



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS
GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU
APROVECHAMIENTO”**

Realizado por:

LESLY VICTORIA JIMÉNEZ CORDOVA

Director del proyecto:

Ing. Walberto Gallegos MSc

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Quito, 5 de junio de 2019

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, LESLY VICTORIA JIMENEZ CORDOVA, con cédula de identidad # 171843820-1, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Lesly Victoria Jiménez Cordova

C.I.: 171843820-1

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS
GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU
APROVECHAMIENTO”**

Realizado por:

LESLY VICTORIA JIMENEZ CORDOVA

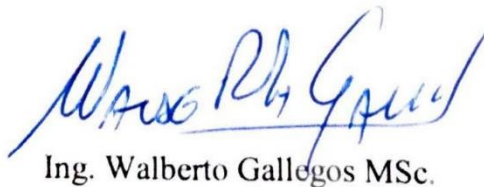
Como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Ha sido dirigido por el profesor

WALBERTO GALLEGOS

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Walberto Gallegos', is written over a horizontal line.

Ing. Walberto Gallegos MSc.

DIRECTOR

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

KATTY CORAL

JOSE SALAZAR

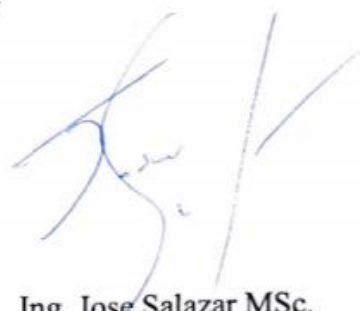
Después de revisar el trabajo presentado,

Lo han calificado como apto para su defensa oral ante

El tribunal examinador



Ing. Katty Coral MSc.



Ing. Jose Salazar MSc.

Quito, 05 de junio de 2019

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida.

Especialmente a mi hija, la luz de mi vida esperando ser un ejemplo para que ella aprenda que puede lograr lo que se quiere en esta vida, solo se necesita esforzarse y estudiar para salir adelante.

A mi hermano ya que espero que este logro sea un ejemplo e impulso para que él logre los cumplir sus metas y objetivos.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad y haber sido mi apoyo durante todo este tiempo.

Especialmente a mi padre el Ing. Washington Jiménez MSc. quien me ha apoyado toda mi carrera, desde el inicio fue una fuente de ayuda, conocimiento invaluable y ahora gracias a él estoy recogiendo los frutos de mi esfuerzo.

A mi madre Jenny Cordova, la persona que siempre creyó en mí, y estuvo conmigo en buenos y malos momentos; siendo una fuente de apoyo y comprensión para salir adelante.

A mi hermano Xavier Jiménez que siempre fue mi compañero, mi amigo y mi cómplice, y siempre me ayuda contarle a él cada cosa interesante que aprendo.

A mi hija Guillermina Jiménez, mi fuente de inspiración a quien agradezco su paciencia, su forma de ser, sus abrazos y besos ya que cuando estoy demasiado cansada, triste y asustada, ella me da fuerzas para salir adelante.

A mis profesores quienes fueron la fuente de conocimientos y gracias a sus enseñanzas pude llegar a ser la profesional que soy ahora; especialmente mi Tutor Ing. Walberto Gallegos MSc., Ing. Katty Coral MSc. e Ing. Jose Salazar MSc. de ellos aprendí gran parte de los conocimientos que apliqué en esta investigación y más.

Finalmente, a la Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, quienes me brindaron la oportunidad de realizar este trabajo de investigación, en especial a la Ing. Gabriela Maldonado MSc, al Ing Raúl Montalvo MSc y al Ing. Polo Yanes MSc. Quienes me brindaron toda la ayuda y facilidades para cumplir con las investigaciones.

Índice

Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
<i>Planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Bellavista</i>	5
<i>Planta de tratamiento de agua potable Puengasí</i>	6
Marco Teórico	7
<i>Estabilización de Lodos</i>	7
Estabilización Alcalina de Lodos Deshidratados	8
Pasteurización Alcalina	9
<i>Normativa ecuatoriana</i>	10
<i>Normativa extranjera mexicana</i>	11
Disposición En El Suelo	12
Materiales y Métodos	14
Numero de Muestras:	17
Puntos De Muestreo En Planta De Tratamiento De Puengasí	17
<i>Punto de muestreo 1 Efluente</i>	17
<i>Punto de muestreo 2 Efluente</i>	17
<i>Punto de muestreo Sólidos Sedimentables</i>	17
Puntos de Muestreo en Planta de tratamiento Bellavista	18
<i>Punto de muestreo Efluente</i>	18
<i>Punto de muestreo Sólidos Sedimentables</i>	18
Parámetros de Caracterización en Efluente	18
<i>Parámetros In situ</i>	18
<i>Parámetros de muestras Húmedas en el Laboratorios de la Universidad Internacional SEK</i>	19
Lodos Semi Húmedos	20
<i>Parámetros de muestras Sólidas en el Laboratorios de la Universidad Internacional SEK</i>	20
Métodos de ensayo para Lodo Inertizado	22
<i>Proceso de Estabilización por Pasteurización Parcial.</i>	22
<i>Test de lixiviación de lodo inertizado de 50% de Cal y 50 % de lodo deshidratado</i>	22
Parámetros en Laboratorios Certificado de Efluentes y Lodos Base Seca	23

<i>Muestreo de Efluente</i>	23
<i>Muestreo de Lodos Sedimentables</i>	23
<i>Muestreo de Lodo Inertizado</i>	24
Resultados	25
Discusión	38
Conclusiones	40
Recomendaciones	41
Referencias	43

Índice de Tablas

Tabla 1 Límites de descarga de efluentes al alcantarillado	10
Tabla 2 Límites De Descarga de efluentes aun Cuerpo de Agua Dulce	11
Tabla 3 Límites Máximos Permisibles Para Metales Pesados En Biosólidos ...	12
Tabla 4 Límites Máximos Permisibles Para Patógenos Y Parásitos En Lodos Y Biosólidos Base Seca O Semi Húmeda.....	13
Tabla 5 APROVECHAMIENTO DE BIOSÓLIDOS BASE SECA; HUMEDA O SEMI HUMEDA.....	13
Tabla 6 Criterios de aceptación sobre el filtrado DIN 3814-54.....	23
Tabla 7 Comparación de parámetros de caracterización con normativa ecuatoriana.....	25
Tabla 8 Comparación de metales pesados con la norma técnica de desechos peligrosos y especiales (CRTIB) (Tabla 1, Norma)	34
Tabla 9 Análisis de características de lodo estabilizado	35
Tabla 10 Comparación de presencia de metales pesados en lodos Sedimentables y lodo inertizado con normativa mexicana	36
Tabla 11 Comparación de lodo inertizado seco con normativa mexicana para lodos,	37
Tabla 12 Comparación de resultados de lixiviados provenientes de lodo inertizado.....	38
Tabla 13 CRTIB De Lodos Sedimentables	16

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Cálculo de número de muestra (APHA et al., 2012).....	17
Ecuación 2 Sólidos Totales (APHA et al., 2012).....	19
Ecuación 3 Cálculo de Humedad (APHA et al., 2012)	20
Ecuación 4 Densidad (Huerta, 2015)	20
Ecuación 5 Aceites y Grasas (Alvarado et al., 2015).....	20
Ecuación 6 Cálculo de Humedad (APHA et al., 2012)	21
Ecuación 7 Calculo de Huevos de Helmintos Viabiles en 1 g (Torres et al., 2005)	21

Índice de Diagramas

Diagrama 1 Planta de Tratamiento Bellavista (Jimenez, 2019)	6
Diagrama 2 Planta de Tratamiento Puengasí (Jimenez, 2019).....	7

