

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DE MACRONUTRIENTES Y METALES EN LOS
LODOS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN**

SECUNDARIA DE “EL ESPINAR”-PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

HARLYN EDWARD CRUZ VILAVILA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

EVALUACIÓN DE MACRONUTRIENTES Y METALES EN LOS
Lodos Residuales de la Laguna de Estabilización
Secundaria de “EL ESPINAR”-PUNO.

TESIS PRESENTADA POR:
HARLYN EDWARD CRUZ VILAVILA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO QUÍMICO



APROBADA POR:

PRESIDENTE:



Dr. GREGORIO PALOMINO CUELA

PRIMER MIEMBRO:



M.Sc. MARÍA RODRÍGUEZ MELO

SEGUNDO MIEMBRO:



M.Sc. JANETTE ROSARIO RAMOS PINEDA

DIRECTOR / ASESOR:



Dr. NAZARIO VILLAFUERTE PRUDENCIO

ÁREA: Tecnología ambiental

TEMA: Tratamiento de lodos residuales

LÍNEA: Tecnología ambiental y recursos naturales

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 11 de octubre del 2019

DEDICATORIA

Con mucho cariño y amor a mis padres Clotilde y Herlin quienes con su sabiduría, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir un objetivo más en mi vida, además por apoyarme incondicionalmente en todas las etapas de mi vida y por sus valiosas enseñanzas que forman parte de mi.

A mis hermanos Jair, Gianni y Luigui por darme la motivación necesaria para poder cumplir con mis objetivos trazados y por su apoyo moral en todas las etapas de mi vida.

A mis abuelos maternos Clotilde y Eusebio que desde el cielo me protegieron y me guiaron durante todo el camino recorrido. A mis abuelos paternos Hilda y Leonardo que con sus consejos y enseñanzas hicieron de mi una mejor persona.

A mis tíos, primos y sobrinos por su comprensión y apoyo en los momentos difíciles de mi vida, además de enseñarme a encarar las adversidades sin desfallecer en el intento.

Finalmente a todos mis estimados amigos en las distintas etapas formativas de mi vida, especialmente a mis amigos de la Universidad Nacional del Altiplano y de la maestría en Seguridad Industrial y Ambiental, por apoyarme cuando más los necesité, por extenderme una mano en los momentos de dificultades y brindarme experiencias inolvidables que son parte de mi.

HARLYN EDWARD CRUZ VILAVILA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme permitido tener vida y salud a lo largo de estos años, además por darme la oportunidad de haber conocido con las maravillosas personas que he conocido a lo largo de mi vida.

A la Universidad Nacional del Altiplano por albergarme durante todos estos años de estudio.

A todos los docentes y administrativos de la Facultad de Ingeniería Química por transmitirme todas sus enseñanzas y lecciones de vida que me ayudaron a formarme profesionalmente.

A mi asesor Dr. Nazario Villafuerte Prudencio que me apoyó, orientó y motivó para la realización de la presente tesis.

A mis señores jurados Dr. Gregorio Palomino Cuela, M.Sc. María Rodríguez Melo y M.Sc. Janette Rosario Ramos Pineda que me brindaron su tiempo, apoyo y dedicación para el desarrollo de la presente tesis.

¡GRACIAS POR TODO!

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	11
RESUMEN.....	13
ABSTRACT	14
I. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Objetivo General.....	16
1.2. Objetivos Específicos.....	16
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	17
2.2. Referencias Teóricas	21
2.2.1. Laguna de estabilización.....	21
2.2.2. Operación de lagunas de estabilización en el tratamiento de aguas residuales.....	21
2.2.3. Ventajas e inconvenientes de las lagunas de estabilización.	22
2.2.4. Lodos residuales.....	23
2.2.5. Generación de lodos residuales en el tratamiento de aguas residuales (biosólidos).....	23
2.2.6. Tipos de lodos residuales	24
2.2.7. Clasificación de lodos residuales	25
2.2.8. Reutilización de lodos residuales.....	26
2.2.9. Normas regulatorias aplicadas para la utilización de biosólidos como fertilizantes.....	27

2.2.10. Parámetros fisicoquímicos en lodos residuales.	27
2.2.11. Parámetros de macronutrientes en lodos residuales.	28
2.2.12. Parámetros de metales en lodos residuales.	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1. Ámbito de estudio	34
3.2. Material Experimental.....	34
3.3. Materiales.....	35
3.4. Equipos.....	35
3.5. Reactivos.....	35
3.6. Procedimiento Experimental.....	36
3.6.1. Toma de muestras	36
3.6.2. Medición de parámetros in situ.....	37
3.7. Métodos para alcanzar los objetivos específicos.	38
3.7.1. Evaluación de los valores de los parámetros fisicoquímicos (pH, humedad, nitrógeno total, fósforo total y potasio total) en los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”- Puno.....	38
3.7.2. Evaluación de los valores de los parámetros de metales (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb y Zn) en los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.....	42
3.7.3. Evaluación de las propiedades fertilizantes de los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.	45
3.8. Análisis estadístico.....	45
3.8.1. Análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos en lodos residuales.....	45

3.8.2. Análisis estadísticos de los parámetros de metales en lodos residuales.....	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1. Resultado y discusión de la evaluación de los parámetros fisicoquímicos en los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.....	47
4.2. Resultado y discusión de la evaluación de los valores de los parámetros de metales (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb y Zn) en los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.	49
4.3. Resultado y discusión de la evaluación de las propiedades fertilizantes de los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.	50
V. CONCLUSIONES.....	53
VI. RECOMENDACIONES.....	54
VII. REFERENCIAS.....	55
ANEXOS	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Operación de una laguna de estabilización	22
Figura 2: Formación de lodos en una laguna de estabilización.	24
Figura 3: Laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.	34
Figura 4: Puntos de muestreo en la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”	36
Figura 5 : Digestión ácida asistida de microondas de sedimentos, lodos, suelos y aceites.....	43
Figura 6: Análisis químico por ICP-Espectrometría de masas	44
Figura 7: Equipo de trabajo para el muestreo de lodos residuales.	69
Figura 8: Preparación de materiales para el muestreo de lodos residuales	69
Figura 9: Extracción del los lodos residuales de la laguna de estabilización de “El Espinar”	70
Figura 10: Trasvase de los lodos residuales en el envase de plástico.....	70
Figura 11: Medición de pH in situ	71
Figura 12: Medición de temperatura in situ	71
Figura 13: Equipo de medición pH-metro marca Pasco	72
Figura 14: Medición de pH en las muestras de lodos residuales	72
Figura 15: Tarados de las lunas de reloj para la determinación de la humedad.	73
Figura 16: Pesado de muestras húmedas.....	73
Figura 17: Colocado de las muestras de lodos en la mufla para su secado.	73
Figura 18: Desecado de las muestras para análisis de nitrógeno	74
Figura 19: Digestión de muestras para análisis de nitrógeno	74
Figura 20: Destilación de las muestras de lodos	75

Figura 21: Preparación de muestra para la lectura en el espectrofotómetro..... 75

Figura 22: Lectura de la muestra en el espectrofotómetro..... 76

Figura 23: Equipo de fotómetro de llama 76

Figura 24: Lectura de potasio total en el espectrofotómetro 77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Medición de parámetros in situ.....	37
Tabla 2: Estadísticos descriptivos de los parámetros fisicoquímicos de los lodos residuales.	45
Tabla 3: Estadísticos descriptivos de los parámetros de metales de los lodos residuales.....	46
Tabla 4: Parámetros fisicoquímicos en los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.....	47
Tabla 5: Parámetros de metales en los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.....	49
Tabla 6: Cuadro comparativo de macronutrientes y parámetros de metales con la norma peruana, norma norteamericana y autores.....	51
Tabla 7: Análisis descriptivo para los parámetros fisicoquímicos	78
Tabla 8: Análisis ANOVA para el pH	78
Tabla 9: Análisis ANOVA para la humedad	79
Tabla 10: Análisis ANOVA para el nitrógeno total.....	79
Tabla 11: Análisis ANOVA para el fósforo total	79
Tabla 12: Análisis ANOVA para potasio total	79
Tabla 13: Análisis descriptivo para los parámetros de metales	80
Tabla 14: Análisis ANOVA para Arsénico.....	80
Tabla 15: Análisis ANOVA para Cadmio	81
Tabla 16: Análisis ANOVA para Cobre	81
Tabla 17: Análisis ANOVA para Cromo.....	81
Tabla 18: Análisis ANOVA para Mercurio	82
Tabla 19: Análisis ANOVA para Molibdeno	82
Tabla 20: Análisis ANOVA para Niquel	82
Tabla 21: Análisis ANOVA para Plomo.....	83
Tabla 22: Análisis ANOVA para Zinc.....	83

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

As	: Arsénico
ANOVA	: Analysis of Variance
Cd	: Cadmio
Cu	: Cobre
Cr	: Cromo
D.S.	: Decreto Supremo
EPA:	: Enviroelemental Protency Agency
g	: Gramo
Hg	: Mercurio
ICP	: Inductively Coupled Plasma
kg:	: Kilogramo
MMAMRM:	: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España
MAVDTC:	: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia
mg	: Miligramo
Mo	: Molibdeno
Ni	: Niquel
Pb	: Plomo
pH	: Potencial de Hidrogeniones
ppm	: Partes por millón
PTAR	: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
R.M.	: Resolución Ministerial
SEDAPAL	: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
SUNASS	: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento



UTM : Universal Transverse Mercator

Zn : Zinc

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal evaluar macronutrientes y metales en los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar” de la ciudad de Puno. Las muestras fueron tomadas en 6 puntos de la laguna de estabilización en el mes de junio del 2019, siguiendo protocolos de muestreo, posteriormente se trasladó las muestras y fueron analizadas en el Laboratorio de Aguas y Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional del Altiplano. Los métodos utilizados para la determinación de los parámetros fisicoquímicos fueron, pH por el método potenciométrico y la humedad por gravimetría, respecto a los macronutrientes, el nitrógeno se determinó por el método Kjeldhal, el fósforo se determinó por el método Vanadomolibdofosfórico y para el potasio se determinó por el método Pratt, obteniéndose valores para el pH de 7,30 a 7,59 y humedad de 68,946 a 76,359 %, respecto a los macronutrientes, nitrógeno total presentó valores de 1,55 a 2,90 %, fósforo total de 1,049 a 1,990 % y potasio total de 3740 a 3903 ppm. Los parámetros de metales se envió a un laboratorio externo cuyo método utilizado fue por ICP-Espectrometría de masas, presentando valores de Arsénico en un rango de 1,88 a 7,18 mg/kg, Cadmio 0,27 a 0,69 mg/kg, Cobre 15,27 a 26,93 mg/kg, Cromo 0,84 a 2,43 mg/kg, Mercurio 0,05 a 0,47 mg/kg, Molibdeno 0,80 a 1,91 mg/kg, Niquel 2,99 a 4,19 mg/kg, Plomo 0,57 a 6,71 mg/kg y Zinc 40,43 a 158,75 mg/kg. Se realizó el análisis estadístico por el método ANOVA de un factor, el grado de significancia en todos los parámetros analizados son superiores al valor de significancia estadístico de 0,05, estableciendo que todas las muestras presentan valores similares en todos los puntos de muestreo. Por lo tanto, el lodo residual, con referencia a los macronutrientes presenta cantidades beneficiosas para su uso fertilizante y referente a los metales presenta una calidad de clase A según las normas nacional y norteamericana.

Palabras Clave: Lagunas de estabilización, lodos residuales, parámetros fisicoquímicos, macronutrientes, parámetros de metales.

ABSTRACT

The present research work has as its primary objective to evaluate macronutrients and metals in the sewage sludges from the “El Espinar” secondary stabilization lagoon of the city of Puno. The Samples were taken in 6 points of the stabilization lagoon in the month of June in 2019, following sampling protocols, the samples were subsequently transferred and they were analyzed in the Water and Soil Laboratory of the professional school of Agronomic Engineering of the National University of the Altiplano. The methods used for the determination of the physicochemical parameters were, pH by the potentiometric method and humidity by gravimetry, regarding the macronutrients, the nitrogen was determined by the Kjeldhal method, the phosphorus was determined by the Vanadomolobdophosphoric method and for the potassium was determined by the Pratt method, obtaining pH values between from 7,30 and 7,59 and humidity values between 68,946 and 76,359 %, regarding the macronutrients, the total nitrogen presented values between from 1,55 and 2,90 %, the total phosphorus was between 1,049 and 1,990 % and total potassium was between 3740 and 3903 ppm. The metals parameters were sent to an external laboratory, they used the ICP-Mass Spectrometry method, presenting values of Arsenic in a range between 1,88 and 7,18 mg/kg, Cadmium between 0,27 and 0,69 mg/kg, Copper between 15,27 and 26,93 mg/kg, Chromium between 0,84 and 2,43 mg/kg, Mercury between 0,05 and 0,47 mg/kg, Molybdenum between 0,80 and 1,91 mg/kg, Nickel between 2,99 and 4,19 mg/kg, Plumb between 0,57 and 6,71 mg/kg and Zinc between 40,43 and 158,75 mg/kg. The statistical analysis was performed by the one factor ANOVA method, the level of significance in all analyzed parameters was higher than the statistical significance value of 0,05, establishing that all samples have similar values in all sampling points. Therefore, the swage sludge, from a macronutrients point of view presents beneficial quantities for its use as fertilizer and from the metals point of view presents an A-class quality according to national and international regulations.

