laboratorio	183135-01	183135-02	183135-03	183135-04			
Código de Cliente	MJ-1	MJ-2	MJ-3	MJ-4			
Fecha de Muestreo	10/07/2018	10/07/2018	10/07/2018	10/07/2018			
Hora de Muestreo (h)	06:00	06:05	06:10	06:15			
Ubicación Geográfica (WGS 84)	N 8286432 E 0382010	N 8286370 E 0382096	N 8286327 E 0382034	N 8286392 E 0381990			
Tipo de Producto	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo			
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados				
Metales (CVAA - FIMS) (Peso Seco)							
Hg	Mercurio	mg/Kg PS	1,00	4,43	4,32	11,43	3,73

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango de trabajo. "-" = No Analizado.

### II. Métodos y Referencias

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
Metales (ICP-AES)		
Metales (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, V and Zn)	EPA Method 200.7; Rev. 4.4., 1994	Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry ICP-AES.
Metales (CVAA - FIMS)		
Mercurio	EPA Method 7471B; Rev.2, Feb. 2007	Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)

SIGLAS: "EPA": U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis.

**Alfonso Vilca M.**  
**GCSSA**  
**C.Q.P. Nº 587**

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente.

Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.

El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al Laboratorio.

El tiempo de custodia del informe de ensayo, tanto en digital como en físico es de 4 años.

El tiempo de perecibilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y rige desde la toma de muestra.

Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C.

\*\* FIN DEL INFORME \*\*

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-04947**

**Hoja de datos**

Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Dirección: AV. EL EJERCITO NRO 329 BARRIO SANTA ROSA PUNO - PUNO - PUNO  
 Atención: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Proyecto: *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOSÓLIDO OBTENIDO MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA TERMOFÍLICA, DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA*  
 Producto(s) Declarado(s): LODOS RESIDUALES  
 Nro de muestras: 1  
 Muestreo a cargo de(l): JOSE MARTIN AGUILAR  
 Registro de muestreo: 019-18  
 Fecha de recepción: 11/07/2018  
 Fecha de ensayo: 11/07/2018  
 Fecha de emisión: 02/08/2018  
 Condiciones de recepción de la muestra:  
 Observaciones : -----

**Metodo de ensayo aplicado**

- \*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7023 Determinación de pH 1:2 potenciometría en suelos
- \*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C  
Numeración de Coliformes Fecall. ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en
- \*7070 sedimentos
- \*7118 Detección de Salmonella: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part -9260 B(Idem1,2d,3,4,6,7,8, 9),22nd Ed. Procedimientos cuantitativos.Salmonella en sedimentos
- \*7020 Recuento Huevos y larvas de Helmintos patógenos.

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD18000046	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA INICIAL - PUNTO 01	19 L / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	8286432 N ; 382010 E	10/07/18	06:00 a.m.

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-04947**

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 2/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7005	*7006	*7023		*7097
		N	MO	pH	Temp. De Lect.	H2O
		mg/Kg	%	En pulpa	c	%
SD18000046	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA INICIAL - PUNTO 01	15975	27,5	6,92	19,9	72,613

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-04947**

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 3/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7070 Coliforme Fecal NMP/g	*7114 Salmonella NMP/g de mat. Seca	*7020 Helmintos y Parásitos HH/4g
SD18000046	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA INICIAL - PUNTO 01	24x10 <sup>7</sup>	<3	1

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-04948**

Pág: 1/3

**Hoja de datos**

Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Dirección: AV. EL EJERCITO NRO 329 BARRIO SANTA ROSA PUNO - PUNO - PUNO  
 Atención: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Proyecto: *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOSÓLIDO OBTENIDO MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA TERMOFÍLICA, DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA*  
 Producto(s) Declarado(s): LODOS RESIDUALES  
 Nro de muestras: 1  
 Muestreo a cargo de(l): JOSE MARTIN AGUILAR  
 Registro de muestreo: 019-18  
 Fecha de recepción: 11/07/2018  
 Fecha de ensayo: 11/07/2018  
 Fecha de emisión: 02/08/2018  
 Condiciones de recepción de la muestra:  
 Observaciones : -----