Diagrama 3 Método de ensayo y proceso de análisis (Jiménez, 2019).....	15
Índice de Mapas	
Mapa 1 Sitio de Muestreo (Jiménez, 2019)	16
Índice de Ilustraciones	
Ilustración 1 Huevos de helmintos viables, Ptap Bellavista y Puengasí (Jiménez, 2019).....	33
Índice de Gráficos	
Gráfico 1 Dosis de cal en función del pH para diferentes tipos de lodos (SEMARNAT, 2012).....	9
Gráfico 2 Valor de la Media de Parámetros In Situ, Ptap Bellavista y Puengasí	26
Gráfico 3 Variación de oxígeno disuelto de las plantas de tratamiento de agua potable Bellavista y Puengasí	27
Gráfico 4 Conductividad Eléctrica De Efluentes, Ptap Bellavista y Puengasí	28
Gráfico 5 Sólidos Sedimentables y temperatura, Ptap Bellavista y Puengasí	28
Gráfico 6 Comparación de sólidos totales, sólidos sedimentables y densidad , Ptap Bellavista y Puengasí	29
Gráfico 7 Humedad Efluentes, Ptap Bellavista y Puengasí	30
Gráfico 8 Humedad Lodos Sedimentables, Ptap Bellavista y Puengasí	31
Gráfico 9 Microorganismos presentes en Lodos Sedimentables, Ptap Bellavista y Puengasí	32
Índice de Anexos	
Anexo A Imágenes de Caracterización	1
Anexo B Resultado en laboratorio certificado.....	7
Anexo C Tablas de Resultados	13
Anexo D Gráficos de Análisis de Resultados	14
Anexo E Tabla CRTIB Sólidos Sedimentables y Lodo Inertizado	16

**CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS
GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU
APROVECHAMIENTO**

Para someter a: To be submitted: 2019/06/05

**Caracterización e inertización de lodos generados en las plantas de
tratamiento de agua potable Bellavista y Puengasí, para evaluar su
aprovechamiento**

Victoria Jimenez Cordova¹, Walberto Gallegos², Katty Coral³, José
Salazar⁴

^{1,2,3,4} Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y
Ambientales, Quito,

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Victoria Jimenez, Universidad
Internacional SEK,

Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador.

Teléfono: +593-987924210; email:
leslyvictoriajimenezc93@hotmail.com

Título corto o Running title: Quito, Lodos Inertizado, Caracterización,
Cal

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Resumen

El agua es uno de los servicios ambientales más importantes para el ser humano, ya que es una fuente indispensable para la vida, Quito cuenta con 39 plantas de potabilización de agua entre las cuales están las plantas de tratamiento Bellavista y Puengasí.

La planta de tratamiento Bellavista recibe agua de las fuentes captadas de Papallacta, Río Blanco, Tumiguina, Salve Facha y abastece a Quito Norte entre ellos Cumbayá, Itchimbia, Bellavista, Collaloma; el caudal máximo de tratamiento de esta planta es de 3000 L/s. La planta de tratamiento de Puengasí recibe agua de las fuentes captadas del río Pita que proviene del volcán Cotopaxi y la Mica, esta planta de tratamiento abastece a Quito Sur entre ellos Monjas, Los Pinos, Bellavista, Chiriyacu, Sur Occidente y El Placer; el caudal máximo de tratamiento de esta planta es de 2400 L/s.

En el proceso de tratamiento de agua cruda para su potabilización se necesita el uso de químicos como el sulfato de aluminio y polímeros para reducir la turbidez y sólidos que viene arrastrando la corriente. Los residuos más comúnmente desechados en el proceso de potabilización son efluentes con sólidos sedimentables y aluminio.

Los efluentes generados en estas plantas son descargados al alcantarillado, después de caracterizarlos conjuntamente con los lodos Sedimentables, se plantea si los lodos de la planta de tratamiento de agua potable cumplen con la normativa ecuatoriana de descarga al alcantarillado y de descarga a un cuerpo receptor. La inertización de lodos Sedimentables de las lagunas, se realizó mediante la adición de cal de construcción, para disminuir contaminantes presentes en las muestras recolectadas.

Finalmente se analizó la normativa mexicana actual con relación a sólidos y biosólidos para conocer el uso en el cual clasificaría el lodo inertizado de las plantas de tratamiento Bellavista y Puengasí mediante la deshidratación y adicionamiento de Cal. Se observó que la Cal de construcción $\text{Ca}(\text{OH})_2$, es apta para disminuir los contaminantes, la adición de 50% de Hidróxido de Calcio en los lodos Sedimentables (al 20% de humedad) disminuyó los contaminantes biológicos, clasificándolo según normativa mexicana con respecto a microorganismos como lodo tipo A y con respecto a concentración de metales pesados el lodo inertizado tiene una concentración alta de arsénico por tal razón no entra en ninguna de las clases de biosólidos.

PALABRAS CLAVE: Efluente, Caracterización, Cal, Agua Cruda, Lodo

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Abstract

Water is one of the most important environmental services for human beings, since it is an indispensable source for life, Quito has 39 water purification plants, among which are the Bellavista and Puengasí treatment plants.

The Bellavista treatment plant receives water from the sources collected from Papallacta, Río Blanco, Tumiguina, Salve Facha and supplies Quito Norte, including Cumbayá, Itchimbia, Bellavista, Collaloma; the maximum treatment flow of this plant is 3000 L/s. The treatment plant of Puengasí receives water from the sources captured from the Pita River that comes from the Cotopaxi volcano and the Mica, this treatment plant supplies Quito Sur including Monjas, Los Pinos, Bellavista, Chiriyacu, South West and El Placer; The maximum treatment flow of this plant is 2400 L/s.

In the process of treating raw water for its purification, it is necessary to use chemicals such as aluminum sulphate and polymers to reduce the turbidity and solids that the current has been dragging. The most commonly discarded residues in the purification process are effluents with sedimentable solids and aluminum.

The effluents generated in these plants are discharged to the sewage system, after characterizing them together with the sedimentary sludge, it is considered if the sludge from the drinking water treatment plant complies with the Ecuadorian regulation of sewer discharge and discharge to a receiving body. The inertisation of Sedimentable sludge from the lagoons was done by the addition of construction lime, to reduce contaminants present in the collected samples.

Finally, the current Mexican regulations regarding solids and biosolids were analyzed to know the use in which to classify the inert sludge from the Bellavista and Puengasí treatment plants by dehydrating and adding Cal. It was observed that the construction with Calcium Hydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2$, is apt to reduce contaminants, the addition of 50% of Calcium Hydroxide in the sedimentable sludge (at 20% humidity) decreased the biological contaminants, classifying it according to Mexican regulations regarding microorganisms such as type A sludge and with respect to At the concentration of heavy metals inert mud has a high concentration of arsenic for such reason does not enter any of the classes of biosolids.

KEY WORDS: Effluent, Characterization, Cal, Raw Water, Mud

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Introducción

El agua es uno de los servicios ambientales más importantes para la vida diaria; Kaimowitz (2001), define servicios hidrológicos como el papel que algunos usos de la tierra y prácticas de conservación de suelos y aguas desempeñan en mantener la cantidad y calidad de agua dentro de los parámetros deseados por los usuarios de un sitio en particular.

La atención de agua potable al Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), está a cargo de la Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q). De manera muy general, el abastecimiento de agua potable a una ciudad es el resultado de tres grandes operaciones sucesivas: la captación y la conducción del agua hasta una planta, el tratamiento del agua para hacerla potable y finalmente la distribución al consumidor final a través de una red de tanques y líneas de distribución (Frutos Suárez, 2013).