Keywords: Stabilization lagoons, sewage sludges, physicochemical parameters, macronutrients, metals parameters.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento y la expansión urbana, así como la concentración de personas en las grandes ciudades genera grandes volúmenes de aguas residuales estas aguas son tratadas por sistemas de tratamiento, en estos tratamientos se produce formación de lodos, los cuales son difíciles de tratar e implican un costo adicional para un apropiado manejo y disposición. Las lagunas de estabilización son sistemas de tratamiento de aguas residuales muy utilizados en ciudades de gran densidad poblacional, estas lagunas representan un diseño simple y mantenimiento económico. El principal problema del tratamiento de aguas por este sistema es que se realiza un tratamiento físico (Sedimentación), al pasar del tiempo se forma una capa de sedimentos en el fondo de las lagunas compuesta por lodos residuales al ser un sistema de tratamiento tradicional. El lodo es definido como la suspensión de un sólido en un líquido proveniente de los procesos de potabilización o del tratamiento de aguas residuales municipales, presentan concentraciones elevadas de contaminantes como macronutrientes, metales y biológicos principalmente. Puno presenta un sistema de tratamiento de aguas residuales cuyo mecanismo esta compuesto por dos lagunas de estabilización primaria y secundaria. En los últimos años la ciudad de Puno presentó un crecimiento poblacional significativo, por tal motivo aumentó el flujo de aguas residuales depositadas en estas lagunas llegando a colapsar en épocas de lluvia, por ende, también la producción de lodos residuales aumentando así la concentración de contaminantes presentes en estos lodos. La disposición final de estos lodos residuales representa un problema ambiental significativo por la alta carga contaminante que presentan, uno de los métodos más utilizados para la disposición final de estos lodos es el uso como fertilizante de suelos, en países desarrollados como Estados Unidos, Chile y México establecieron normativas para clasificar la calidad de fertilizante en estos lodos residuales por características fisicoquímicas y microbiológicas. Por tal motivo, en el presente trabajo de investigación se evaluó la calidad de los lodos residuales de la segunda laguna de estabilización de la ciudad de Puno debido a que esta última presenta una menor carga contaminante en sus lodos residuales respecto a la primera laguna. Se plantearon los siguientes objetivos.

1.1. Objetivo General

- Evaluar la calidad de los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de "El Espinar"-Puno.

1.2. Objetivos Específicos

- Evaluar los valores de los parámetros fisicoquímicos (pH, humedad, nitrógeno total, fósforo total y potasio total) en los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de "El Espinar"-Puno.
- Evaluar los valores de los parámetros de metales (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb y Zn) en los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de "El Espinar"-Puno.
- Evaluar las propiedades fertilizantes de los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de "El Espinar"-Puno.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la Investigación

Cerne *et al.* (2019) evaluó la calidad de muestras de lodos residuales municipales en nueve plantas de tratamientos de aguas con diferentes sistemas de estabilización en Croacia. Obteniendo como resultados altas concentraciones potasio en un rango entre 0,9 y 3,7 g/kg y nitrógeno en un rango entre 3,0 y 7,2 % presentes en lodos residuales indican su potencial para reemplazar a los fertilizantes minerales. En cuanto a los parámetros de metales determinados en este estudio, los resultados para cadmio presento un valor entre 0,7 y 1,1 mg/kg, respecto a cromo los valores estuvieron en un rango entre 21,1 y 88,6 mg/kg, en cuanto a cobre presentó valores en un rango de 103,6 mg/kg a 393,3 mg/kg, mercurio presentó valores entre 0,9 y 1,8 mg/kg, molibdeno presentó un rango entre 3,5 y 5,7 mg/kg, en cuanto a níquel 9,5 y 44,2 mg/kg, plomo presento un valor de 32,8 y 51,2 mg/kg y zinc presentó valores entre 650,0 mg/kg y 1112,7 mg/kg, concluyendo que ocho de las nueve muestras de lodos residuales municipales analizados presentan valores por debajo de los límites croatas y europeos, los cuales son adecuados como agregado del suelo y no representan un riesgo significativo para la salud humana, el medio ambiente y la salud ambiental.

Calderón de la Cruz (2018) realizó la caracterización de los lodos residuales provenientes de cinco plantas de tratamiento de aguas residuales de la empresa prestadora de servicios SEDAPAL en la ciudad de Lima, obteniendo valores de pH entre un rango de 6,6 y 8,5. Respecto a los parámetros de metales obtuvo valores como el arsénico que presentó un valor entre un rango de 0,05 y 12,23 mg/kg, cadmio su valor estuvo comprendido entre 0,83 y 7,90 mg/kg, en cuanto a plomo presento valores entre 0,50 y 381,00 mg/kg, cobre presentó un rango entre 85,93 y 620,00 mg/kg, mercurio obtuvo un valor entre 0,73 y 7,45 mg/kg, en cuanto a níquel sus valores fueron establecidos entre 3,49 y 86,50, respecto a cromo sus valores estuvieron entre 3,60 y 193,00 mg/kg, y finalmente en cuanto el molibdeno presentó valores entre 0,10 y 6,50 mg/kg. Llegando a concluir que los valores como el plomo superan la normativa chilena o brasileña en las cinco plantas de tratamiento, en cuanto a arsénico y mercurio presentaron valores

superiores en la norma chilena y brasileña únicamente en una planta de tratamiento de aguas residuales.

Mancipe & Triviño (2018) caracterizó los parámetros de metales en los lodos en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del municipio de Sotaquirá, ubicado en el departamento de Boyacá, Colombia determinó que el arsénico es de un valor menor a 0,01 mg/kg, en cadmio presentó un valor menor a 0,06 mg/kg, en cuanto cobre su valor fue de 3,71 mg/kg, cromo presentó un valor menor 0,1 mg/kg, en mercurio se determinó un valor de menor a 0,01 mg/kg, molibdeno no presentó valores, en cuanto a níquel su valor fue de 0,11 mg/kg, plomo presentó un valor menor 0,3 mg/kg y finalmente zinc presentó un valor de 47,15 mg/kg. Ninguno de estos valores superó la normativa nacional vigente.

Serpa (2017) evaluó la presencia de cadmio y mercurio en lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar” en la ciudad de Puno, tomando un total de cuatro muestras en puntos diferentes de la laguna, obteniendo como resultado promedio de cadmio un valor de 1,0213 mg/kg y respecto a mercurio un valor de 0,5125 mg/kg.

Gualoto (2016) evaluó los parámetros fisicoquímicos de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Nono de Quito obteniendo el valor de pH 6,5, humedad 90 %, nitrógeno total en 4,45819 % y fósforo 1223,6 mg/kg.

García (2016) realizó la medición de los parámetros fisicoquímicos de los lodos residuales en la planta de aguas residuales de Ucubamba, Cuenca tales como el pH cuyo valor promedio es 6,00 y humedad de 68,00 %.

Montiel et al (2016) realizó la caracterización de parámetros de metales presentes en lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Torreón, Cahuila, obteniendo como valores de parámetros metales como arsénico menor a 0,001 mg/kg, cadmio 37,67 mg/kg, cromo 8,56 mg/kg, cobre 37,39 mg/kg, plomo 36,75 mg/kg, mercurio menor 0,001 mg/kg, níquel de 5,5662 mg/kg y zinc de 331,30 mg/kg.

More (2015) realizó la caracterización de lodos de dos PTAR'S denominadas Copare y Magollo en la ciudad de Tacna tomando muestras de lechos de secado en diferentes puntos procurando que la muestra sea representativa, obteniendo como resultados para la planta de Copare, en cuanto a pH 6,64, respecto a macronutrientes nitrógeno presentó un valor de 1,68 %, fósforo 61,50 ppm y potasio 634,00 ppm, respecto a la planta de Magollo, presentó valores de pH igual a 6,81, en cuanto macronutrientes nitrógeno presentó un valor de 1,22 %, fósforo en 48,60 ppm y potasio 551,00 ppm. En referencia a los metales en la planta de Copare obtuvo como resultado en cuanto al valor de arsénico fue de 88,61 mg/kg, cadmio 4,481 mg/kg, cobre 404,82 mg/kg, cromo 40,24 mg/kg, mercurio 3,4864 mg/kg, molibdeno 8,43 mg/kg, níquel 19,01 mg/kg, plomo 311,07 y zinc 1252,05 mg/kg y la planta de Magollo presentó un valor de arsénico en 59,04 mg/kg, cadmio en 2,577 mg/kg, cobre 251,73 mg/kg, cromo en 21,70 mg/kg, mercurio 1,9547 mg/kg, molibdeno 8,96 mg/kg, níquel en 16,51 mg/kg, plomo 190,13 y zinc en 870,25 mg/kg.

Chunga (2014) estableció caracterizar los lodos residuales provenientes de la laguna de estabilización de la universidad de Piura, Perú para tal fin muestreó cinco puntos de muestreo a distintas profundidades, respecto a los parámetros fisicoquímicos obtuvo resultados como la humedad entre 1,36 y 38,92 %, pH presentó un resultado entre 7,45 y 8,16, en cuanto a nitrógeno obtuvo un resultado entre 0,39 y 0,78 % y fósforo estuvo entre un rango de 0,0125 y 0,0160 %.

Feria y Martinez (2014) evaluó 8 muestras de la laguna de estabilización del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Montería, Colombia determinó a excepción del mercurio, las concentraciones de metales pesados en las muestras de lodo, estuvieron por debajo del límite detectable del método de análisis utilizado, lo que indica la poca presencia de estos contaminantes en los lodos en el fondo de la laguna.

Gálvez (2014) caracterizó los lodos residuales de la planta de tratamiento de efluentes domésticos la sede del club Regatas Lima son provenientes del sedimentador secundario, respecto a pH su valor fue de 6,19, en cuanto humedad el valor fue de 8,11 %, respecto a nitrógeno fue de 3,99%, en cuanto a fósforo se cuantificó en óxido fosfórico reportado un valor de 4,52%, potasio de igual manera se cuantificó en óxido de potasio

un valor de 0,47%, en cuanto metales pesados determinó plomo en un valor de 22,34 ppm y cadmio de 7,28%, estos metales pesados no excedieron la norma 40 CFR 503-EPA.

Bedoya *et al.* (2013) realizó la caracterización de los lodos residuales en la planta San Fernando en la ciudad de Antioquía, Colombia para tal fin analizó 12 muestras. Concluyendo que las concentraciones de cromo presentan valores entre un rango de 299,6 a 894,6 ppm, cadmio entre 0,003 a 11,17 ppm, en cuanto a plomo los valores analizados estuvieron entre 0,01 ppm y 94,6 ppm y respecto al valor de níquel se encuentra en un rango entre 1,5 ppm y 398,2 ppm, estuvieron dentro de los valores permitidos en las normas nacionales e internacionales. Respecto al contenido de macronutrientes obtuvo que la concentración de nitrógeno evidenció un valor entre 2,0 y 4,5 %, respecto a la concentración de fósforo entre 0,4 y 4,9 % y la concentración de potasio presentó un valor entre 0,2 y 2,6 %, estas concentraciones son favorables para el crecimiento normal de la mayoría de las plantas.

Silva *et al.* (2013) determinó las características fisicoquímicas de los lodos en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cañaveralejo en la ciudad de Cali, Colombia obteniendo como valor promedio de pH un valor de 7,1 a 9,0 y humedad entre 64,5-74,2%, respecto a los parámetros de macronutrientes obtuvo un valor promedio de nitrógeno igual 23,1 g/Kg, fósforo un valor de 10,2 g/kg y potasio 0,9 g/kg y finalmente evaluó parámetros de metales en zinc cuyo valor promedio fue de 1092,8 g/kg y cobre presentó un valor de 218,1 g/kg.

MMAMRM (2009) indicó que los parámetros agronómicos como el pH, humedad, nitrógeno, potasio y fósforo analizados indican que los lodos representan una fuente de nutrientes adecuada para su aplicación al suelo, aunque debido a su gran variabilidad en función de su origen y tratamiento.

2.2. Referencias Teóricas

2.2.1. Laguna de estabilización

Las lagunas son estructuras simples de fácil operación y mantenimiento que se basan en el proceso de autpurificación. Generalmente están constituidas por embalses naturales o artificiales, en tierra, expuestos al aire y al sol, por lo que las condiciones climáticas influyen significativamente en el funcionamiento de este dispositivo de tratamiento (Menéndez y Díaz, 2006). Las lagunas de estabilización constituyen una forma popular de tratamiento de aguas residuales en países en desarrollo debido a su bajo costo de inversión (excepto por lo que se refiere al requerimiento del terreno), a los bajos costos de operación, a su habilidad para asimilar cargas orgánicas o hidráulicas fluctuantes y a su éxito en la eliminación de elementos patógenos (Silva, 2004).

2.2.2. Operación de lagunas de estabilización en el tratamiento de aguas residuales.

Paralelamente a la operación de tratamiento del agua residual doméstica, en lagunas de estabilización se producen por decantación lodos con una proporción de materia orgánica significativa, un fuerte contenido de bacterias y virus patógenos. Consecuentemente, un objetivo secundario pero paralelo al principal es disponer adecuadamente de los lodos para utilizarlos con diferentes propósitos relacionados con su condición orgánica (Moret, 2014). Es un proceso de estabilización natural, que consiste en mantener el desague en las lagunas por un período de retención suficientemente elevado hasta lograr la estabilización de la materia orgánica, a través de la simbiosis entre las algas, productoras de oxígeno y las bacterias que lo utilizan para metabolizar la materia orgánica produciendo CO₂, que a su vez lo consumen las algas. Un sistema de lagunas de estabilización opera bajo condiciones totalmente naturales (OPS-OMS, 2009)

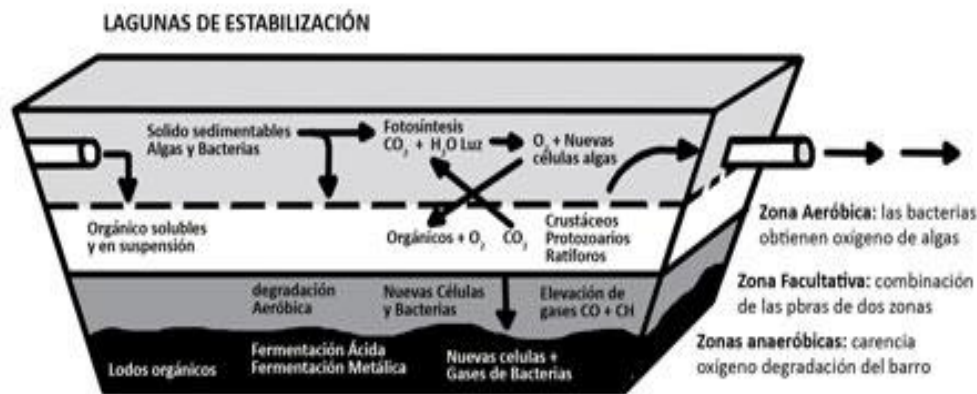


Figura 1: Operación de una laguna de estabilización

FUENTE: Infante (2012)

2.2.3. Ventajas e inconvenientes de las lagunas de estabilización.

Rodríguez (2008) estableció las siguientes ventajas e inconvenientes en las lagunas de estabilización.