**Metodo de ensayo aplicado**

- \*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7023 Determinación de pH 1:2 potenciometría en suelos
- \*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C  
Numeración de Coliformes Fecall. ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en
- \*7070 sedimentos
- \*7118 Detección de Salmonella: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part -9260 B(Ídem1,2d,3,4,6,7,8, 9),22nd Ed. Procedimientos cuantitativos.Salmonella en sedimentos
- \*7020 Recuento Huevos y larvas de Helmintos patógenos.

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD18000047	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA INICIAL - PUNTO 02	19 L / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	8286370 N ; 382096 E	10/07/18	06:05 a.m.

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

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

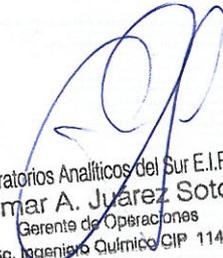
**INFORME DE ENSAYO LAS-18-04948**

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 2/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7005	*7006	*7023		*7097
		N	MO	pH	Temp. De Lect.	H2O
		mg/Kg	%	En pulpa	c	%
SD18000047	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA INICIAL - PUNTO 02	24519	47,3	6,92	19,8	76,901

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

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

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-04948**

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 3/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7070 Coliforme Fecal NMP/g	*7114 Salmonella NMP/g de mat. Seca	*7020 Helmintos y Parásitos HH/4g
SD18000047	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA INICIAL - PUNTO 02	93x10 <sup>5</sup>	<3	0

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-04949**

Pág: 1/3

**Hoja de datos**

**Señores:** UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
**Dirección:** AV. EL EJERCITO NRO 329 BARRIO SANTA ROSA PUNO - PUNO - PUNO  
**Atención:** UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
**Proyecto:** EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOSÓLIDO OBTENIDO MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA TERMOFÍLICA, DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA  
**Producto(s) Declarado(s):** LODOS RESIDUALES  
**Nro de muestras:** 1  
**Muestreo a cargo de(l):** JOSE MARTIN AGUILAR  
**Registro de muestreo:** 019-18  
**Fecha de recepción:** 11/07/2018  
**Fecha de ensayo:** 11/07/2018  
**Fecha de emisión:** 02/08/2018  
**Condiciones de recepción de la muestra:**  
**Observaciones :** -----

**Metodo de ensayo aplicado**

- \*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7023 Determinación de pH 1:2 potenciometría en suelos
- \*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C  
Numeración de Coliformes Fecall. ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en
- \*7070 sedimentos
- \*7118 Detección de Salmonella: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part -9260 B(Idem1,2d,3,4,6,7,8, 9),22nd Ed. Procedimientos cuantitativos.Salmonella en sedimentos
- \*7020 Recuento Huevos y larvas de Helmintos patógenos.

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD18000048	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA INICIAL - PUNTO 03	19 L / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	8286327 N ; 382034 E	10/07/18	06:10 a.m.

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-04949**

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 2/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7005	*7006	*7023		*7097
		N mg/Kg	MO %	pH En pulpa	Temp. De Lect. c	H2O %
SD18000048	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA INICIAL - PUNTO 03	27040	55,6	6,96	19,9	77,714

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-04949**

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 3/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7070 Coliforme Fecal NMP/g	*7114 Salmonella NMP/g de mat. Seca	*7020 Helmintos y Parásitos HH/4g
SD18000048	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA INICIAL - PUNTO 03	24x10 <sup>6</sup>	<3	0

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

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

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-04950**

Pág: 1/3

**Hoja de datos**

**Señores:** UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
**Dirección:** AV. EL EJERCITO NRO 329 BARRIO SANTA ROSA PUNO - PUNO - PUNO  
**Atención:** UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
**Proyecto:** EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOSÓLIDO OBTENIDO MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA TERMOFÍLICA, DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA  
**Producto(s) Declarado(s):** LODOS RESIDUALES  
**Nro de muestras:** 1  
**Muestreo a cargo de(l):** JOSE MARTIN AGUILAR  
**Registro de muestreo:** 019-18  
**Fecha de recepción:** 11/07/2018  
**Fecha de ensayo:** 11/07/2018  
**Fecha de emisión:** 02/08/2018  
**Condiciones de recepción de la muestra:**  
**Observaciones :** -----