Las coberturas de agua potable y alcantarillado en el DMQ, son altas, la dotación del líquido vital con calidad de 99.93%, y una cobertura de alcantarillado del 93,03%. Agua De Quito es la única empresa que provee agua potable del país con el Sello de Calidad INEN (EPMAPS, 2017).

La principal debilidad del sistema de agua potable constituye la dependencia de fuentes de abastecimiento cada vez más lejanas y extra-distritales. Las fuentes de agua potable del Distrito, actualmente, provienen de las cuencas de los ríos que nacen en los páramos circundantes de los volcanes Antisana y Cotopaxi (Sistemas Papallacta, Mica-Quito-Sur y Pita) (EMAAP-Q, 2002)

Existen numerosas tecnologías utilizadas en el tratamiento de aguas; generalmente consiste en las etapas de pre tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, desinfección y tratamiento de lodos (Ruiz Mora, 2011). El tipo de tecnología a utilizar en cada planta de tratamiento, dependerá de muchos factores como el tamaño, la calidad deseada y costos. Como resultado de la remoción de contaminantes, en los procesos de tratamiento se producen diferentes subproductos (basuras, arena, espuma y lodo), siendo el más importante los lodos.

El lodo extraído y producido en operaciones y procesos de tratamientos de aguas potables generalmente suelen ser un líquido o un líquido – semisólido con gran contenido de sólidos entre 0.25 – 12% (Galvis & Rivera, 2013).

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

El tratamiento y disposición de los lodos pueden traer grandes beneficios para las plantas de tratamiento y la población. Los lodos pueden ser aprovechados mediante la estabilización e inertización, pueden ser utilizados como mejoradores de suelo en la agricultura, entre otros. Éstos mejoran las características del suelo y proveen nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal como nitrógeno, fósforo, níquel, zinc y cobre. Debido a sus ventajas, los biosólidos (considerados así por su carga microbiológica) pueden utilizarse como sustituto de fertilizantes químicos (Limón, 2013)

En otros países las normativas más empleadas en la agricultura son las de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) y la Directiva Europea, de igual manera varios países disponen de normas propias que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos para su disposición y aprovechamiento, aunque varias de las mismas están basadas en la USEPA; hay algunos factores que varían de acuerdo a el clima, usos y características del terreno donde serán aplicados (Flores-Márquez, 2007).

Las tecnologías de tratamiento para lodos más utilizadas, son los tratamientos biológicos como la digestión anaerobia, la estabilización y el compostaje, además de procesos físicos como el espesamiento, deshidratación y secado térmico (Carvajal Ruiz & Ortega Mafla, 2014; Lara Puga, 2017; Ruiz Mora, 2011).

El Ecuador cuenta con normativa para la regulación de aguas residuales para su evacuación en el sistema de alcantarillado, así como en cauces receptores mediante el Texto Unificado De Legislación Secundaria Ambiental.

El objetivo principal de este proyecto, fue caracterizar e inertizar el lodo generado en las plantas de tratamiento de agua potable Bellavista y Puengasí, con el objetivo de conocer sus componentes para disminuir el potencial contaminante y evaluar la mejor forma de aprovechamiento según las características presentadas y aplicando normativa mexicana para lodos y biosólidos ya que Ecuador no cuenta con normativa para lodos.

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) posee plantas de tratamiento de agua en diferentes partes del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), que son utilizadas para purificar y desinfectar el líquido vital que viene de las captaciones, siendo un proceso muy delicado que permite el consumo humano (Baque Mite et al., 2016). Dentro de las estructuras más representativas encontramos, la Planta de Tratamiento Bellavista ubicada al norte de la ciudad de Quito, con una capacidad de procesamiento de 3000 L/s, abasteciendo al 36% de la población, y la Planta de

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Tratamiento Puengasí ubicada al sur oriente de la ciudad, con una capacidad de procesamiento de 2400 L/s, llegando a abastecer al 33% del DMQ (EPMAPS, 2017).

Planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Bellavista

La Ptap Bellavista es una de las principales plantas de tratamiento de agua potable de la EPMAPS, está ubicada en el Parque Metropolitano (Frutos Suárez, 2013). Bellavista es alimentada por el Sistema de captación de agua Papallacta, Rio Blanco y Salve Facha, llegando a procesar un caudal medio anual de 2 300 L/s de agua. Comenzó operaciones en el mes de mayo de 1990, con capacidad máxima de tratamiento de 3 000 L/s, capacidad que abastece al 36% de Quito (Álvarez Ramírez, 2014; Cañas Villarruel, 2015). Después de agregar todos los productos químicos al agua que ingresa a la planta, es agitada para que se mezclen completamente. En la planta se utiliza dos agitadores mecánicos de 30 a 45 kW de potencia, los que contribuyen a que haya buen mezclado y así el líquido pase al proceso de floculación (Agua Quito, 2010).

El proceso de floculación en la planta existen cuatro (4) floculadores mecánicos de 22 kW de potencia cada uno, cuyo trabajo consiste en agitar el agua lentamente, para que las partículas siempre se encuentren en movimiento y se puedan reunir unas con otras para formar flóculos cada vez más grandes (Enriquez, 2015)(Cañas Villarruel, 2015). La planta posee 10 filtros rápidos con dimensión de 140 m² cada uno, que están compuestos por diferentes tipos de arena y grava, otorgando una filtración de 185 m³ de agua por cada metro cuadrado al día(Agua Quito, 2010)

Y por último la Desinfección, Bellavista tiene tres dosificadores automáticos de cloro gas, que agregan en promedio 2 mg/L al sistema. Bellavista también cuenta con una reserva de agua tratada lista para el consumo humano, el agua es enviada a dos tanques de almacenamiento subterráneos ubicados junto a la planta, con capacidad de 30.000 m³ de agua. Esta reserva cumple el mismo objetivo que la reserva de agua cruda, estos es, mantener un stock de emergencia (Cañas Villarruel, 2015; Enriquez, 2015). Finalmente, el agua es distribuida por medio de tuberías hacia las diferentes zonas de distribución parroquiales Cumbayá, Itchimbia, Chaupicruz, Bellavista y Collaloma. Los controles de calidad del agua tratada, son analizados en su propio laboratorio bajo la “Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 108:2011 Cuarta Revisión”, para asegurar que el agua procesada cumpla con los parámetros necesarios para el consumo humano (Enriquez, 2015). Las características principales de Ptap Bellavista se pueden observar en la

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Diagrama 1.

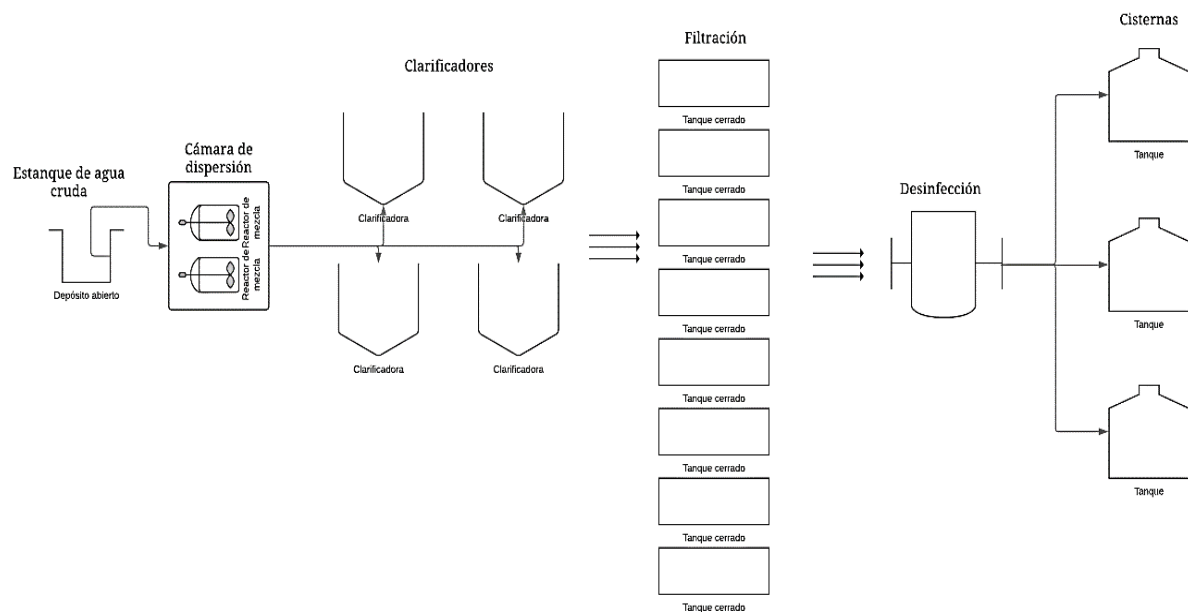


Diagrama 1 Planta de Tratamiento Bellavista (Jiménez, 2019)