➤ Ventajas

- ❖ La estabilización de la materia orgánica alcanzada es muy elevada.
- ❖ La eliminación de microorganismos patógenos es muy superior a la alcanzada mediante otros métodos de tratamiento.
- ❖ Presentan una gran flexibilidad en el tratamiento de puntas de carga y caudal.
- ❖ Desde el punto de vista económico, es mucho más barato que los métodos convencionales, con bajos costos de instalación y mantenimiento.
- ❖ El consumo energético es nulo.
- ❖ En el proceso de lagunaje se generan biomásas potencialmente valorizables una vez separada del efluente.

➤ Desventajas

- ❖ La presencia de materia en suspensión en el efluente, debido a las altas concentraciones de fitoplancton.

- ❖ Ocupación de terreno, que es superior a la de otros métodos de tratamiento.
- ❖ Las pérdidas considerables de agua por evaporación en verano.

2.2.4. Lodos residuales

EPA (1994) define al lodo residual como el residuo sólido semi-sólido o líquido generado al tratar las aguas cloacales domésticas en una planta de tratamiento. El lodo es definido como la suspensión de un sólido en un líquido proveniente de los procesos de potabilización o del tratamiento de aguas residuales municipales (MAVDTC, 2017). El lodo producido en los procesos que implican el tratamiento de las aguas residuales por lo general pueden ser un líquido o un líquido semisólido con gran contenido de sólidos entre 0,25 y 12%. El manejo de los lodos varían según la fuente y el tipo de aguas residuales de las que se derivan, del proceso requerido para el tratamiento de aguas residuales.

2.2.5. Generación de lodos residuales en el tratamiento de aguas residuales (biosólidos).

En los procesos de tratamiento de aguas residuales se produce la generación de lodos. La cantidad y el intervalo de purga de estos lodos dependen de la carga de la PTAR y de la tecnología aplicada (SUNASS, 2015). Como resultado de la remoción de contaminantes, en los procesos de tratamiento se producen diferentes subproductos, siendo el más importante los lodos. Los lodos provienen de las etapas de tratamiento primario y tratamiento secundario, y sus características dependen del proceso donde se originaron y del tratamiento que han recibido. El volumen y masa de éstos también depende del proceso donde se produjeron (Limón, 2013). En la Figura 2, Mercado (2013) describe como produce la formación de los lodos y las reacciones consecuentes.

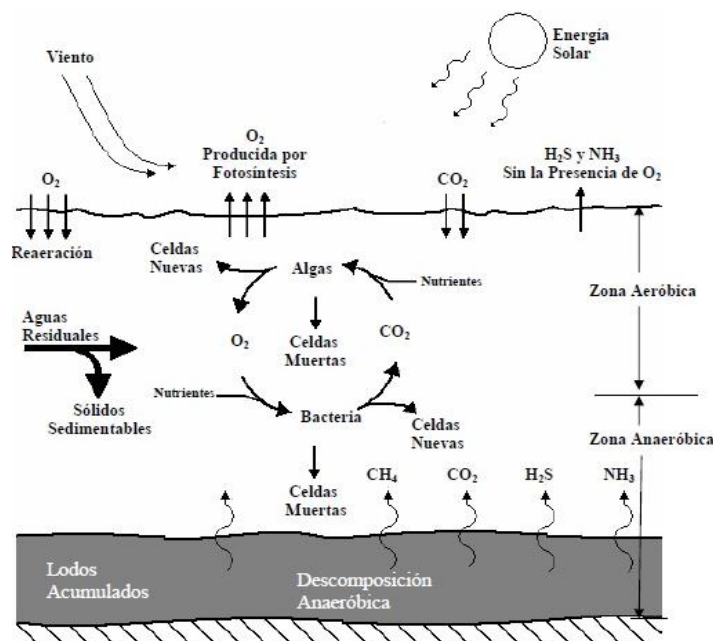


Figura 2: Formación de lodos en una laguna de estabilización

FUENTE: Mercado (2013)

2.2.6. Tipos de lodos residuales

Pérez (2016) estableció los siguientes tipos de lodos residuales

- ❖ **Lodo crudo:** Es aquel que no ha sido tratado ni estabilizado, que puede extraerse de plantas de tratamiento de aguas residuales. Tiende a producir la acidificación en la digestión y olor.
- ❖ **Lodos primarios:** Son aquellos que se extraen de la sedimentación primaria, en la cual se remueven sólidos sedimentables, consiste principalmente en arena fina, sólidos inorgánicos y orgánicos, generalmente contiene una gran cantidad de material orgánico. La consistencia se caracteriza por ser un fluido denso con un porcentaje en agua entre 93 % y 97 % de color marrón a gris.
- ❖ **Lodos activos:** Es el lodo resultante del tratamiento biológico de aguas residuales, que se caracteriza por la interacción de distintos tipos de microorganismos. El

lodo activo esta en forma de flóculos que contienen biomasas y minerales absorbidos y almacenados.

- ❖ **Lodos secundarios:** Son lodos generados en el tratamiento secundario biológico de aguas residuales, que convierten residuos o substratos solubles en biomasa, también incluyen la materia particulada que permanece en el agua después de la sedimentación primaria y que se incorpora en la biomasa. Son de color marrón, no suelen generar olor con tanta rapidez, sin embargo producen un olor tan fuerte como el lodo primario.

- ❖ **Lodos digeridos:** Los lodos digeridos se producen en los procesos de digestión aeróbica, de color negro, contienen cantidades relativamente grandes de gas, si está bien digerido prácticamente no produce olor o produce un olor relativamente débil que no es desagradable, Tiene una proporción de materia orgánica entre el 45 a 60 %.

2.2.7. Clasificación de lodos residuales

Según la EPA (1994) la clasificación de lodos residuales está en función de la concentración de metales y su clase de biosólido.

2.2.7.1. Por la concentración de metales:

- ❖ **Lodo peligroso:** Se consideran lodos peligrosos a los lodos cuyas concentraciones de contaminantes tóxicos supera lo establecido por la EPA.

- ❖ **Lodo no peligroso:** Las concentraciones de sus componentes son inferiores a los valores establecidos por la EPA, pueden ser de buena calidad según su contenido de metales en forma mas rigurosa según la normatividad propuesta.

2.2.7.2. Por la clase de biosólidos

- ❖ **Lodo clase A:** No contienen niveles detectables de agentes patógenos, satisfacen los requerimientos estrictos de reducción de atracción de vectores y niveles bajos de metales y solo tienen que solicitar permisos para garantizar que estas normas tan estrictas han sido cumplidas.
- ❖ **Lodo clase B:** Reciben tratamiento, pero aún contienen niveles detectables de agentes patógenos, estos tienen restricciones al acceso público. La planeación del manejo de nutrientes garantiza que se apliquen biosólidos a la tierra agrícola en las cantidades y las calidades apropiadas.

2.2.8. Reutilización de lodos residuales

Actualmente, se genera una carga potencial de lodos residuales en exceso, constituyendo una creciente preocupación su disposición final, así como los costos económicos y ambientales debido a sus componentes tóxicos como es el contenido de metales pesados (Francisco *et al.*, 2011) a falta de lugares autorizados para la disposición final de lodos y residuos sólidos de las PTAR y falta de regulación en el manejo de lodos para reúso agrícola (SUNASS, 2015). La reutilización de los lodos residuales incorporados como mejoradores de la fertilidad de suelos es viable, esto se basa en los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a los mismos y al estudio teórico realizado de la transferencia de nutrientes de dichos lodos a los suelos ya mencionados (Campos *et al.*, 2009).

El agua tratada típicamente regresa a los ecosistemas, mientras que los lodos por lo general son dispuestos en rellenos sanitarios (Aguilar y Blanco, 2018) Para facilitar el manejo del lodo generalmente se aplica alguna forma de deshidratación del lodo antes de su disposición final (SUNASS, 2015).

2.2.9. Normas regulatorias aplicadas para la utilización de biosólidos como fertilizantes.

La normativa nacional aplicable para este caso fue el D.S. N° 015-2017-VIVIENDA el cual aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, el decreto se refiere a que estos lodos provienen del tratamiento primario y secundario de las PTARs. (Ybañez, 2018).

Las regulaciones de biosólidos en el mundo tienen varias consideraciones. Por ejemplo, establecen límites y parámetros en las concentraciones de metales pesados. En EEUU y la UE existen normativas muy similares al respecto, las cuales han sido imitadas en muchos otros países. Principalmente en Europa, se controla la tasa de aplicación (concentración de metales pesados por hectárea). EEUU recomienda calcular las tasas de aplicación teniendo en cuenta el contenido de nutrientes del Biosólido y los requerimientos de los cultivos agrícolas. Adicionalmente, regula otros metales pesados como arsénico, selenio y molibdeno (Galvis & Rivera, 2013).

2.2.10. Parámetros fisicoquímicos en lodos residuales.

2.2.10.1. Potencial de hidrógeno (pH)

La importancia de la medición del pH durante la estabilización de los lodos radica en la relación directa que existe entre este parámetro y la inactivación de los microorganismos patógenos (Jiménez *et al.*, 2000). Los pH ácidos indican condiciones anaerobias y pH muy altos están relacionados con el contenido en nitrógeno y carbonatos solubles (Vicente y Virgil, 2012).

2.2.10.2. Humedad

El agua es el único ingrediente que está prácticamente presente en casi todas las materias conocidas, tales como orgánicas e inorgánicas y su cantidad, estado físico y dispersión en estas afectan su aspecto, olor, sabor y textura (Galvis y Rivera, 2013). Contenidos bajos favorecen el transporte, pero dificultan el manejo y la aplicación por el

polvo que se origina a la vez que puede esconder una baja estabilidad del lodo residual. A demás, probablemente una humedad muy baja puede haber provocado un incompleto desarrollo del proceso (Vicente y Virgil, 2012).

2.2.11. Parámetros de macronutrientes en lodos residuales.

Vélez (2007), los macronutrientes se pueden considerar como fertilizantes valiosos al igual que la materia orgánica. El lodo contiene concentraciones variadas de otros macro y micro nutrimentos requeridos para el crecimiento de las plantas, algunos constituyentes del lodo, tales como fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg) y fierro (Fe), fácilmente forman compuestos insolubles con los sólidos del lodo y permanecen así en los niveles relativamente altos en el lodo (Carmona, 2006).

2.2.11.1. Nitrógeno Total

Los lodos de plantas de tratamientos de aguas servidas son residuos muy beneficiosos como el nitrógeno y fósforo (Galvis y Rivera, 2013). El contenido en nitrógeno en forma orgánica y amoniacal, en el caso de ser un lodo seco se obtiene mayoritariamente el contenido en nitrógeno orgánico. Es un parámetro que se valora mucho al aplicar el compost en agricultura, desde diferentes puntos de vista. El económico, el energético y el ecológico. Es discutible si es un parámetro al que se le daba exigir un contenido mínimo ya que depende del tipo de materiales que se composten; pero si se están compostando materiales ricos en nitrógeno deberá controlarse a lo largo del proceso (Vicente & Virgil, 2012).

2.2.11.2. Fósforo Total

La aplicación de biosólidos o lodos residuales también provee nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo el nitrógeno y el fósforo (Vicente y Virgil, 2012). Junto con el nitrógeno y el potasio representan los macronutrientes esenciales en los que se basa el cálculo de la dosis de fertilizantes. Se han expresado los contenidos en mg/kg de materia seca de P y en % de P₂O₅ a fin de proporcionar valores

comparables con respecto a fertilizantes minerales que se aplican al suelo (MMAMRM, 2009).

2.2.11.3. Potasio total

Los niveles de nutrientes en el lodo son considerablemente más bajos a los de los fertilizantes comerciales. Especialmente potasio, el cual está usualmente a menos del 0,5% (Carmona, 2006). Los tratamientos donde se aplicó biosólido muestran cantidades significativamente iguales de potasio que el suelo sin ningún tipo de tratamiento, lo que evidencia un escaso aporte por parte del lodo de este elemento en su forma extraíble (Ruesga *et al.*, 2015).

Podemos resaltar que una buena relación del potasio es esencial para todos los microorganismos vivos, además de la importancia en la actividad enzimática, este elemento ayuda en la síntesis de proteínas y carbohidratos. Dentro de los beneficios del potasio para los cultivos encontramos que aumenta la resistencia de la planta a enfermedades (Quintana, 2012)

2.2.12. Parámetros de metales en lodos residuales.

La cantidad de metales en los lodos de depuración depende, en la mayoría de los casos, el tipo de vertido. Los procesos industriales en los que se emplean materias primas que tienen un alto contenido en metales son una importante FUENTE de los mismos en lodos de depuradoras (MMAMRM, 2009), entre más industrializada esté una ciudad, tendrá mayores posibilidades de tener un contenido de metales pesados mayor y será un problema para la aplicación del lodo al suelo (Carmona, 2006).