**Metodo de ensayo aplicado**

- \*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7023 Determinación de pH 1:2 potenciometría en suelos
- \*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C  
Numeración de Coliformes Fecall. ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en
- \*7070 sedimentos
- \*7118 Detección de Salmonella: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part -9260 B(Idem1,2d,3,4,6,7,8, 9),22nd Ed. Procedimientos cuantitativos.Salmonella en sedimentos
- \*7020 Recuento Huevos y larvas de Helmintos patógenos.

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD18000049	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN SECUNDARIA JULIACA INICIAL - PUNTO 04	19 L / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	8286392 N ; 381990 E	10/07/18	06:15 a.m.

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-04950**

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 2/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7005	*7006	*7023		*7097
		N	MO	pH	Temp. De Lect.	H2O
		mg/Kg	%	En pulpa	c	%
SD18000049	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA INICIAL - PUNTO 04	28184	54,5	6,88	20,4	74,654

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

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

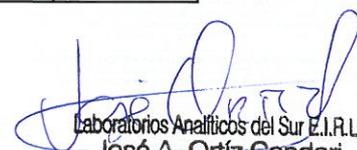
**INFORME DE ENSAYO LAS-18-04950**

Hoja de resultados

02/08/2018

Pág.: 3/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7070 Coliforme Fecal NMP/g	*7114 Salmonella NMP/g de mat. Seca	*7020 Helmintos y Parásitos HH/4g
SD18000049	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA INICIAL - PUNTO 04	24x10 <sup>6</sup>	<3	1

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

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

certificados de los resultado de los analisis del biosolido en los laboratorios analiticos del sur s.a arequipa- perú y laboratorios envirotest ambiental testing laboratory s.a.c lima – perú

## INFORME DE ENSAYO Nº 183937 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
 Dirección : Reservado por el cliente  
 Solicitado Por : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
 Referencia : Cotización N° 2517-18  
 Proyecto : EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOSÓLIDO OBTENIDO MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA TERMOFÍLICA, DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA  
 Procedencia : Juliaca  
 Muestreo Realizado Por : El cliente  
 Cantidad de Muestra : 4  
 Producto : Lodo  
 Fecha de Recepción : 01/09/2018  
 Fecha de Ensayo : 01/09/2018 al 10/09/2018  
 Fecha de Emisión : 10/09/2018

La muestra fue recepcionada en buenas condiciones

### I. Resultados

Código de Laboratorio	183937-01	183937-02	183937-03	183937-04
Código de Cliente	MJ-1	MJ-2	MJ-3	MJ-4
Fecha de Muestreo	21/08/2018	21/08/2018	21/08/2018	21/08/2018
Hora de Muestreo (h)	15:00	15:05	15:10	15:15
Ubicación Geográfica (WGS 84)	N: 8286432 E: 382010	N: 8286370 E: 382096	N: 8286327 E: 382034	N: 8286392 E: 381990
Tipo de Producto	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo

Tipo Ensayo	Unidad	L.D.M.	Resultados			
Metales (ICP-AES) (Peso Seco)						
Ag Plata	mg/Kg PS	0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14
Al Aluminio	mg/Kg PS	0,77	6097	8703	8743	9411
As Arsénico	mg/Kg PS	0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
B Boro	mg/Kg PS	0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
Ba Bario	mg/Kg PS	0,04	111,9	142,8	105,8	122,9
Be Berilio	mg/Kg PS	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ca Calcio	mg/Kg PS	0,35	21113	23097	17734	18417
Cd Cadmio	mg/Kg PS	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ce Cerio	mg/Kg PS	0,96	<0,96	<0,96	<0,96	<0,96
Co Cobalto	mg/Kg PS	0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
Cr Cromo	mg/Kg PS	0,23	<0,23	<0,23	0,55	<0,23
Cu Cobre	mg/Kg PS	0,05	81,80	138,1	141,3	127,4
Fe Hierro	mg/Kg PS	0,52	>10000	>10000	>10000	>10000
K Potasio	mg/Kg PS	4,63	1464	1745	1670	1858
Li Litio	mg/Kg PS	0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Mg Magnesio	mg/Kg PS	1,07	2240	2831	2745	2757
Mn Manganeso	mg/Kg PS	0,04	254,6	323,5	287,9	283,6
Mo Molibdeno	mg/Kg PS	0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18
Na Sodio	mg/Kg PS	0,74	906,7	1207	1082	943,9
Ni Niquel	mg/Kg PS	0,15	12,77	12,47	11,82	11,03
P Fósforo	mg/Kg PS	2,37	3850	5141	5225	5320
Pb Plomo	mg/Kg PS	0,13	38,59	50,24	42,35	39,56
Sb Antimonio	mg/Kg PS	0,42	<0,42	<0,42	<0,42	<0,42
Se Selenio	mg/Kg PS	0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Si Silicio	mg/Kg PS	0,51	116,9	189,1	157,5	189,3
Sn Estaño	mg/Kg PS	0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26
Sr Estroncio	mg/Kg PS	0,02	>100,0	>100,0	>100,0	>100,0
Ti Titanio	mg/Kg PS	0,21	52,58	44,45	49,87	30,42
Tl Talio	mg/Kg PS	0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
V Vanadio	mg/Kg PS	0,05	29,78	35,01	32,82	30,59
Zn Zinc	mg/Kg PS	0,09	593,7	>1000	>1000	978,5

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango de trabajo. "-" = No Analizado.

## INFORME DE ENSAYO Nº 183937 CON VALOR OFICIAL

Código de Laboratorio	183937-01	183937-02	183937-03	183937-04			
Código de Cliente	MJ-1	MJ-2	MJ-3	MJ-4			
Fecha de Muestreo	21/08/2018	21/08/2018	21/08/2018	21/08/2018			
Hora de Muestreo (h)	15:00	15:05	15:10	15:15			
Ubicación Geográfica (WGS 84)	N: 8286432 E: 382010	N: 8286370 E: 382096	N: 8286327 E: 382034	N: 8286392 E: 381990			
Tipo de Producto	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo			
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados				
Metales (CVAA - FIMS) (Peso Seco)							
Hg	Mercurio	mg/Kg PS	1,00	4,93	14,07	26,78	5,26

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<=" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango de trabajo. "-" = No Analizado.

### II. Métodos y Referencias

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
Metales (ICP-AES)		
Metales (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, V and Zn)	EPA Method 200.7; Rev. 4.4., 1994	Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry ICP-AES.
Metales (CVAA - FIMS)		
Mercurio	EPA Method 7471B; Rev.2, Feb. 2007	Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)

SIGLAS: "EPA": U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis.

**Alfonso Vilca M.**  
**GCSA**  
**C.Q.P. Nº 587**

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente.

Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.

El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al Laboratorio.

El tiempo de custodia del informe de ensayo, tanto en digital como en físico es de 4 años.

El tiempo de perecibilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y rige desde la toma de muestra.

Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C.

\*\* FIN DEL INFORME \*\*

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-05812**

**Hoja de Datos**

Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Dirección: AV. EL EJERCITO NRO 329 BARRIO SANTA ROSA PUNO - PUNO - PUNO  
 Atención: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Proyecto: *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOSÓLIDO OBTENIDO MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA TERMOFÍLICA, DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA*

Producto(s) Declarado(s): Sedimentos Lodos Residuales  
 Nro de muestras: 1  
 Muestreo a cargo de(l): Ing. Jose Martin Aguilar  
 Registro de muestreo: 027-18  
 Fecha de recepción: 16/08/2018  
 Fecha de ensayo: 16/08/2018  
 Fecha de emisión: 07/09/2018  
 Condiciones de recepcion de la muestra: ADECUADAS  
 Observaciones : ----