Planta de tratamiento de agua potable Puengasí

La Ptap Puengasí se encuentra en el Sur Oriente de la ciudad, sector Loma de Puengasí, es la segunda Ptap más importante que posee la ciudad de Quito. Comenzó operaciones en el mes de mayo de 1977, con capacidad máxima de tratamiento de 2400 L/s, capacidad que abastece al 33% de Quito (Álvarez Ramírez, 2014; Cañas Villarruel, 2015).

Después de agregar todos los productos químicos al agua que ingresa a la planta, el agua es agitada para que se mezclen completamente. En la planta se utiliza dos agitadores mecánicos “Accelerator” de 10HP Y 12.5 HP de potencia, los que contribuyen a que haya buen mezclado y así el líquido pase al proceso de floculación (EPMAPS, 2010).

En el proceso de floculación en la planta existen ocho floculadores mecánicos, cuatro cuadrados y cuatro circulares con un área de clarificación de 506.25m² y 894.6 m² respectivamente; tienen 4.8 kW a 0.75 kW de potencia, cuyo trabajo consiste en agitar el agua lentamente, para que las partículas siempre se encuentren en movimiento y se puedan reunir unas con otras para formar flóculos cada vez más grandes (Enriquez, 2015)(Cañas Villarruel, 2015). La planta posee ocho filtros rápidos de doble cámara de tasa constante con dimensión de 94.10 m² cada uno, que están compuestos por antracita, arena, granate y grava, otorgando una filtración de 261 m³ de agua por cada metro cuadrado al día.

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Y por último la desinfección, este proceso de tratamiento de agua; Puengasí tiene 3 dosificadores (1 en reserva) automáticos de cloro gas. Puengasí también cuenta con dos tanques de reserva de agua tratada lista para el consumo humano, el agua es enviada a dos tanques de almacenamiento subterráneos ubicados junto a la planta, con capacidad de 14782 y 15000m³ de agua. Esta reserva cumple el mismo objetivo que la reserva de agua cruda, estos es, mantener un stock de emergencia (Cañas Villarruel, 2015; Enriquez, 2015). Finalmente, el agua es distribuida por medio de tuberías hacia las diferentes zonas de distribución parroquiales Monjas, Los Pinos, Bellavista, Chiriyacu, Sur Occidente y El Placer. Los controles de calidad del agua tratada, son analizados en su propio laboratorio bajo la “Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 108:2011 Cuarta Revisión”, para asegurar que el agua procesada cumpla con los parámetros necesarios para el consumo humano (Enriquez, 2015). En la Figura 2 se puede observar un diagrama de estos procesos.

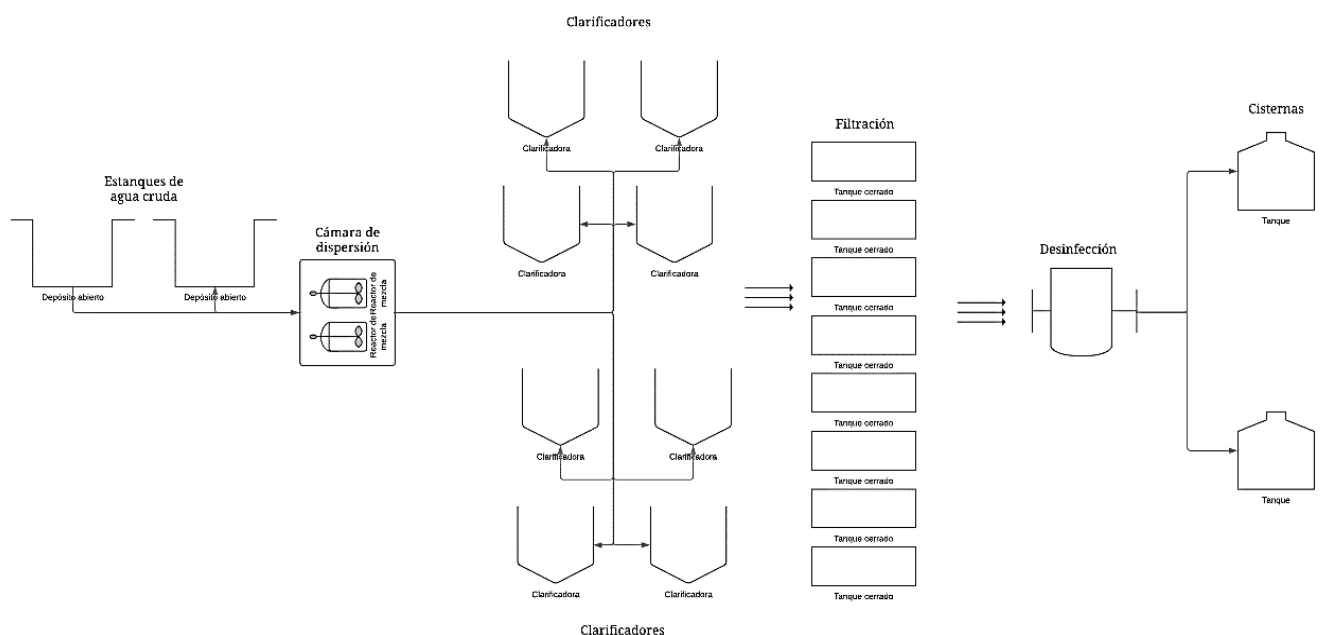


Diagrama 2 Planta de Tratamiento Puengasí (Jiménez, 2019)

Marco Teórico

Estabilización de Lodos

Los lodos que se generan en la Ptap tienen un alto contenido de agua que hace su volumen muy grande y causa dificultades en su manejo. Es por esto que el primer objetivo en el tratamiento de los lodos es reducir su volumen (Flores-Márgez, 2007; López Espinoza & Rivas Cevallos, 2013; Torres, Marmolejo, & Botina, 2005). El agua contenida en el lodo

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

se clasifica en tres tipos de acuerdo a su combinación con las partículas sólidas: agua intermedia o intersticial (alrededor de 70 por ciento del volumen del lodo), agua de adhesión y capilar (alrededor de 22 por ciento) y agua interna y de adsorción (alrededor de 8 por ciento). Al aumentar la intensidad de los enlaces, se incrementa el consumo energía para la separación del agua.

Cada uno de los procesos de estabilización de lodos pertenecen según de donde provenga el lodo, si de una Ptap (Planta de tratamiento de agua potable) o una Ptar (Planta de tratamiento de aguas residuales); existen varios tipos de estabilización entre ellos la estabilización anaerobia, estabilización aerobia generalmente usadas para lodos provenientes de Ptar, también existe la estabilización por composteo, vermicomposteo y estabilización alcalina estos pueden ser usados en lodos provenientes de Ptar y Ptap; el uso final de los lodos requiere cierta cantidad de deshidratación de lodos. La deshidratación se realiza principalmente para disminuir los costos de inversión y de operación que implica el manejo del lodo después de la estabilización (Alberto et al., 2008; Sandoval, Martín, & Piña Leticia Montellano P, n.d., 2015).