MMAMRM (2009) clasificó los metales desde el punto de seres vivos se clasifican 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 para que los organismos realicen su ciclo vital, pero que a partir de ciertas concentraciones pueden llegar a ser tóxicos.

- ❖ Elementos como el Cd, Hg y Pb 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.

Los metales representan el factor considerado como más limitante, y su grado de riesgo es función de su fito y zootoxicidad y su facilidad de absorción por las plantas, viniendo condicionado principalmente por las dosis reiteradas de lodos contaminados y las características de los suelos receptores (MMAMRM, 2009).

En la mayoría de normativas o legislaciones, frecuentemente, sólo se fijan los contenidos en metales pesado, siendo poco exigentes en los parámetros más agronómicos (Vicente y Virgil, 2012).

2.2.12.1. Arsénico

Los biosólidos o lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas son residuos nocivos por el arsénico y el mercurio (Galvis y Rivera, 2013). En los cuerpos de agua se acumula en la cadena trófica, su ingestión, aún en dosis bajas, produce desórdenes gastrointestinales, afectación del tejido dérmico y alteraciones del sistema nervioso central (Valderrama, 2013)

2.2.12.2. Cadmio

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. La razón se puede encontrar en que el 85% de los vertidos que recibe la misma son de origen industrial, procedentes de tabacaleras, fabricación de cacerolas y derivados de aluminio entre otros (MMAMRM, 2009). El cadmio depende de la composición del material parental y de la minerología del suelo, por lo general, la absorción de este elemento un proceso relativamente fácil para las plantas (Serpa, 2017)

2.2.12.3. Cobre

El cobre puede ser liberado en el medio ambiente tanto por actividades humanas como por procesos naturales, 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. 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 (MMAMRM, 2009). El cobre (Cu), es importante por sus funciones enzimáticas e interviene en la producción de aminoácidos y en la formación de la clorofila en las plantas (Ramírez & Gallego, 2016)

2.2.12.4. Cromo

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 (MMAMRM, 2009). El cromo en altas concentraciones indican poca viabilidad en suelos agrícolas, ya que pueden causar efectos nocivos cuando los mismos se utilicen como suplemento para el acondicionamiento de suelos, lo cual pudiera afectar la calidad tanto del cultivo como del suelo (Torres *et al.*, 2010)

2.2.12.5. Mercurio

Es uno de los metales más peligrosos, se usa en la fabricación de componentes eléctricos y electrónicos en la industria del papel y en la agricultura (Valderrama, 2013). 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. En la naturaleza, se encuentra normalmente como rojo de cinabrio y, en menor abundancia, como

metalcinabrio negro. A veces los minerales de mercurio contienen gotas pequeñas de mercurio metálico (MMAMRM, 2009)

2.2.12.6. Molibdeno

Es un metal duro plateado-blanco, puede ser liberado al ambiente por la combustión fósil, aguas desechos industriales, el transporte de minerales y de la distribución de aguas residuales, son fácilmente arrastradas por aguas superficiales una vez en el aguas puede añadirse a los sedimentos precipitados; además se encuentra en productos agrícolas utilizadas para el consumo humano y/o de ganados (DSHSEIETG, 2012).

2.2.12.7. Níquel

Un alto contenido en níquel, condicionan la composición físico-química de dicho residuo (González, 2015) .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 altas concentraciones puede ser muy dañino, ya que puede causar varios tipos de cánceres (MMAMRM, 2009)

2.2.12.8. Plomo

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 (MMAMRM, 2009). Principalmente Plomo y otros metales pesados debido a su potencial de

acumulación en los tejidos humanos y su biomagnificación en la cadena alimentaria suscitan preocupaciones medioambientales y sanitarias (Mosquera & Martínez, 2012).

2.2.12.9. Zinc

La mayoría del zinc 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 (MMAMRM, 2009). El zinc (Zn) tiene importancia en la formación y maduración de las semillas, en la fotosíntesis y en la asimilación del nitrógeno y posee parte de la responsabilidad en el crecimiento de las plantas (Ramírez & Gallego, 2016)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de estudio

Se desarrolló en la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar” ubicado entre la isla Espinar y barrio Chanu Chanu, con referencia a tres cuadras del cuartel Manco Capac, en la ciudad de Puno donde se tomó las muestras de lodos residuales.



Figura 3: Laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.

FUENTE: Elaboración propia

Respecto a la determinación de parámetros fisicoquímicos y macronutrientes presentes en lodos residuales se realizó en el Laboratorio de Análisis de Aguas y Suelos en la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional del Altiplano y los parámetros de metales presentes en los lodos residuales se enviaron al laboratorio Slab de Lima.

3.2. Material Experimental

Los lodos residuales extraídos del fondo de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.

3.3. Materiales

- Envases de plástico un 1 L de capacidad
- Matraces Erlenmeyer de 250 mL
- Pipetas 10 mL
- Lunas de Reloj
- Mortero
- Cinta Masqui
- Plumones indelebles, lápices y lapiceros
- Cooler de tecnopor
- Pala metálica

3.4. Equipos

- Balanza analítica
- pH-Metro Marca Pasco
- Mufla
- Destilador
- Espectrofotómetro Genisys 20
- Fotómetro de llama Spectrimun 381L
- Programa Estadístico IBM SPSS

3.5. Reactivos

- Agua destilada
- Agua oxigenada
- Solución Tampón pH 4 y 10
- Catalizador de proteínas
- Ácido sulfúrico (Químicamente Puro)
- Ácido nítrico (Químicamente Puro)
- Ácido bórico al 2%
- Hidróxido de sodio al 40%

- Indicador Tashiro
- Solución floculante
- Carbonato de amonio
- Molibdato de amonio
- Metavanadato de amonio

3.6. Procedimiento Experimental

3.6.1. Toma de muestras

Para el muestreo se estableció el protocolo nacional para monitoreo de biosólidos (R.M. N° 093-2018-VIVIENDA) del mencionado documento se tomaron en referencia lo mencionado en las páginas 5,6,15,16,17,18,19 (Anexo A).

Antes de realizar la toma de muestra, se procedió a tomar procedimientos de seguridad debido a las características nocivas a la salud producidas de los lodos residuales. Para tal fin se utilizaron elementos de protección como barbiquejo, ropa Tibet y guantes de latex (Anexo B). El muestreo se realizó el 07 de junio del 2019. Se estableció 6 puntos ubicados alrededor de la laguna de estabilización dos puntos de entrada, dos puntos intermedios y dos puntos de descarga descritos en la Figura 4.

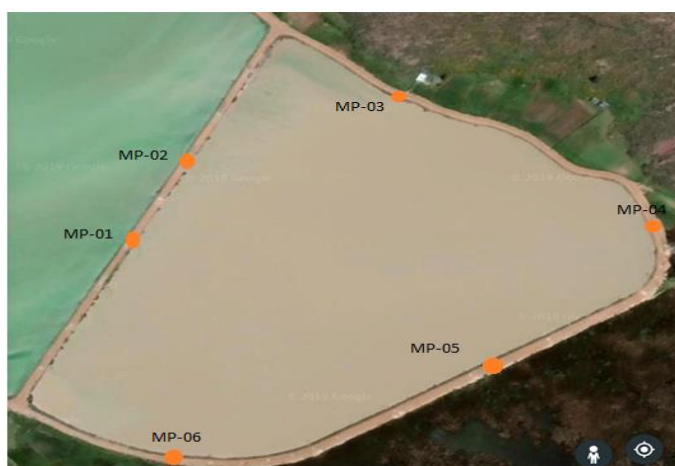


Figura 4: Puntos de muestreo en la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”

FUENTE: Elaboración propia

Para tal fin se esterilizó una pala lavando con agua destilada, procediendo amarrarlo con unos palos para alcanzar la profundidad deseada y con la ayuda de una cinta métrica se midió las profundidades. Antes de extraer la muestra del fondo de la laguna de estabilización se codificó envases de plástico de capacidad de un litro y limpiadas con agua destilada para esterilizarlas. Finalmente se llenó cada uno de los envases con la muestra de lodos (Anexo B).

3.6.2. Medición de parámetros in situ

Se realizaron las mediciones in situ de los siguientes parámetros como se observa en la tabla 1

Tabla 1: Medición de parámetros in situ

PARÁMETROS DE MEDICIÓN	PUNTOS DE MUESTREO					
	MP-1	MP-2	MP-3	MP-4	MP-5	MP-6
Hora de medición	05 h	05 h	06 h	06 h	06 h	06 h
	45 min.	52 min.	00 min.	07 min.	15 min.	28 min.
Coordenadas UTM (m)	Norte: 8247126	Norte: 8247126	Norte: 8247182	Norte: 8246975	Norte: 8246975	Norte: 8246905
	Este: 392684	Este: 392685	Este: 392876	Este: 392886	Este: 392887	Este: 392666
Temperatura (°C)	12,4	12,6	13,0	12,4	12,1	11,7
pH	7,10	7,12	6,8	7,00	7,04	7,30
Profundidad (m)	0,90	0,95	1,00	1,10	1,08	1,16
Altitud (m)	3818	3818	3818	3818	3818	3818

FUENTE: Elaboración Propia

Las coordenadas geográficas se midieron en UTM (Universal Transverse Mercator) por ser una medida relacionada al nivel del mar. En cuanto a la profundidad EMSA-PUNO (2011) menciona que la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar” fue diseñada con una profundidad promedio de 2 metros, los lodos residuales al

no ser distribuidos o removidos disminuyen la profundidad inicial. Con respecto a la temperatura EMSA-PUNO (2011) indica una temperatura de operación en un rango de 12,5 a 15° C similares a las obtenidas en los lodos residuales y con referencia al pH presentan valores similares excepto la muestra MP-3 que presentó un valor de 6,80 según González et. al (2003) a mayor valor de temperatura el valor de pH será menor, la temperatura en el punto MP-3 es de 13,0 °C siendo el mayor valor de todas las mediciones, en el caso del punto MP-6 presenta la temperatura más baja de todas con un valor de 11,7 °C y su pH es el mayor de todas la muestras con un valor de 7,30.

3.7. Métodos para alcanzar los objetivos específicos.

3.7.1. Evaluación de los valores de los parámetros fisicoquímicos (pH, humedad, nitrógeno total, fósforo total y potasio total) en los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.

Para alcanzar el objetivo específico 1 se aplicó la siguiente metodología:

Realizado el muestreo de la laguna de estabilización se procedió a trasladar las muestras hacia al Laboratorio de Aguas y Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica para la evaluación de los parámetros fisicoquímicos.

3.7.1.1. Determinación de pH

El método utilizado fue el de potenciometría que consiste en los siguientes procedimientos. Previamente se calibró el pH-metro con soluciones Tampón de pH 4 y pH 10, se agitó la muestra para asegurar su homogeneidad y se procedió a introducir el electrodo dentro de la muestra de lodo para luego medir por un tiempo de un minuto hasta que el pH-metro se estabilice. Se repitió el mismo procedimiento para todas las muestras (Anexo C.2)

3.7.1.2. Determinación de Humedad

Se utilizó el método gravimétrico para tal fin se realizó los siguientes pasos. Se pesaron las muestras de lodos residuales en cantidad de 100 gramos aproximadamente en una luna de reloj, posteriormente se pusieron a la mufla para que la humedad desaparezca de las muestras, la temperatura sometida fue de 105 °C por un tiempo de 24 horas (Anexo C.2), finalmente se pesan nuevamente las muestras. El porcentaje de humedad se determinó con la siguiente formula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W_i - W_f}{W_i} * 100$$

Donde:

W_i = Peso de muestra humedad + Peso de luna de reloj

W_f = Peso de muestra seca + Peso de luna de reloj

3.7.1.3. Preparación de muestra para determinación de nitrógeno, fósforo y potasio.

Antes de realizar la determinación de nitrógeno, fósforo y potasio, la muestra seca aproximadamente 50 gramos se procede a moler en un mortero por un tiempo de 1 hora, en seguida se procede a realizar un tamizado en malla -200, finalmente se preservan las muestras secadas y tamizadas en bolsas de plástico con su respectiva codificación.

3.7.1.4. Determinación de nitrógeno.

El método utilizado fue Kjeldahl para tal fin se realizó los siguientes procedimientos. Preparada la muestra se procedió a pesar 0,50 gramos de muestra, se llevó la muestra a una fiola de 100 mL, una pizca de catalizador, posteriormente se agregó 3 mL de muestra de H₂SO₄, se llevó a desecar y digestión durante 1 hora aproximadamente hasta que la fiola presente una coloración clara, dejar enfriar por una media hora (Anexo D.1).

A continuación, se procedió a lavar las paredes de la fiola con agua destilada, transvasando el líquido hacia un balón de 1 L de capacidad y lavando continuamente la fiola hasta que toda la muestra se haya disuelto completamente y no queda ningún residuo

en la fiola hasta 100 mL aproximadamente, en un recipiente se preparó una solución de hidróxido de sodio al 40% para necesario para realizar la destilación (Anexo D.1).