**Metodo de ensayo aplicado**

- \*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7023 Determinación de pH 1:2 potenciometría en suelos
- \*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C
- \*7114 Detección de Salmonella: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part -9260 B(1dem1,2d,3,4,6,7,8),22nd Ed. Deteccion of Pathogenic Bacteria.Salmonella en sedimentos
- \*7020 Recuento Huevos y larvas de Helmintos patógenos.
- \*7070 Numeración de Coliformes Fecall. ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD18000077	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA FINAL - PUNTO 01	19 L / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	8286432 N ; 382010 E	15/08/18	06:10 p.m.

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-05812**

Hoja de resultados

07/09/2018

Pág.: 2/3

Codigo Interno #	Nombre de Muestra	*7005	*7006	*7023		*7097
		N mg/kg	MO %	pH En pulpa	Temp. De Lect. C	H2O %
SD18000077	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA FINAL - PUNTO 01	14607	36,9	7,67	22,0	70,20

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

"a<Valor numérico" = Límite de detección del método, "b<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-05812**

Hoja de resultados

07/09/2018

Pág.: 3/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7114 Salmonella NMP/g de mat. Seca	*7020 Helmintos y Parásitos HH/4g	*7070 Coliforme Fecal NMP/g
SD18000077	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA FINAL - PUNTO 01	<3	0	<3

*Jose A. Ortiz Condori*  
 Laboratorio Analítico del Sur E.I.R.L.  
 José A. Ortiz Condori  
 Microbiología  
 B.O.S. C.D.P. 11352

"a<Valor numérico" = Límite de detección del método, "b<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-05813**

**Hoja de Datos**

Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Dirección: AV. EL EJERCITO NRO 329 BARRIO SANTA ROSA PUNO - PUNO - PUNO  
 Atención: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Proyecto: *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOSÓLIDO OBTENIDO MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA TERMOFÍLICA, DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA*

Producto(s) Declarado(s): Sedimentos Lodos Residuales  
 Nro de muestras: 1  
 Muestreo a cargo de(l): Ing. Jose Martín Aguilar  
 Registro de muestreo: 027-18  
 Fecha de recepción: 16/08/2018  
 Fecha de ensayo: 16/08/2018  
 Fecha de emisión: 07/09/2018  
 Condiciones de recepción de la muestra: ADECUADAS  
 Observaciones : ----

**Metodo de ensayo aplicado**

- \*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7023 Determinación de pH 1:2 potenciometría en suelos
- \*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C
- \*7114 Detección de Salmonella: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part -9260 B(Ídem1,2d,3,4,6,7,8),22nd Ed. Detección of Pathogenic Bacteria.Salmonella en sedimentos
- \*7020 Recuento Huevos y larvas de Helmintos patógenos.
- \*7070 Numeración de Coliformes Fecall. ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD18000078	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA FINAL - PUNTO 02	19 L / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	8286370 N ; 382096 E	15/08/18	06:15 p.m.

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-05813**

Hoja de resultados

07/09/2018

Pág.: 2/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7005	*7006	*7023		*7097
		N	MO	pH	Temp. De Lect.	H2O
		mg/Kg	%	En pulpa	C	%
SD18000078	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA FINAL - PUNTO 02	20322	47,0	7,83	21,8	75,42

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

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

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-05813**

Hoja de resultados

07/09/2018

Pág.: 3/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7114 Salmonella NMP/g de mat. Seca	*7020 Helmintos y Parásitos HH/4g	*7070 Coliforme Fecal NMP/g
SD18000078	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA FINAL - PUNTO 02	<3	0	<3

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

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

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-05814**

**Hoja de Datos**

Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Dirección: AV. EL EJERCITO NRO 329 BARRIO SANTA ROSA PUNO - PUNO - PUNO  
 Atención: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Proyecto: *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOSÓLIDO OBTENIDO MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA TERMOFÍLICA, DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA*