Estabilización Alcalina de Lodos Deshidratados

El tratamiento de los lodos de aguas potables con productos alcalinos es frecuentemente utilizado. La adición de productos alcalinos al lodo, cumpliendo con los criterios de diseño, permite una estabilización parcial del lodo, así como la disminución de olores y vectores (Torres et al., 2005). También disminuye la concentración de microorganismos patógenos como bacterias y virus. Diferentes materiales pueden utilizarse para realizar la estabilización alcalina, la cal es el más utilizado $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Este producto también se utiliza para la disminución de olor, para incrementar el pH en los reactores y la remoción de fósforo en el tratamiento avanzado de las aguas residuales. Actualmente el uso más común de cal en el tratamiento de aguas residuales es para el acondicionamiento del lodo antes del desaguado (Baque Mite et al., 2016; Gómez, Tenorio, & Sanders, 2010; Torres et al., 2005).

El proceso consiste en dosificar cal u otro material alcalino al lodo para elevar el pH y requiere un tiempo de contacto por mezcla específico, a pH superior a 12 y con suficiente tiempo de contacto, los patógenos y microorganismos pueden ser inactivados o destruidos (Arosteguí Sánchez, 2018; Coello, Ormaza, Déley, Recalde, & Rios, 2015; Torres et al., 2005).

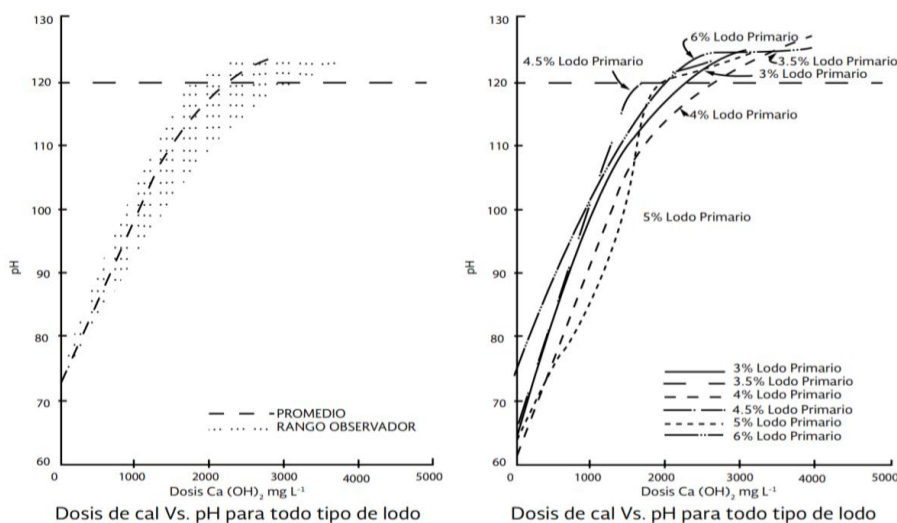
CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

La pre- estabilización con cal o post- estabilización alcanzan reducciones significativas de patógenos si se mantiene el pH arriba de doce. Las investigaciones demuestran que la estabilización con cal reduce los coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales en concentraciones mayores al 99.9 por ciento Las concentraciones de Salmonella y Pseudomonas Aeruginosa se redujeron por debajo de los límites de detección en experimentos realizados en la planta de Lebanon, Ohio (SEMARNAT, 2012).

Pasteurización Alcalina

El proceso de pasteurización es un proceso de estabilización alcalina patentado. En este proceso, el lodo desaguado se precalienta, antes de transferirse a un termo-mezclador. El lodo caliente y la cal se mezclan en el termo-mezclador. Como se utiliza calor adicional para elevar la temperatura del lodo, el material alcalino debe adicionarse solamente para elevar el pH, requiriéndose bajas dosis de cal. La mezcla se traslada a un reactor cerrado aislado con una temperatura mínima de 70 °C, donde permanece por 30 minutos. Este proceso no requiere de una etapa de secado adicional para alcanzar los requerimientos de la EPA. Se considera económicamente atractivo por su bajo consumo de reactivos y bajos costos anuales de operación y mantenimiento (Comisión Nacional del Agua, 2016).

El proceso de pasteurización se lo realizó a micro escala, ya que el proceso utilizado es la deshidratación de lodos a un 20% de humedad mediante un deshidratador casero, después agregar Cal de construcción $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en el deshidratador y mezclarlo homogéneamente con el lodo deshidratado, dejar de 2 a 3 días el lodo mezclado en el deshidratador y finalmente almacenarlo para su análisis.



CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

La dosificación de Cal para lodos primarios y lodos activados están en rangos de 0.1 a 0.3 g Ca(OH)₂/g de lodo seco o entre 1 000 y 3 000 mg/L como se observa en la Gráfico 1 donde aparecen las dosis combinadas para todos los lodos y las dosis recomendadas para lodos primarios. Con estas dosificaciones solo se consigue un lodo clase B.

Normativa ecuatoriana

En el anexo 1 ítem 5 del libro TULSMA (Texto Unificado De Legislación Secundaria De Medio Ambiente) de normativa ecuatoriana se establece el máximo y mínimo permisible aceptable con relación a descarga de efluentes al alcantarillado.

Las descargas de efluentes generados en la Ptap al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujetas a regularización en este caso potabilización y tratamiento de agua, deberán cumplir, al menos, con los valores establecidos en la TABLA 1, en la cual las concentraciones corresponden a valores medio diario estos valores fueron seleccionados según las regulaciones exigidas para efluentes residuales de tratamiento de aguas.

Tabla 1 Límites de descarga de efluentes al alcantarillado

Parámetros	Expresado como	Límite máximo permisible	Unidad
Aluminio	Al	5	mg/L
Sulfatos	SO ₄	400	mg/L
Arsénico Total	As	0,1	mg/L
Cadmio	Cd	0,02	mg/L
Cinc	Zn	10	mg/L
Mercurio (Total)	Hg	0,01	mg/L
Cromo Hexavalente	Cr	0,5	mg/L
Níquel	Ni	2	mg/L
Plomo	Pb	0,5	mg/L
Potencial De Hidrógeno	pH	5-9	
Sólidos Sedimentables	SD	10	mL/L
Sólidos Totales	ST	1 600,0	mg/L
Temperatura	T	< 40,0	C

(TULSMA, 2017)

En condiciones especiales de ausencia de estudios del cuerpo receptor, se utilizarán los valores de la TABLA 2 de limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce, con el

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

aval de la Autoridad Ambiental Competente. Las concentraciones corresponden a valores medios diarios (TULSMA, 2017).

Se analizaron también la normativa referente a descargas en cauce de agua dulce ya que se requiere analizar el impacto que se generaría si se descargara directamente al cauce los efluentes generados en las plantas de tratamiento de agua potable.

Tabla 2 Límites De Descarga de efluentes aun Cuerpo de Agua Dulce

Parámetros	Expresado como	Límite máximo permisible	Unidad
Aluminio	Al	5	mg/L
Sulfatos	SO ₄	1000	mg/L
Arsénico Total	As	0,1	mg/L
Cadmio	Cd	0,02	mg/L
Cinc	Zn	5	mg/L
Mercurio (Total)	Hg	0,005	mg/L
Cromo Hexavalente	Cr	0,5	mg/L
Níquel	Ni	2	mg/L
Plomo	Pb	0,5	mg/L
Potencial De Hidrógeno	pH	5-9	
Sólidos Sedimentables	SD	1	mL/L
Sólidos Totales	ST	1 600,0	mg/L
Temperatura	T	< 35,0	C
Coliformes Totales	NMP	2000	NMP/100mL

(TULSMA, 2017)

Normativa extranjera mexicana

Se utiliza la normativa mexicana ya que el Ecuador no cuenta con regulaciones para el lodo residual generado en las plantas de tratamiento de agua potable, así como una clasificación para su posible uso.