Posteriormente se procedió a destilar la muestra, el destilado se recibe en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, el que contiene 10 mL de ácido bórico (H_3BO_3) al 2% y 3 a 5 gotas de indicador tashiro, la destilación terminó hasta que el color de la muestra cambia a un color morado tenue. Finalmente se procedió a titular la muestra con H_2SO_4 hasta que el viraje cambie de un color morado tenue hasta un color verde. Se anotó el volumen de gasto y se aplicó la siguiente fórmula.

$$\% N = \frac{V_g * meq N * N_{H_2SO_4} * 100}{W_{muestra}}$$

Donde:

% N= Porcentaje de nitrógeno

V_g = Volumen de gasto (ml)

$N_{H_2SO_4}$ = Normalidad del H_2SO_4 (meq-g/ml) = 0,200 N

meq N = Miliequivalente gramo de N (g/meq-g) = 0,014 g/meq-g

$W_{muestra}$ = Peso de muestra (g) = 0,500 g

Para simplificar la ecuación reemplazamos los valores

$$\%N = \frac{V_g * 0,20 * 0,014 * 100}{0,50} = 0,28 * V_g$$

3.7.1.5. Determinación de potasio

En el caso del potasio el método a utilizar fue el método Pratt realizando los siguientes procedimientos. Se pesó 5 gramos de lodo residual y colocándolo en un matraz Erlenmeyer, en seguida se agregó 25 mL de H_2SO_4 , se agitó por 10 minutos agregando 25 mL de solución floculante, nuevamente se agitó por 3 minutos y dejando reposar por 15 a 20 minutos o hasta el líquido sobrenadante esté completamente claro (Anexo D.2).

Se tomó 1,5 mL de la solución clara sobrenadante, agregando posteriormente 1,5 mL de una solución de carbonato de amonio y mezclar, de la anterior muestra se tomó

1,5 mL y se diluye con 12,5 mL de agua destilada, posteriormente llevar al fotómetro de llama.

3.7.1.6. Determinación de fósforo

El método utilizado para la determinación de fósforo fue el método de amarillo Vanadomolibdofosfórico se realizaron los siguientes procedimientos. Para determinar potasio se pesó 0,250 gramos de muestra en un vaso de precipitados, agregando 3 mL de H_2SO_4 (QP), calentando por 40 minutos sobre una cocinilla en un extractor de gases, agregando agua oxigenada 3 a 5 veces lavando las paredes del vaso hasta que la solución sea transparente y se afora en una fiola hasta 50 mL. A esta preparación se le denomina solución madre.

Solución A: Se disolvió 2,5 gramos de molibdato de amonio en 40 mL de agua.

Solución B: Se disolvió 0,125 gramos de metavanadato de amonio en 30 mL de agua hirviendo, dejar enfriar y agregar 25 mL de HNO_3 concentrado, nuevamente enfriar a temperatura ambiente. Finalmente se vertió la solución A en la solución B en una fiola de 100 mL diluyendo hasta el enrase.

Posteriormente se pipeteó 2 mL de solución madre y se trasvasó a una fiola de 10 mL, se añadió 3 mL de una solución de bicarbonato de sodio 0,5 M y 5 mL de solución A y B, dejando que el color se desarrolle.

Finalmente se procede a lecturar en el espectrofotómetro de llama a una longitud de onda de 470 nm.

3.7.2. Evaluación de los valores de los parámetros de metales (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb y Zn) en los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.

Para alcanzar el objetivo específico 2 se utilizó la siguiente metodología:

Una vez obtenidas las muestras se procedió a trasladarlas hacia al laboratorio de aguas y suelos de la escuela profesional de ingeniería agronómica para su conservación y envío posterior al laboratorio Slab SAC con sede en la ciudad de Lima.

Para la determinación de los parámetros de metales se realizó una digestión previa con el método EPA 3051A (2007) descrito en la figura 5 y posterior análisis con el equipo ICP de masa con el método EPA 6020 (1994) descrito en la figura 6.

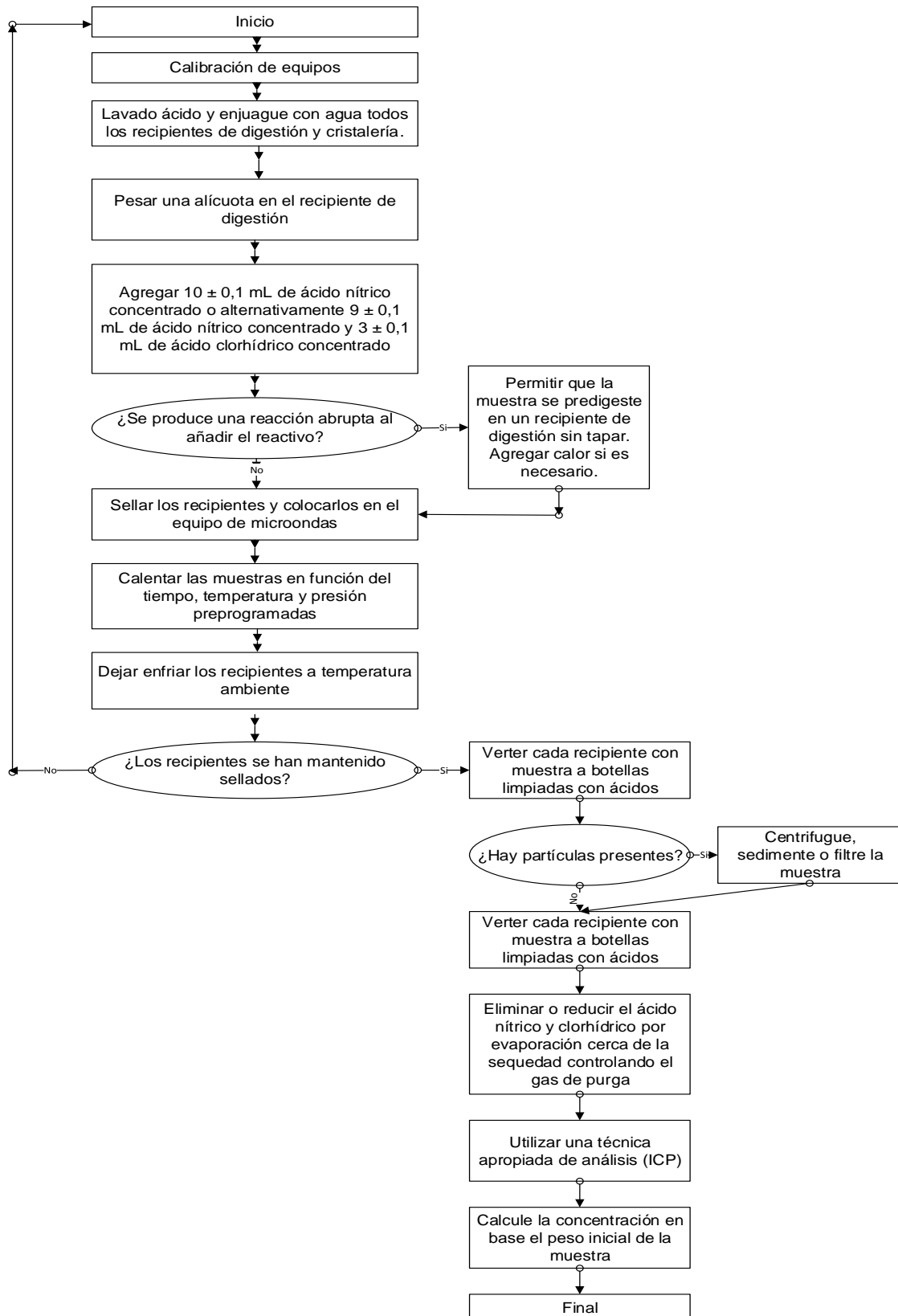


Figura 5 : Digestión ácida asistida de microondas de sedimentos, lodos, suelos y aceites.

FUENTE: Método EPA 3051A (2007)

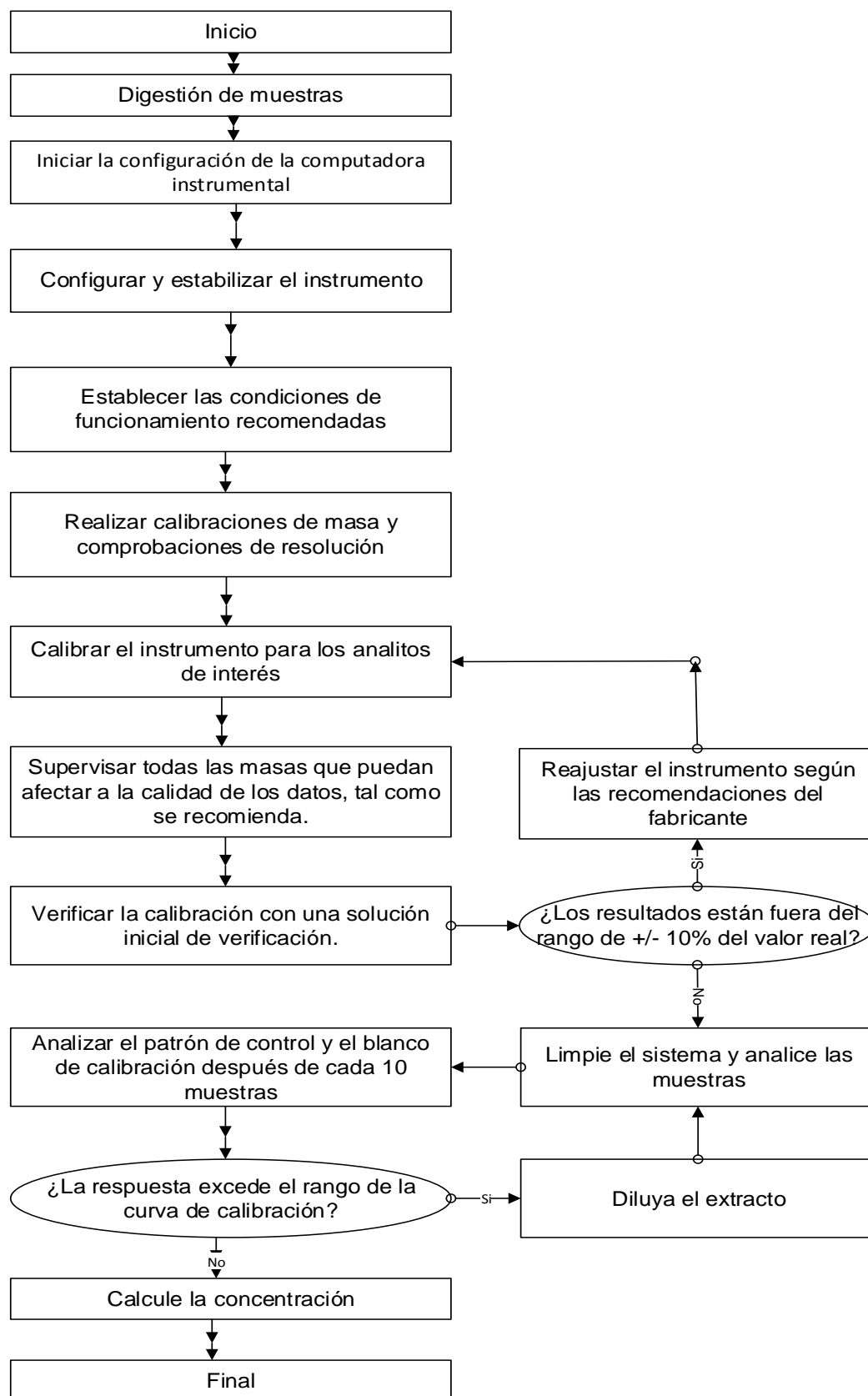


Figura 6: Análisis químico por ICP-Espectrometría de masas.

FUENTE: Método EPA 6020 (1994)

3.7.3. Evaluación de las propiedades fertilizantes de los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.

Para alcanzar el objetivo específico 3 se utilizó la siguiente metodología:

Obtenidos los valores de parámetros fisicoquímicos, macronutrientes y metales se realizará un comparación con la norma nacional (D.S. N° 015-2017-VIVIENDA) y con la norma internacional (40 CFR parte 503 EPA)

3.8. Análisis estadístico

3.8.1. Análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos en lodos residuales.

El análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos a utilizar fue el Análisis ANOVA de un factor en el programa estadístico IBM SPSS.

Tabla 2: Estadísticos descriptivos de los parámetros fisicoquímicos de los lodos residuales.

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	Media	Desviación Estándar	Varianza	Valor Mínimo	Valor Máximo	Significancia
pH (unidades)	7,47	0,10	0,01	7,30	7,59	0,764
Humedad (%)	72,39	3,20	10,26	68,95	76,35	0,952
Nitrógeno Total (%)	2,25	0,59	0,35	1,55	2,90	0,212
Fósforo Total (%)	1,394	0,43	0,19	1,049	1,990	0,674
Potasio Total (ppm)	3827	61,15	3740	3740	3903	0,978

FUENTE: Elaboración Propia

Estos valores son referenciales para el manejo del análisis ANOVA a excepción de la significancia, todos los parámetros fisicoquímicos son superiores al valor de

significancia ($\alpha=0,05$) por lo tanto se establece que los valores de las muestras en toda la laguna de estabilización estadísticamente no presentan diferencias significantes.

3.8.2. Análisis estadísticos de los parámetros de metales en lodos residuales.

El análisis estadístico de los parámetros de metales a utilizar fue el Análisis ANOVA de un factor en el programa estadístico IBM SPSS.

Tabla 3: Estadísticos descriptivos de los parámetros de metales de los lodos residuales.

PARÁMETROS DE METALES (mg/kg)	Media	Desviación Estándar	Varianza	Valor Mínimo	Valor Máximo	Significancia
Arsénico	3,80	1,81	3,27	1,88	7,18	0,352
Cadmio	0,45	0,16	0,03	0,27	0,69	0,334
Cobre	19,17	4,50	20,22	15,27	26,93	0,386
Cromo	1,73	0,75	0,56	0,84	2,43	0,297
Mercurio	0,13	0,17	0,03	0,05	0,47	0,514
Molibdeno	1,25	0,44	0,19	0,80	1,91	0,176
Niquel	3,40	0,48	0,23	2,99	4,18	0,442
Plomo	4,29	2,05	4,22	0,57	6,71	0,374
Zinc	87,52	46,46	2158,44	40,43	158,75	0,105

FUENTE: Elaboración Propia

Estos valores son referenciales para el manejo del análisis ANOVA a excepción de la significancia, todos los parámetros de metales son superiores al valor de significancia ($\alpha=0,05$) por lo tanto se establece que los valores de las muestras en toda la laguna de estabilización estadísticamente no presentan diferencias significantes.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultado y discusión de la evaluación de los parámetros fisicoquímicos en los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.