Producto(s) Declarado(s): Sedimentos Lodos Residuales  
 Nro de muestras: 1  
 Muestreo a cargo de(l): Ing. Jose Martin Aguilar  
 Registro de muestreo: 027-18  
 Fecha de recepción: 16/08/2018  
 Fecha de ensayo: 16/08/2018  
 Fecha de emisión: 07/09/2018  
 Condiciones de recepción de la muestra: ADECUADAS  
 Observaciones : -----

**Metodo de ensayo aplicado**

- \*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7023 Determinación de pH 1:2 potenciometría en suelos
- \*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C
- \*7114 Detección de Salmonella: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part -9260 B(1dem1,2d,3,4,6,7,8),22nd Ed. Deteccion of Pathogenic Bacteria.Salmonella en sedimentos
- \*7020 Recuento Huevos y larvas de Helmintos patógenos.
- \*7070 Numeración de Coliformes Fecall. ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD18000079	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA FINAL - PUNTO 03	19 L / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	8286327 N ; 382034 E	15/08/18	06:20 p.m.

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

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

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

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

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-05814**

Hoja de resultados

07/09/2018

Pág.: 2/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7005	*7006	*7023		*7097
		N mg/Kg	MO %	pH En pulpa	Temp. De Lect C	H2O %
SD18000079	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA FINAL - PUNTO 03	23384	52,0	7,85	22,2	69,94

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

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

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

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

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

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

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-05814**

Hoja de resultados

07/09/2018

Pág.: 3/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7114 Salmonella NMP/g de mat. Seca	*7020 Helmintos y Parásitos HH/4g	*7070 Coliforme Fecal NMP/g
SD18000079	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA FINAL - PUNTO 03	<3	0	<3

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

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

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-05815**

**Hoja de Datos**

Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Dirección: AV. EL EJERCITO NRO 329 BARRIO SANTA ROSA PUNO - PUNO - PUNO  
 Atención: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
 Proyecto: *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOSÓLIDO OBTENIDO MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA TERMOFÍLICA, DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA*

Producto(s) Declarado(s): Sedimentos Lodos Residuales  
 Nro de muestras: 1  
 Muestreo a cargo de(l): Ing. Jose Martin Aguilar  
 Registro de muestreo: 027-18  
 Fecha de recepción: 16/08/2018  
 Fecha de ensayo: 16/08/2018  
 Fecha de emisión: 07/09/2018  
 Condiciones de recepción de la muestra: ADECUADAS  
 Observaciones : -----

**Método de ensayo aplicado**

- \*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7023 Determinación de pH 1:2 potenciometría en suelos
- \*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C
- \*7114 Detección de Salmonella: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part -9260 B(Idem1,2d,3,4,6,7,8),22nd Ed. Deteccion of Pathogenic Bacteria.Salmonella en sedimentos
- \*7020 Recuento Huevos y larvas de Helmintos patógenos.
- \*7070 Numeración de Coliformes Fecall. ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD18000080	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA FINAL - PUNTO 04	19 L / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	8286392 N ; 381990 E	15/08/18	06:25 p.m.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
**Omar A. Juárez Soto**  
 Gerente de Operaciones  
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 11442\*

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-05815**

Hoja de resultados

07/09/2018

Pág.: 2/3

Codigo Interno #	Nombre de Muestra	*7005	*7006	*7023		*7097
		N	MO	pH	Temp. De Lect.	H2O
		mg/Kg	%	En pulpa	C	%
SD18000080	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA FINAL - PUNTO 04	26148	56,1	7,18	22,0	70,09

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

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

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

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

**INFORME DE ENSAYO LAS-18-05815**

Hoja de resultados

07/09/2018

Pág.: 3/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7114 Salmonella NMP/g de mat. Seca	*7020 Helmintos y Parásitos HHI/4g	*7070 Coliforme Fecal NMP/g
SD18000080	MUESTRA DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION SECUNDARIA JULIACA FINAL - PUNTO 04	<3	0	<3

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

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

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

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