Las características de los lodos de plantas potabilizadoras varían en función de la calidad del agua, del tipo de proceso empleado, del tipo y cantidad de coagulante o floculante empleado, y del resto de los compuestos químicos utilizados para el tratamiento (Comisión Nacional del Agua, 2016).

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Disposición En El Suelo

Por disposición al suelo se entiende, la disposición de los lodos en un relleno sanitario específico o público, o la disposición en el sitio de la planta ya sea en una laguna como líquido, o en el suelo como sólido (Baque Mite et al., 2016; Flores-Márgez, 2007). Las disposiciones de carácter general se encuentran en la Ley General del Equilibrio Ecológico y 1a Protección al Ambiente y en la Ley de Aguas Nacionales Mexicanas. La Ley General del Equilibrio Ecológico establece en los artículos 136 y 139 los siguientes:

Los generadores de biosólidos deben controlar la atracción de vectores, demostrando su efectividad. Para lo cual se pueden aplicar cualquiera de las opciones descritas, de manera enunciativa pero no limitativa, en el Anexo 1 u otras que el responsable demuestre que son útiles para ello. Se deben conservar los registros del control por lo menos durante los siguientes 5 (cinco) años posteriores a su generación (SEMARNAT, 2012). Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana los biosólidos se clasifican en tipo: excelente y bueno en función de su contenido de metales pesados; y en clase: A, B y C en función de su contenido de patógenos y parásitos

Los límites máximos permisibles de metales pesados en los lodos y biosólidos se establecen en la tabla 3

Tabla 3 Límites Máximos Permisibles Para Metales Pesados En Biosólidos

CONTAMINANTE (determinados en forma total)	EXCELENTES mg/kg en base seca	BUENOS mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1 200	3 000
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2 800	7 500

(SEMARNAT, 2012)

Los límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos se establecen en la tabla 4.

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Tabla 4 Límites Máximos Permisibles Para Patógenos Y Parásitos En Lodos Y Biosólidos Base Seca O Semi Húmeda

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35
(a) Huevos de helmintos viables NMP número más probable			

(SEMARNAT, 2012)

El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase, como se especifica en la tabla 5 y su contenido de humedad hasta el 85%.

Tabla 5 APROVECHAMIENTO DE BIOSÓLIDOS BASE SECA; HUMEDA O SEMI HUMEDA.

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	— Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación — Los establecidos para clase B y C
EXCELENTE O BUENO	B	— Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación — Los establecidos para clase C
EXCELENTE O BUENO	C	— Usos forestales — Mejoramientos de suelos — Usos agrícolas

(SEMARNAT, 2012)

Los sitios para la disposición final de lodos y biosólidos, serán los que autorice la autoridad competente, conforme a la normatividad vigente en la materia. Los lodos y biosólidos que cumplan con lo establecido en la presente Norma Oficial Mexicana, pueden ser almacenados hasta por un periodo de dos años. El predio en el que se almacenen debe ser habilitado para que no existan infiltraciones al subsuelo y contar con

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

un sistema de recolección de lixiviados (Comisión Nacional del Agua, 2016; SEMARNAT, 2012).

Se permite la mezcla de dos o más lotes de lodos o biosólidos, siempre y cuando ninguno de ellos esté clasificado como residuo tóxico, peligroso y su mezcla resultante cumpla con lo establecido en la presente Norma Oficial Mexicana.

Materiales y Métodos

El presente estudio se llevó a cabo en las Ptap de Bellavista y Puengasí a partir de los efluentes generados en los mismos y los lodos Sedimentables en las lagunas de ecualización.

El presente proyecto se llevó a cabo con muestras de lodo residual de la planta de tratamiento de agua Potable Bellavista y Puengasí. Se presentan tres fases de análisis en las cuales tenemos la caracterización de efluente y lodo sedimentado de las plantas de tratamiento de agua potable, el proceso de estabilización de lodo (lodo sedimentado) para la eliminación de contaminantes, en la cual se realiza el test de lixiviación mediante la norma DIN 38414-S4 y por último el análisis físicoquímico y microbiológico de lodo inertizado para clasificarlo según la normativa mexicana vigente.

Con respecto a la caracterización del efluente generado en las Ptap se analizaron los parámetros de Temperatura (°C), Oxígeno Disuelto (mg/L), pH, Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) basados en el Método HACH®; con respecto a Sólidos Sedimentables (% v/v, mL/L), Sólidos Totales, Densidad (g/cm^3), Humedad (%), Microorganismos, Sulfatos (ppm), Aluminio (ppm), Cloro Total, Metales basándose en los Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales y en análisis de laboratorio certificado; los parámetros se seleccionaron según la normativa nacional vigente para descargas de empresas de agua potable y embotelladoras especificado en el TULSMA (Acuerdo Ministerial 97, 2015).

Con respecto a la caracterización del lodo sedimentado generado en las Ptap se analizaron los parámetros de Humedad (%), Microorganismos, Sulfatos (ppm), Aluminio (ppm) y Metales basándose en los Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales y en análisis de laboratorio certificado; los parámetros se seleccionaron según la normativa mexicana vigente para sólidos y biosólidos.

Los métodos de ensayo para los parámetros físicoquímicos que se realizan con mayor frecuencia para determinar la calidad y composición de los lodos, se encuentran

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

referenciados en el Standard Methods (APHA, AWWA, & WPCF, 2012), donde relaciona principios de las técnicas, procedimientos, cantidades de reactivos y de muestras.