Realizados los análisis fisicoquímicos en el laboratorio de ciencias agrarias de las muestras de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno. Se obtuvieron los siguientes resultados descritos en la siguiente tabla.

Tabla 4: Parámetros fisicoquímicos en los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.

PARÁMETROS FISICO- QUÍMICOS	PUNTOS DE MUESTREO						Valor Promedio
	MP-01	MP-02	MP-03	MP-04	MP-05	MP-06	
pH	7,48	7,42	7,45	7,30	7,56	7,59	7,47
Humedad (%)	71,730	71,620	76,177	76,354	69,498	68,946	72,388
Nitrógeno Total (%)	1,79	1,55	2,71	2,70	1,82	2,90	2,25
Fósforo Total (%)	1,206	1,058	1,898	1,049	1,990	1,160	1,394
Potasio Total (ppm)	3875	3798	3856	3790	3903	3740	3827

FUENTE: Elaboración Propia

En cuanto al pH los lodos residuales presenta un valor entre 7,30 y 7,59 los cuales son ligeramente básicos, Serpa (2017) midió los pH en los lodos residuales de la laguna estabilización secundaria de “El Espinar” determinando un valor entre 6,5 a 8 concidiendo con los resultados obtenidos en esta investigación y Quintana (2012) determinó que el rango de pH fue entre 7,5 y 8,5 de los lodos residuales provenientes de la PTAR-Cañaveralejo Cali presentando valores similares a los establecidos, el valor de

pH se debe básicamente a la alta cantidad de detergentes y jabones que se producen por la actividad turística en la ciudad y tienden a cambiar el pH a ligeramente básico. La humedad de los lodos residuales estuvo comprendido entre 68,946 % y 76,354 %, Pérez (2016) obtuvo como resultado un valor de 68% en los lodos residuales de la PTAR Ucubamba Cuenca, que es un valor similar a los resultados obtenidos, en cuanto a Bedoya *et al.* (2013) el valor de humedad estuvo en un rango entre 59,4% y 66,5% diferenciando en un pequeño margen respecto a los resultados obtenidos.

Respecto a los macronutrientes nitrógeno presentó valores entre 1,55 y 2,90 %, More (2015) caracterizó los lodos residuales de dos PTARS de Copare cuyo valor fue de 1,68 % y Magollo su valor fue de 1,22 % ambas ubicadas en Tacna los cuales son similares a los resultados obtenidos y Bedoya *et al.* (2013) realizó la caracterización de los lodos residuales en la planta San Fernando en la Ciudad de Antioquía, Colombia evidenció un valor entre 2,0 y 4,5 % presentan similitud y valores aproximados con los resultados obtenidos.

En cuanto al fósforo total presentaron valores en un rango de 1,049 y 1,990 % valores que están en el rango establecido por Bedoya *et al.* (2013) que fructua entre 0,4 y 4,9%, en cuanto a Gálvez (2014) que caracterizó los lodos residuales de la planta de tratamiento de efluentes domésticos la sede del club Regatas Lima obteniendo como resultado promedio de 4,52 % cuyo resultado presenta un valor ligeramente superior a los resultados obtenidos.

Con respecto al potasio total los lodos residuales presentaron valores entre 3740 y 3903 ppm los cuales son menores en pequeño margen con los resultados obtenidos por Gálvez (2014) que caracterizó los lodos residuales de la planta de tratamiento de efluentes domésticos la sede del club Regatas Lima obteniendo como resultado 0,47 % (4700 ppm) y en cuanto Bedoya *et al.* (2013) presentó valores entre 0,2 y 2,6 % (2000 ppm y 26000 ppm), los resultados obtenidos están en el rango obtenidos por este autor.

4.2. Resultado y discusión de la evaluación de los valores de los parámetros de metales (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb y Zn) en los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.

En la tabla 5 se establecen los resultados obtenidos para parámetros de metales.

Tabla 5: Parámetros de metales en los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.

PARÁMETROS DE METALES (mg/kg)	PUNTOS DE MUESTREO						Valor Promedio
	MP-01	MP-02	MP-03	MP-04	MP-05	MP-06	
Arsénico	2,72	3,60	1,88	3,70	7,18	3,72	3,80
Cadmio	0,55	0,27	0,69	0,28	0,40	0,50	0,45
Cobre	21,74	15,27	15,90	18,86	26,93	16,29	19,17
Cromo	1,42	0,84	2,43	2,38	2,37	0,96	1,73
Mercurio	0,05	0,05	0,47	0,05	0,12	0,05	0,13
Molibdeno	0,80	0,93	1,52	1,43	1,91	0,93	1,25
Niquel	4,18	3,07	2,99	3,42	3,72	3,01	3,40
Plomo	4,48	0,57	4,06	4,52	6,71	5,42	4,29
Zinc	108,92	158,75	40,43	62,46	110,48	44,07	87,52

FUENTE: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos para el arsénico en los lodos residuales están entre un rango de 1,88 y 7,18 mg/kg. Calderón de la Cruz (2018), obtuvo como resultado para el arsénico entre 0,05 y 12,23 mg/kg los cuales comprenden los rangos obtenidos. Para el caso del cadmio en un rango 0,27 y 0,69 mg/kg, Cerne *et al.* (2019) que determinó el valor de cadmio en los lodos residuales de las plantas de Croacia con respecto presento un valor entre 0,7 y 1,1 mg/kg superando los valores obtenidos en los lodos residuales. En referencia a cobre los valores obtenidos estuvieron en valores entre 15,27 y 26.93 mg/kg los cuales son menores respecto a Montiel *et al.* (2016) que obtuvo un valor es 37,39 mg/kg en los lodos residuales de PTAR Torreón, Cahuila.

En cuanto a Cromo se obtuvo un resultado en un rango de 0,84 y 2,43 mg/kg al igual que el cobre presentaron valores menores respecto a Montiel *et al.* (2016) que obtuvo un valor de 8,56 mg/kg. Con referencia al Mercurio se obtuvo valores entre 0,05 y 0,47 mg/kg los cuales son menores a los obtenidos por Serpa (2017) cuyo valor obtenido fue de 0,5125 mg/kg la diferencia de estos valores se debe a las épocas del año donde se realizó el muestreo, en la presente investigación se tomaron en la época de estiaje donde se presentaron mayores temperaturas, por ende, hay una mayor volatilización del mercurio. Molibdeno presentó valores en un rango entre 0,80 y 1,91 mg/kg los cuales están en el rango resultante por Calderón de la Cruz (2018) entre 0,10 y 6,50 mg/kg.

Niquel presentó valores entre un rango 2,99 y 4,18 mg/kg los cuales son menores respecto a More (2015) que caracterizó los lodos residuales de dos PTARS de Copare cuyo valor fue de 19,01 mg/kg y Magollo su valor fue de 16,51 mg/kg ambas ubicadas en Tacna. Plomo presentó valores en los lodos residuales entre 0,57 y 6,71 mg/kg es menor respecto al resultado obtenido por Gálvez (2014) 22,34 ppm (mg/kg) en los lodos residuales de la planta de tratamiento de efluentes domésticos la sede del club Regatas Lima. En cuanto a zinc presentó valores entre 40,43 y 158,75 mg/kg los cuales son menores a los valores establecidos por Montiel *et al.* (2016) cuyo valor fue de 331,30 mg/kg.

4.3. Resultado y discusión de la evaluación de las propiedades fertilizantes de los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar”-Puno.

Estos resultados posteriormente fueron comparados con la norma nacional (D.S. N° 015-2017-VIVIENDA), con la norma internacional (40 CFR parte 503 EPA) y autores.

Tabla 6: Cuadro comparativo de macronutrientes y parámetros de metales con la norma peruana, norma norteamericana y autores.

MACRONUTRI- ENTES	RANGO DE RESULTADOS DE LOS LODOS RESIDUALES		Gilsanz <i>et al.</i> (2013)	
	Nitrógeno (%)	1,55-2,90		1,24
Fósforo (%)	1,049-1,990		0,0575	
Potasio (ppm)	3740-3903		3284,4	

PARÁMETROS DE METALES (mg/kg)	RANGO DE RESULTADOS DE LOS LODOS RESIDUALES (mg/kg)	NORMA PERUANA (D.S. N° 015- 2017- VIVIENDA)	NORMA NORTEAMERICANA (EPA 40 CFR PARTE 503)	
		CLASE A y B	CLASE A	CLASE B
Arsénico	1,88-7,18	40	41	75
Cadmio	0,27-0,69	40	39	85
Cobre	15,27-26,93	1200	1500	4300
Cromo	0,84-2,43	1200	1200	3000
Mercurio	0,05-0,47	17	17	57
Molibdeno	0,80-1,91			75
Niquel	2,99-4,18	400	420	420
Plomo	0,57-6,71	400	300	840
Zinc	40,43-158,75	2400	2800	7500

FUENTE: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 6 los valores de nitrógeno y potasio son ligeramente superiores al valor propuesto por Gilsanz *et al.* (2013) y en el caso del fósforo superan considerablemente al valor propuesto por el autor. Gilsanz *et al.* (2013) realizó el uso agrícola de los lodos residuales, indicaron que las aplicaciones de los lodos frescos o

compostados no afectaron negativamente las propiedades químicas del suelo y favoreciendo la calidad del suelo.

Sobre los parámetros de metales comparados con la norma peruana y norteamericana se observa que los lodos residuales presentan valores inferiores a la clase A y B en el caso de la normativa peruana, por lo tanto presenta una calidad optima de aplicación, en el caso de la norma norteamericana (EPA 40 CFR PARTE 503) están debajo de los limites que establecidos, por lo tanto por ambas normas se infiere que la calidad del lodo respecto a metales tiene una calidad A.

V. CONCLUSIONES

- Se evaluó la calidad de los lodos residuales midiendo sus parámetros fisicoquímicos, concentración de macronutrientes y parámetros de metales realizando la comparación de estos valores con antecedentes de investigación y noarmativas, se concluye que ningún parámetro presenta cantidades que superen o sean menores considerablemente a los establecidos por los autores, por lo tanto se establece que los lodos residuales presentan una buena calidad.
- En lo que se refiere a la evaluación de parámetros fisicoquímicos y macronutrientes, consultando con los antecedentes de investigación, se concluye que los valores de pH son óptimos al igual que la humedad, en referencia a los macronutrientes el porcentaje de nitrógeno total presenta valores adecuados, como también el porcentaje de fósforo total y en cuanto a potasio presenta valores menores a los establecidos.
- En cuanto a los parámetros de metales los resultados promedios obtenidos indican que los lodos presentan bajas concentraciones principalmente los valores de cadmio y mercurio que no llegan a superar en promedio a un 1 mg/kg, estos metales presentan la mayor toxicidad. El zinc presenta una concentración mayor promedio respecto a los otros metales, sin embargo es el de menor toxicidad respecto a los otros metales.
- De acuerdo con la medición de sus macronutrientes se realizó una comparativa con Gilsanz *et al.* (2013) concluyendo que la aplicación de estos lodos residuales son beneficiosos para el suelo agrícola especialmente representan una fuente importante de nitrógeno y los parámetros de metales fueron comparados con la legislación vigente D.S. N° 015-2017-VIVIENDA y EPA 40 CFR PARTE 503 estableciendo que estos lodos residuales presentan una clase A que pueden ser utilizados como mejorador de suelos y en áreas verdes urbanas.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar el efecto de la aplicación de lodos residuales en diversos suelos agrícolas, midiendo el crecimiento de las plantas en dichos suelos.
- Se recomienda mezclar los lodos residuales con otros residuos orgánicos (residuos de jardinería, estiércol de ganado, etc) que aporten a mejorar la calidad de nutrientes, ayudando a mejorar la aplicación de estos lodos hacia los suelos.
- Se recomienda utilizar tratamientos físicos, químicos y biológicos posteriores como digestión anaerobia, digestión aerobia, estabilización química y otros, para mejorar las condiciones de aprovechamiento.
- Se debe concientizar a las autoridades para implementar plantas de tratamiento para estos lodos residuales.
- Se debe realizar investigaciones posteriores para el aprovechamiento de gases producidos por lodos residuales, como por ejemplo su reuso como biogás, debido a que estos lodos presentan cantidades considerables de metano y pequeñas cantidad de gases interfirientes como el dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno.

VII. REFERENCIAS

- Aguilar Benitez, I., & Blanco, P. A. (2018). Recuperación de metano y reducción de emisiones en PTAR Nuevo Laredo, Tamaulipas, México. *Revista de Tecnología y Ciencias del Agua*, 9(2), 86–114. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-04>.
- 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.
- Calderón de la Cruz, M. del C. (2018). *Análisis comparativo y propuesta de aprovechamiento de los lodos residuales provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de SEDAPAL*. Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Perú.
- Campos Medina, E., García Rojas, N., Velásquez Rodríguez, A., & García Fabila, M. (2009). Análisis básico del reuso de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales en suelos de pradera del parque nacional nevado de Toluca. *Quivera*, 11(2), 35–51.
- Carmona Peinado, E. (2006). *Efectos de la aplicación de lodo residual como mejorador de suelos agrícolas*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México.
- Cerne, M., Palc, I., Paskovic, I., Major, N., Romić, M., Filipovic, V., & Glavic, D. (2019). The effect of stabilization on the utilization of municipal sewage sludge as a soil amendment. *Waste Management*, 94, 27–38.
- Chunga Zapata, E. (2014). *Propuesta de compostaje de los lodos removidos de las lagunas de estabilización de la Universidad de Piura*. Universidad de Piura, Perú.

Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA. Reglamento para el reprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Diario El Peruano (2017). Lima, Perú.

Department of State Health Services Environmental and Injury Epidemiology & Toxicology Group (DSHSEIETG). (2012). *Lo que usted debe saber de molibdeno*. Texas.

EMSA-PUNO (2011). Resumen descriptivo del sistema de tratamiento de agua residual en la ciudad de Puno. Puno.

Environmental Protection Agency (EPA) (1994). Biosolids recycled beneficial technology for a better environment. Environmental Protection Agency. Washington D.C. EE UU.

EPA (1994). Method 6020 Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

EPA (2007). Method 3051A Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils.

EPA (2003) 40 CFR Part 503. Standards for the use or disposal of sewage sludge. United States. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-040271-0.50006>.

Feria Diaz, J. J., & Martinez Acosta, L. E. (2014). Tratamiento De Lodos De Fondo De Lagunas Facultativas Con Estabilización En Condiciones De Laboratorio. *Revista EIA*, 6, 113–122. <https://doi.org/10.14508/reia.2014.11.21.113-122>

Francisco Atencio, J., Ramos Matías, P., & Aguirre Yato, G. (2011). Aprovechamiento agrícola del lodo generado en la PTAR de Puente Piedra - Lima. *Rev. Soc. Quimi Perú*, 77(1), 75–85.

- Gálvez Castagnino, S. (2014). *Efectos de la aplicación de los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales sobre el suelo*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Galvis Toro, J., & Rivera Guerrero, X. (2013). *Carcterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la plant de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) de la empresa jugos hit de la ciudad de Pereira*. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- García Cárdenas, M. I. (2016). *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de coliformes fecales y totales*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Gilsanz, J.C., Leoni, C., Aranda S., Schelotto, F., & Acuña, A. (2013). Uso agrícola de los lodos urbanos en la producción agrícola. *Agrociencia Uruguay*,17(2), 1-10.
- González Barceló, O., González Martínez, S., Pérez Ramírez,I., Pérez Celaya, Z., & Herrera Domínguez, J. (2003). Acidificación bioquímica de agua residual. *10º Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*. Jalisco, México.
- González Granados, I. C. (2015). *Generación, caracterización y tratamiento de lodos de EDAR*. Universidad de Córdoba, España.
- Gualoto Gualoto, J. J. (2016). *Propuesta de gestión de lodos residuales municipales. Caso de estudio: Planta de tratamiento de agua residual de la parroquia rural de Nono*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Infante Fernández, J. A. (2012). *Tratamiento de aguas residuales en redes de saneamiento*. Universidad de Sevilla, España.

- Jiménez, B., Barrios, J. A., & Maya, C. (2000). Estabilización alcalina de lodos generados en un tratamiento primario avanzado. *12° Congreso Nacional 2000 Ciencia y Conciencia*. México.
- Limón Macías, J. G. (2013). *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿Problema o recurso?*. Universidad de Guadalajara, México.
- Mancipe Arias, L. M., & Triviño Restrepo, M. del P. (2018). Valoración de lodos de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) como materia prima para la extracción de lípidos en la obtención de biodiésel. *Revista Ion*, 31(1), 71–79. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018012>.
- MAVDTC (2017). Nueva Resolución 0330 Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.
- Menéndez Gutiérrez, C., & Díaz Marrero, M. (2006). *Lagunas Diseño, Operación y control*. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría, La Habana, Cuba.
- Mercado, A. (2013). *Lagunas de estabilización*. Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.
- MMAMRM. (2009). *Caracterización de los lodos de depuradoras generados en España*. <https://doi.org/10.1186/1752-1947-7-244>
- Montiel Soto, L. E., Núñez Contreras, E., & Viramontes Acosta, A. (2016). Elaboración de biofertilizante a partir de los lodos residuales de la Planta Tratadora de Aguas Residuales de Torreón, Coahuila. *Ciencia, Ingeniería Y Desarrollo Tec. Lerdo*, 1(2), 2–7.
- More Valdivia, J. G. (2015). *Determinación del potencial agrícola de lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Copare y Magollo, Tacna*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.

- Moret Chiappe, I. (2014). *Optimización de lagunas de estabilización mediante el uso de macrofitas*. Universidad de Piura, Perú.
- Mosquera Calle, J. M., & Martínez Martínez, B. E. (2012). *Evaluación de la digestión anaerobia como alternativa de estabilización de biosólidos producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira*. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- OPS-OMS. (2009). *Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades* (1st ed.). Lima.
- Pérez Zúñiga, M. E. (2016). *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (Pb)*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca Ecuador.
- Quintana Valencia, J. M. (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, Colombia.
- Ramírez Londoño, J. F., & Gallego Carmona, D. E. (2016). *Análisis e implementación de un proceso de compostaje para la valorización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua residual industrial*. Universidad Católica de Manizales, Colombia
- Resolución Ministerial N° 093-2018-VIVIENDA. Protocolo de Monitoreo de Biosólidos. Diario el Peruano (2018). Lima, Perú.
- Rodríguez Serrano, J. (2008). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades*. Universidad de Sonora, Hermosillo, México.

- Ruesga, L., Ocando, M., López, M., Gutiérrez, E., Caldera, Y., & Gutiérrez, E. (2015). Aporte nutricional de un biosólido avícola obtenido en un proceso de digestión aerobia sobre un cultivo de cebollín. *Revista Tecnocientífica URU*, 9, 71–7.
- Serpa Juli, M. S. (2017). *Remoción de metales pesados Cd y Hg en lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria El Espinar-Puno, utilizando vermicomposteo*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Silva Burga, J. A. (2004). *Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización de la universidad de Piura*. Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Silva Leal, J., Bedoya Rios, D., & Torres Lozada, P. (2013). Efecto del secado térmico y el tratamiento alcalino en las características microbiológicas y químicas de biosólidos de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Química Nova*, 36(2), 207–214.
- SUNASS. (2015). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales-En el ámbito de la operación de las entidades prestadoras de servicio de saneamiento*. (1st ed.). Lima.
- Torres Rodríguez, D., Cumana, A., Torrealba, O., & Posada, D. (2010). Uso del vetiver para la fitorremediación de cromo en lodos residuales de una tenería. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(2), 175–188.
- Valderrama Pedraza, M. L. (2013). *Factibilidad de aprovechamiento de los lodos residuales de la PTAR del municipio de Chivanita (Boyacá)*. Universidad de Manizales, Colombia.
- Vélez Zuluaga, J. A. (2007). Los biosólidos : ¿una solución o un problema? *Producción + Limpia*, 2(2), 57–70.

Vicente Mendoza, M., & Virgil Sánchez, J. A. (2012). *Evaluación físico-química y microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en la elaboración de compost. Universidad De El Salvador. Universidad De El Salvador, El Salvador.*
<https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2018.00953>.

Ybañez Abrill, R. M. (2018). *Remoción de Plomo y Cadmio en lodos residuales del PTAR Ventanilla mediante remediación electrocinética, Lima-2018. Universidad César Vallejo, Lima, Perú.*

ANEXOS

ANEXO A: Protocolo nacional para monitoreo de biosólidos (R.M. N° 093-2018-VIVIENDA)

ANEXO B: Muestreos de lodos residuales en la laguna de estabilización de “El Espinar”

ANEXO C: Medición de parámetros fisicoquímicos de los lodos residuales

ANEXO D: Medición de macronutrientes en los lodos residuales

ANEXO E: Análisis estadístico de varianza (ANOVA) en el programa IBM SPSS

ANEXO F: Certificados de análisis de laboratorio

ANEXO A

**Protocolo nacional para monitoreo
de biosólidos (R.M. N° 093-2018-VIVIENDA)**

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

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

6.1.2 Toma de muestra

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

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

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

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

6.1.2.1 Tipos de muestras**6.1.2.1.1 Muestra puntual**

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

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

6.1.2.1.2 Muestra compuesta

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



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

6.1.2.3.1 Volumen de la muestra

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

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

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

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

6.1.2.3.2 Equipo para la toma de muestra

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

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

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

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

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

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



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

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

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

6.1.2.3.3 Preparación de materiales y equipos

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

6.1.2.3.3.1 Materiales

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

6.1.2.3.3.2 Equipos

- GPS para la identificación de los puntos de monitoreo



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

6.1.2.3.3 Implementos de seguridad

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

6.1.2.3.4 Seguridad de trabajo

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

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

En general se debe tener conocimiento de lo siguiente:

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

6.1.3 Preservación - Conservación y transporte de muestra

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



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

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

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

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

Para conservar las muestras hay que guardarlas en ambientes oscuros con temperaturas menores a 4 °C. Estas temperaturas previenen procesos de digestión que pueden alterar la calidad de la muestra y conservan las condiciones biológicas³. Por tal razón, es importante realizar el enfriamiento en un corto período. Para acelerar el proceso de enfriamiento es recomendable poner las botellas con la muestra en un baño con cubos de hielo y agua o almohadillas refrigerantes. Una vez enfriada, la muestra debe colocarse en una caja de almacenamiento térmica con refrigerante (ice pack), para cumplir con la recomendación de temperatura indicada. En caso de utilizar hielo, se debe colocar éste en bolsas herméticas para evitar fugas de la caja donde se transportan las muestras.

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

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

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

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



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

Tabla 3: Condición de preservación y tiempos de almacenamiento de muestras de biosólidos (US EPA, *POW Sludge Sampling And Analysis Guidance Document*, 1988), (State of Ohio Environmental Protection Agency, 2008) (New Jersey Department of Environmental Protection, 2012)

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

6.1.4 Frecuencia de monitoreo

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

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

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

6.1.5 Documentación

6.1.5.1 Etiquetado de la muestra

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

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



ANEXO B: Muestras de lodos residuales en la laguna de estabilización de “El Espinar”



Figura 7: Equipo de trabajo para el muestreo de lodos residuales

FUENTE: Elaboración propia



Figura 8: Preparación de materiales para el muestreo de lodos residuales

FUENTE: Elaboración propia



Figura 9: Extracción de los lodos residuales de la laguna de estabilización de “El Espinar”

FUENTE: Elaboración propia



Figura 10: Trasvase de los lodos residuales en el envase de plástico

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO C**Medición de parámetros Fisicoquímicos de los lodos residuales****ANEXO C.1 Fotografías de la medición de parámetros in Situ****Figura 11:** Medición de pH in situ

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 12:** Medición de temperatura in situ

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO C.2 Fotografías de la medición de pH y Humedad en laboratorio**Figura 13:** Equipo de medición pH-metro marca Pasco

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 14:** Medición de pH en las muestras de lodos residuales

FUENTE: Elaboración propia



Figura 15: Tarados de las lunas de reloj para la determinación de la humedad

FUENTE: Elaboración propia



Figura 16: Pesado de muestras húmedas

FUENTE: Elaboración propia



Figura 17: Colocado de las muestras de lodos en la mufla para su secado.

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO D: Medición de macronutrientes en lodos residuales**ANEXO D.1: Fotografías de medición de nitrógeno****Figura 18:** Desechado de las muestras para análisis de nitrógeno

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 19:** Digestión de muestras para análisis de nitrógeno

FUENTE: Elaboración propia

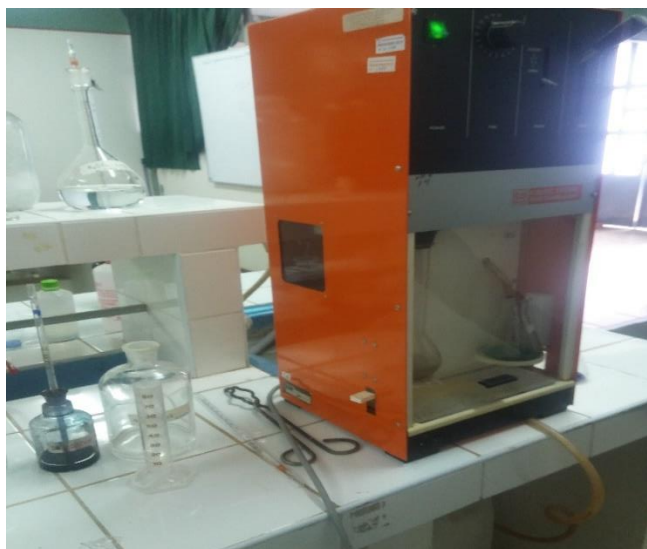


Figura 20: Destilación de las muestras de lodos

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO D.2: Medición de fósforo total en lodos residuales



Figura 21: Preparación de muestra para la lectura en el espectrofotómetro

FUENTE: Elaboración propia



Figura 22: Lectura de la muestra en el espectrofotómetro

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO D.3: Medición de potasio en lodos residuales



Figura 23: Equipo de Fotómetro de llama

FUENTE: Elaboración propia



Figura 24: Lectura de potasio total en el espectrofotómetro

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO E: Análisis estadístico de varianza (ANOVA) en el programa IBM SPSS.

ANEXO E.1: Estadístico descriptivo de los parámetros fisicoquímicos.