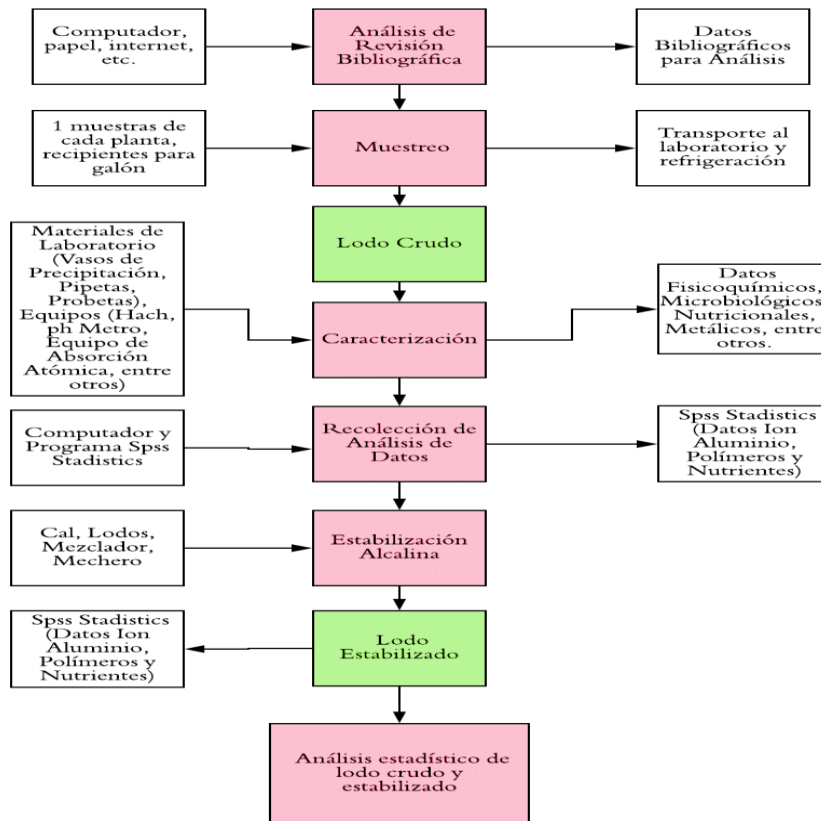
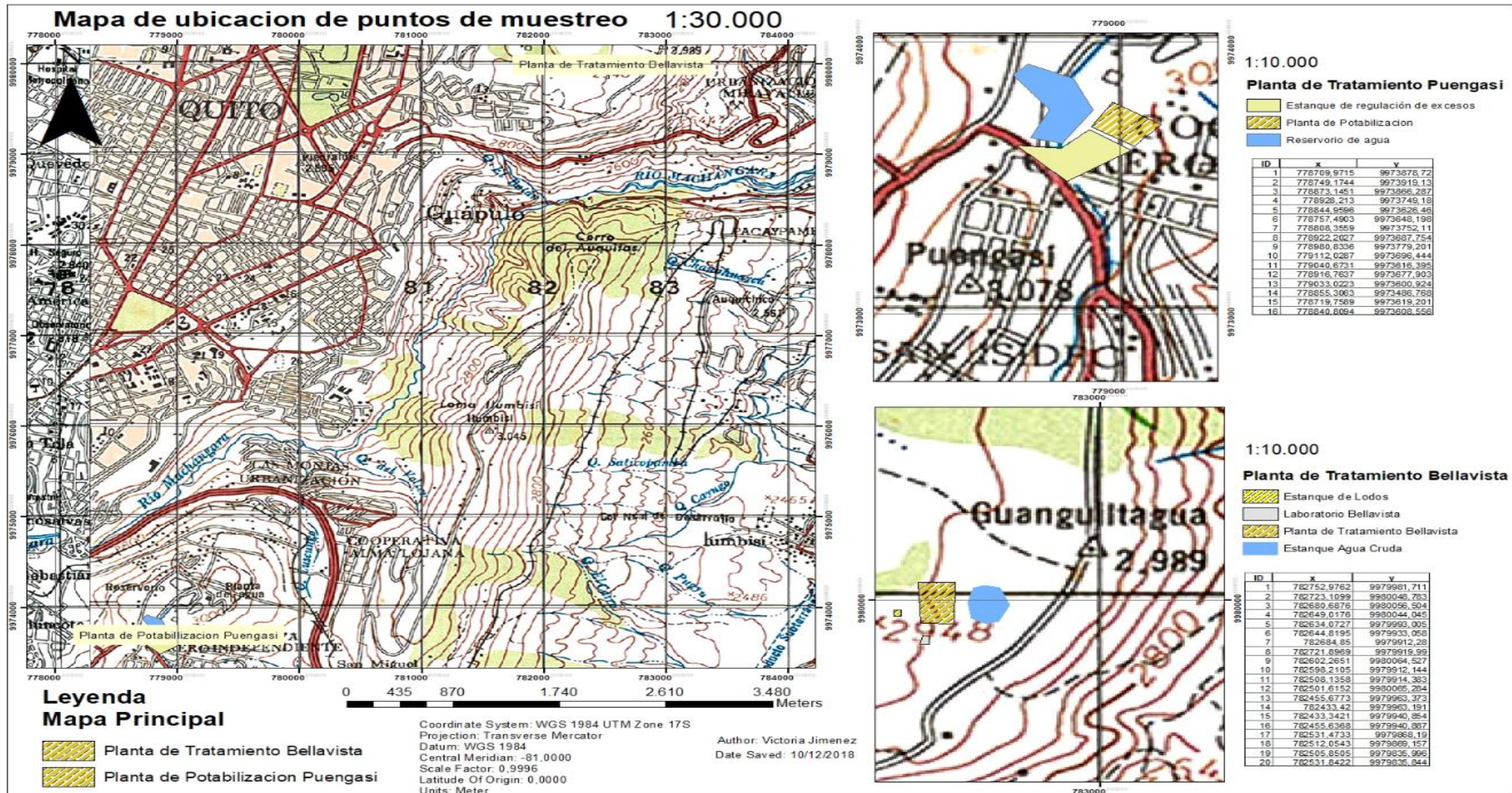


Diagrama 3 Método de ensayo y proceso de análisis (Jiménez, 2019)

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO



Mapa 1 Sitio de Muestreo (Jiménez, 2019)

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Numero de Muestras:

Las muestras fueron recolectadas de las plantas de tratamiento de agua potable Bellavista y Puengasí; el número de muestras está calculado según el 85% de nivel de confianza de la muestra y un 10% de frecuencia de desestabilidad:

$$n = \frac{\ln \alpha}{\ln(1 - Y)}$$

Ecuación 1 Cálculo de número de muestra (APHA et al., 2012)

$$N = \frac{\ln (1 - .85)}{\ln(1 - .1)} = 18.001 \approx 20$$

n= número de muestras

α = 1- nivel de confianza deseado

Y= frecuencia para detectar < 10%

Una vez realizado el cálculo mínimo de 18 muestras, para tener un resultado significativo se plantó realizar 20 muestras para tener un 10% más de datos (APHA et al., 2012).

Puntos De Muestreo En Planta De Tratamiento De Puengasí

Punto de muestreo 1 Efluente

Punto de descarga de clarificadores a laguna de ecualización, efluente proveniente de clarificadores 5, 6, 7 y 8. Muestra tomada de descarga de efluente (lodos) de los clarificadores; se toma una muestra de 1 galón de plástico previamente lavado el recipiente contuvo ácido nítrico concentrado (3 mL) para preservar las muestras.

Punto de muestreo 2 Efluente

Punto de descarga de clarificadores y filtros a laguna de ecualización, efluente proveniente de clarificadores 1, 2, 3, 4 y filtros del 1 al 8. Muestra de descarga de efluente (lodos) de clarificadores y retro lavado; se toma una muestra de 1 galón de plástico previamente lavado, en el recipiente se adicionó ácido nítrico concentrado (3 mL) para preservar las muestras.

Punto de muestreo Sólidos Sedimentables

Lodos Sedimentables en Laguna resultado de varias descargas de Punto de descarga de clarificadores y Filtros a laguna de ecualización, se toma una muestra en un recipiente de

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

capacidad de 1 galón de plástico previamente lavado, el recipiente fue adicionado con ácido nítrico concentrado (3 mL) para preservar las muestras.

Puntos de Muestreo en Planta de tratamiento Bellavista

Punto de muestreo Efluente

Punto de descarga de clarificadores y Filtros a laguna de ecualización, efluente proveniente de clarificadores 1 al 8 y Filtros del 1 al 8. Muestra de descarga de efluente (lodos) de clarificadores y retro lavado de filtros; se toma una muestra de 1 galón de plástico previamente lavado y el recipiente con el ácido nítrico concentrado (3 mL) para preservar las muestras.

Punto de muestreo Sólidos Sedimentables

Lodos Sedimentables en Laguna resultado de varias descargas de Punto de descarga de clarificadores y Filtros a laguna de ecualización, se toma una muestra en un recipiente de capacidad de 1 galón de plástico previamente lavado con el recipiente ácido nítrico concentrado (3 mL) para preservar las muestras.

Parámetros de Caracterización en Efluente

Parámetros In situ

Determinación de pH:

Se conectó el electrodo al medidor Multiparámetro HACH, se añadió la muestra en un vaso de precipitación de 250 ml, luego se colocó el electrodo en la muestra. Se seleccionó Medición. La pantalla mostro el inicio del proceso de Estabilizando, una barra aparece indicando el progreso de la estabilización de la sonda. Se registró el pH de la muestra y la temperatura, finalmente se limpió la sonda con agua destilada (Hach Company, 2000).