Tabla 7: Análisis descriptivo para los parámetros fisicoquímicos

Estadísticos descriptivos							
	N	Mínimo	Máximo	Media		Desv.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Desv. Error	Estadístico	Estadístico
pH	6	7,30	7,59	7,4667	0,04256	0,10424	0,011
Humedad	6	68,95	76,35	72,3875	1,30777	3,20337	10,262
Nitrógeno	6	1,55	2,90	2,2450	0,23965	0,58702	0,345
Fósforo	6	1,049	1,990	1,39350	0,176187	0,431567	0,186
Potasio	6	3740,00	3903,00	3827,0000	24,96664	61,15554	3740,000
N válido (por lista)	6						

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO E.2: Análisis ANOVA para los parámetros fisicoquímicos

Tabla 8: Análisis ANOVA para el pH

ANOVA						
pH	Suma de		Media			
	cuadrados	Gl	cuadrática	F	Sig.	
Entre grupos	0,009	2	0,004	0,295	0,764	
Dentro de grupos	0,045	3	0,015			
Total	0,054	5				

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 9: Análisis ANOVA para la humedad

ANOVA					
Humedad					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,656	2	0,828	0,050	0,952
Dentro de grupos	49,652	3	16,551		
Total	51,308	5			

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 10: Análisis ANOVA para el nitrógeno total

ANOVA					
Nitrógeno					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,111	2	0,555	2,723	0,212
Dentro de grupos	0,612	3	0,204		
Total	1,723	5			

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 11: Análisis ANOVA para el fósforo total

ANOVA					
Fósforo					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,215	2	0,108	0,451	0,674
Dentro de grupos	0,716	3	0,239		
Total	0,931	5			

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 12: Análisis ANOVA para potasio total

ANOVA					
Potasio					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	273,000	2	136,500	0,022	0,978
Dentro de grupos	18427,000	3	6142,333		
Total	18700,000	5			

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO E.3: Análisis estadístico descriptivo de los parámetros de metales.

Tabla 13: Análisis descriptivo para los parámetros de metales

	Estadísticos descriptivos						
	N	Mínimo	Máximo	Media		Desv.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Desv. Error	Estadístico	Estadístico
Arsénico	6	1,88	7,18	3,8000	0,73787	1,80741	3,267
Cadmio	6	0,27	0,69	0,4483	0,06680	0,16364	0,027
Cobre	6	15,27	26,93	19,1650	1,83590	4,49702	20,223
Cromo	6	0,84	2,43	1,7333	0,30568	0,74875	0,561
Mercurio	6	0,05	0,47	0,1317	0,06863	0,16810	0,028
Molibdeno	6	0,80	1,91	1,2533	0,17778	0,43546	0,190
Niquel	6	2,99	4,18	3,3983	0,19496	0,47755	0,228
Plomo	6	0,57	6,71	4,2933	0,83892	2,05492	4,223
Zinc	6	40,43	158,75	87,5183	18,96682	46,45903	2158,442
N válido (por lista)	6						

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO E.4: Análisis ANOVA para parámetros de metales

Tabla 14: Análisis ANOVA para Arsénico

ANOVA					
Arsénico	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8,198	2	4,099	1,512	0,352
Dentro de grupos	8,135	3	2,712		
Total	16,334	5			

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 15: Análisis ANOVA para Cadmio

ANOVA

Cadmio

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,069	2	0,035	1,616	0,334
Dentro de grupos	0,064	3	0,021		
Total	0,134	5			

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 16: Análisis ANOVA para Cobre

ANOVA

Cobre

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	47,547	2	23,773	1,331	0,386
Dentro de grupos	53,569	3	17,856		
Total	101,116	5			

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 17: Análisis ANOVA para Cromo

ANOVA

Cromo

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,554	2	0,777	1,867	0,297
Dentro de grupos	1,249	3	0,416		
Total	2,803	5			

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 18: Análisis ANOVA para Mercurio**ANOVA**

Mercurio

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,051	2	0,025	0,838	0,514
Dentro de grupos	0,091	3	0,030		
Total	0,141	5			

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 19: Análisis ANOVA para Molibdeno**ANOVA**

Molibdeno

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,650	2	0,325	3,277	0,176
Dentro de grupos	0,298	3	0,099		
Total	0,948	5			

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 20: Análisis ANOVA para Níquel**ANOVA**

Níquel

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,479	2	0,240	1,087	0,442
Dentro de grupos	0,661	3	0,220		
Total	1,140	5			

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 21: Análisis ANOVA para Plomo

ANOVA

Plomo

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	10,147	2	5,073	1,388	0,374
Dentro de grupos	10,967	3	3,656		
Total	21,114	5			

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 22: Análisis ANOVA para Zinc

ANOVA

Zinc

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8391,109	2	4195,555	5,242	0,105
Dentro de grupos	2401,099	3	800,366		
Total	10792,209	5			

FUENTE: Elaboración Propia

ANEXO F

Certificados de análisis de laboratorio

ANEXO F.1: Certificado de análisis de lodos de los parámetros fisicoquímicos



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS



ANALISIS DE LODOS

PROCEDENCIA : LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN SECUNDARIA DE “EL ESPINAR” – Puno
 INTERESADO : Bach. HARLYN EDWARD CRUZ VILAVILA
 MOTIVO : Análisis fisicoquímicos
 MUESTREO : 07/06/2019
 ANÁLISIS : 10/06/2019
 LABORATORIO : Agua y Suelo FCA – UNA

# ORD	MUESTRA DE CAMPO	HUMEDAD (%)	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO ₃ ²⁻ %	M.O. %	N. TOTAL %
			ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
01	MP-01	71.730	NC	NC	NC	NC	NC	NC	1.79
02	MP-02	71.620	NC	NC	NC	NC	NC	NC	1.55
03	MP-03	76.177	NC	NC	NC	NC	NC	NC	2.71
04	MP-04	76.354	NC	NC	NC	NC	NC	NC	2.70
05	MP-05	69.498	NC	NC	NC	NC	NC	NC	1.82
06	MP-06	68.946	NC	NC	NC	NC	NC	NC	2.90

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				% P Total	K Total (ppm)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺		
01	7.48	NC	NC	1.206	3875	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
02	7.42	NC	NC	1.058	3798	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
03	7.45	NC	NC	1.898	3856	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
04	7.30	NC	NC	1.049	3790	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
05	7.56	NC	NC	1.990	3903	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
06	7.59	NC	NC	1.160	3740	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC

FArA = Franco arcillo arenoso
 Ar = Arcilloso
 FArA = Franco arcillo arenoso
 FA = Franco Arenoso
 CIC= Capacidad Intercambio Cationico
 N = Nitrógeno total
 K⁺ = Potasio cambiabile
 A= Arena
 Ca²⁺= Calcio cambiabile
 Na⁺= Sodio cambiabile
 CO₃²⁻ = Carbonatos
 me = miliequivalente.

FAr = Franco arcilloso
 M.O.=Materia orgánica
 P = Fósforo disponible
 K = Potasio disponible
 C.E. = Conductividad eléctrica
 SB = Saturación de bases
 Mg²⁺ = Magnesio cambiabile
 mS/cm = milisiemens por centímetro
 C.E.(e) = Conductividad eléctrica del extracto
 Al³⁺ = Aluminio cambiabile
 NC= No corresponde

Benito Fernández Calloapaza
 Tecnico laboratorista

ANEXO F.1: Certificado de análisis de lodos de los parámetros de metales

SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS
QUÍMICOS S.A.C. SLAB

INFORME DE ENSAYO

SL-IE-18062019-04

1. DATOS DEL CLIENTE

Cliente : HARLYN EDWARD CRUZ VILAVILA

2. FECHAS

Inicio : 10 de Junio 2019
Finalización : 17 de Junio 2019
Emisión de informe : 18 de Junio 2019
Observaciones : —

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

Temperatura : 19°C
Humedad Relativa : 49%

4. ENSAYO SOLICITADO Y METODO UTILIZADO

Ensayo solicitado : Determinación de Metales en lodos.
Método utilizado : ICP

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



NOELYA MORÁN CORREA
QUÍMICA
CQP. 1281

Página 1 de 5

Calle 22 Urb. VIPOL NARANJAL Mz E Lt 07, SAN MARTÍN DE PORRES LIMA. – Teléfono (51-1) 721 6212 -
www.slabperu.com


**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS
QUÍMICOS S.A.C. SLAB**
5. DATOS DE LA MUESTRAS ANALIZADAS

MUESTRA: M1

MUESTRA: M2

MUESTRA: M3


MUESTRA: M4

MUESTRA: M5

MUESTRA: M6

6. RESUMEN DE RESULTADOS
Tabla N°1: Resultados de los ensayos para la muestra M1

Metal	Unidad	Concentración
Arsénico, As	mg/kg	2.72
Cadmio, Cd	mg/kg	0.55
Cobre, Cu	mg/kg	21.74
Cromo, Cr	mg/kg	1.42
Mercurio, Hg	mg/kg	0.05
Molibdeno, Mo	mg/kg	0.80
Níquel, Ni	mg/kg	4.18
Plomo, Pb	mg/kg	4.48
Zinc, Zn	mg/kg	108.92



NOELYA MORÁN CORREA
QUÍMICA
CQP. 1281

Página 2 de 5

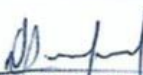
Calle 22 Urb. VIPOL NARANJAL Mz E Lt 07, SAN MARTÍN DE PORRES LIMA. – Teléfono (51-1) 721 6212 -
www.slabperu.com


**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS
QUÍMICOS S.A.C. SLAB**
Tabla N°2: Resultados de los ensayos para la muestra M2

Metal	Unidad	Concentración
Arsénico, As	mg/kg	3.60
Cadmio, Cd	mg/kg	0.27
Cobre, Cu	mg/kg	15.27
Cromo, Cr	mg/kg	0.84
Mercurio, Hg	mg/kg	0.05
Molibdeno, Mo	mg/kg	0.93
Níquel, Ni	mg/kg	3.07
Plomo, Pb	mg/kg	0.57
Zinc, Zn	mg/kg	158.75

Tabla N°3: Resultados de los ensayos para la muestra M3

Metal	Unidad	Concentración
Arsénico, As	mg/kg	1.88
Cadmio, Cd	mg/kg	0.69
Cobre, Cu	mg/kg	15.90
Cromo, Cr	mg/kg	2.43
Mercurio, Hg	mg/kg	0.47
Molibdeno, Mo	mg/kg	1.52
Níquel, Ni	mg/kg	2.99
Plomo, Pb	mg/kg	4.06
Zinc, Zn	mg/kg	40.43



NOELYA MORÁN CORREA
 QUÍMICA
 CQP. 1281

Página 3 de 5

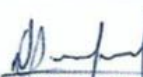
 Calle 22 Urb. VIPOL NARANJAL Mz E Lt 07, SAN MARTÍN DE PORRES LIMA. – Teléfono (51-1) 721 6212 -
www.slabperu.com


**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS
QUÍMICOS S.A.C. SLAB**
Tabla N°2: Resultados de los ensayos para la muestra M2

Metal	Unidad	Concentración
Arsénico, As	mg/kg	3.60
Cadmio, Cd	mg/kg	0.27
Cobre, Cu	mg/kg	15.27
Cromo, Cr	mg/kg	0.84
Mercurio, Hg	mg/kg	0.05
Molibdeno, Mo	mg/kg	0.93
Níquel, Ni	mg/kg	3.07
Plomo, Pb	mg/kg	0.57
Zinc, Zn	mg/kg	158.75

Tabla N°3: Resultados de los ensayos para la muestra M3

Metal	Unidad	Concentración
Arsénico, As	mg/kg	1.88
Cadmio, Cd	mg/kg	0.69
Cobre, Cu	mg/kg	15.90
Cromo, Cr	mg/kg	2.43
Mercurio, Hg	mg/kg	0.47
Molibdeno, Mo	mg/kg	1.52
Níquel, Ni	mg/kg	2.99
Plomo, Pb	mg/kg	4.06
Zinc, Zn	mg/kg	40.43


 NOELYA MORÁN CORREA
 QUÍMICA
 CQP. 1281

Página 3 de 5

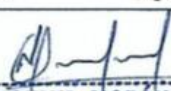
 Calle 22 Urb. VIPOL NARANJAL Mz E Lt 07, SAN MARTÍN DE PORRES LIMA. – Teléfono (51-1) 721 6212 -
 www.slabperu.com


**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS
QUÍMICOS S.A.C. SLAB**
Tabla N°4: Resultados de los ensayos para la muestra M4

Metal	Unidad	Concentración
Arsénico, As	mg/kg	3.70
Cadmio, Cd	mg/kg	0.28
Cobre, Cu	mg/kg	18.86
Cromo, Cr	mg/kg	2.38
Mercurio, Hg	mg/kg	0.05
Molibdeno, Mo	mg/kg	1.43
Níquel, Ni	mg/kg	3.42
Plomo, Pb	mg/kg	4.52
Zinc, Zn	mg/kg	62.46

Tabla N°5: Resultados de los ensayos para la muestra M5

Metal	Unidad	Concentración
Arsénico, As	mg/kg	7.18
Cadmio, Cd	mg/kg	0.40
Cobre, Cu	mg/kg	26.93
Cromo, Cr	mg/kg	2.37
Mercurio, Hg	mg/kg	0.12
Molibdeno, Mo	mg/kg	1.91
Níquel, Ni	mg/kg	3.72
Plomo, Pb	mg/kg	6.71
Zinc, Zn	mg/kg	110.48


 NOELYA MORÁN CORREA
 QUÍMICA
 CQP. 1281

Página 4 de 5

 Calle 22 Urb. VIPOL NARANJAL Mz E Lt 07, SAN MARTÍN DE PORRES LIMA. – Teléfono (51-1) 721 6212 -
 www.slabperu.com


**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS
QUÍMICOS S.A.C. SLAB**
Tabla N°6: Resultados de los ensayos para la muestra M6

Metal	Unidad	Concentración
Arsénico, As	mg/kg	3.72
Cadmio, Cd	mg/kg	0.50
Cobre, Cu	mg/kg	16.29
Cromo, Cr	mg/kg	0.96
Mercurio, Hg	mg/kg	0.05
Molibdeno, Mo	mg/kg	0.93
Níquel, Ni	mg/kg	3.01
Plomo, Pb	mg/kg	5.42
Zinc, Zn	mg/kg	44.07

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



NOELYA MORÁN CORREA
 QUÍMICA
 CQP. 1281

Página 5 de 5

 Calle 22 Urb. VIPOL NARANJAL Mz E Lt 07, SAN MARTÍN DE PORRES LIMA. – Teléfono (51-1) 721 6212 -
 www.slabperu.com