Determinación de Oxígeno Disuelto:

Se conectó el electrodo al medidor Multiparámetro HACH, se añadió la muestra en un vaso de precipitación de 250 ml, luego se colocó el electrodo en la muestra. Se seleccionó Medición. La pantalla mostro el inicio del proceso de Estabilizando, una barra aparece indicando el progreso de la estabilización de la sonda. Se registró el valor de oxígeno disuelto, finalmente se limpió la sonda con agua destilada (Hach Company, 2000).

Determinación de Conductividad Eléctrica:

Se conectó el electrodo al medidor Multiparámetro HACH, se añadió la muestra en un vaso de precipitación de 250 ml, luego se colocó el electrodo en la muestra. Se seleccionó

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Medición. La pantalla mostro el inicio del proceso de Estabilizando, una barra aparece indicando el progreso de la estabilización de la sonda. Se registró el valor de conductividad eléctrica, finalmente se limpió la sonda con agua destilada (Hach Company, 2000).

Parámetros de muestras Húmedas en el Laboratorios de la Universidad Internacional SEK

Fisicoquímicos

Sólidos Sedimentables

Para la determinación de sólidos sedimentables de las muestras se utilizó el método 2540F. de (APHA, 2017) método volumétrico se llena un cono de Imhoff hasta la marca 1L con una muestra bien mezclada. Se deja sedimentar durante 45 minutos, removiendo a continuación suavemente las paredes del cono con una varilla de vidrio; se mantiene 15 minutos más y se registra el volumen de sólidos sedimentables del cono como mililitros por litro (mL/L).

Sólidos Totales

Para la determinación de sólidos totales de las muestras se utilizó el método 2540G. de (APHA, 2017) se introduce el crisol vacío por 2 horas dentro de la estufa a 105 °C, luego se introduce en el desecador por 10 minutos, paso siguiente se pesa y se anota el valor obtenido, se agrega la muestra y se deja en la estufa por 24 horas posteriormente se introduce al desecador por 10 min y finalmente se pesa y se utiliza la siguiente fórmula para determinar el valor.

$$ST = \text{peso del crisol vacío (seco)} - \text{valor del crisol con muestra seca}$$

Ecuación 2 Sólidos Totales (APHA et al., 2012)

Humedad

Se realizó el método descrito en (APHA, 2017), el cual explica que se introduce el crisol vacío por 2 horas dentro de la estufa a 105 °C, una vez que se retira el crisol se lo introduce en el desecador por 10 minutos, paso siguiente se pesa y se anota el valor obtenido, se tara y se agrega la muestra y se deja en la estufa por 24 horas. Posteriormente nuevamente se introduce en el desecador por 10 min el crisol con la muestra seca y finalmente se pesa y se utiliza la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de humedad.

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

$$H = \frac{(\text{Peso Crisol} + \text{Muestra Humeda}) - (\text{Peso Crisol} + \text{Muestra seca})}{(\text{peso Crisol} + \text{Muestra humeda})} * 100$$

Ecuación 3 Cálculo de Humedad (APHA et al., 2012)

Método Picnómetro

Se tiene una muestra de efluente. Se mide la masa del picnómetro vacío (m_p), la masa del picnómetro enrasado con agua (m_{p+w}) y la masa del picnómetro enrasado con disolución (m_{p+d}). Se sustituyen los valores de las tres determinaciones en la ecuación. Y se usa la densidad del agua 1g/mL (Huerta, 2015).

$$D = Pd = \frac{m_{p+d} - m_p}{m_{p+w} - m_p} * P_w$$

Ecuación 4 Densidad (Huerta, 2015)

Aceites y grasas

Para efectuar los cálculos y determinar la concentración de grasas y aceites es necesario recolectar la información obtenida durante el análisis en la siguiente ecuación (Alvarado, López, & Flores, 2015):

$$\text{ppm GyA} = \frac{(P_2 - P_1)}{V_1} - \text{Blanco}$$

Ecuación 5 Aceites y Grasas (Alvarado et al., 2015)

Donde:

Ppm (G y A): Concentración de Grasa y Aceites en partes por millón (mg/L)

P₁: Peso del matraz (libre de humedad) antes de la extracción

P₂: Peso el matraz después de la extracción y el secado

V₁: Volumen de la muestra filtrada

Lodos Semi Húmedos

Parámetros de muestras Sólidas en el Laboratorios de la Universidad Internacional SEK

Fisicoquímicos

Humedad

Se realizó el método descrito en (APHA, 2017), el cual explica que se introduce el crisol vacío por 2 horas dentro de la estufa a 105 °C, una vez que se retira el crisol se lo introduce

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

en el desecador por 10 minutos, paso siguiente se pesa y se anota el valor obtenido, se tara y se agrega la muestra y se deja en la estufa por 24 horas. Posteriormente nuevamente se introduce en el desecador por 10 min el crisol con la muestra seca y finalmente se pesa y se utiliza la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de humedad.

$$H = \frac{(\text{Peso Crisol} + \text{Muestra Humeda}) - (\text{Peso Crisol} + \text{Muestra seca})}{(\text{peso Crisol} + \text{Muestra humeda})} * 100$$

Ecuación 6 Cálculo de Humedad (APHA et al., 2012)

Microbiológicos

Salmonella sp

Suspender los componentes y calentar con suave agitación hasta disolver. Esterilizar en autoclave a 121 °C durante 15 minutos. Enfriar entre 45 -50 °C y fraccionar 20 mL en placas de Petri estériles (APHA, 2017).

Huevos de Helminthos Viables

Uso del método directo o Beaver modificado (Torres et al., 2005); en un portaobjetos se pusieron separadamente una gota de solución salina (0,85%) y una de lugol (4%). Luego se mezclaron de manera independiente 1 mL de muestra con cada gota y se cubrieron con laminillas; el número de huevos por gramo de materia fecal (hpg) se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{hpg} = \frac{(\text{Número de huevos contados} \times 1.000 \text{ mg})}{2 \text{ mg}}$$

Ecuación 7 Calculo de Huevos de Helminthos Viables en 1 g (Torres et al., 2005)

La lectura se hizo en un microscopio de con el lente de inmersión 100X (Torres et al., 2005).

Escherichia Coli

Pesar 52 g de Agar en 1 L de agua destilada, calentar hasta que esté completamente diluida; después auto clavar por 15 minutos luego refrigerar una vez que las placas estén sólidas, sembrar con un asa de siembra un mL de muestra.

Extender las muestras directamente en placa con el medio, o utilizar un medio ya enriquecido, tal como el caldo de soja trípica modificada selectiva o separación

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

inmunológica (IMS) con Dynabeads, siguiendo las instrucciones del fabricante, y subcultivar en BD MacConkey Agar con Sorbitol (APHA, 2017). Incubar en atmósfera aerobia a 36 ± 2 °C durante 18 horas a 24 horas.

Métodos de ensayo para Lodo Inertizado

Proceso de Estabilización por Pasteurización Parcial.

Para esta parte del proyecto, como se explicó anteriormente se seleccionó primero el proceso de pasteurización se lo realizó a baja escala, el proceso utilizado es la deshidratación de lodos a un 20% de humedad mediante un deshidratador casero, después se agregó Cal de construcción en el deshidratador y se mezcló para homogenizar el lodo deshidratado, dejar de 2 a 3 días el lodo mezclado en el deshidratador y finalmente almacenarlo para su análisis. La selección del método alcalino por adición de Cal se escogió para reducir el nivel de contaminantes presentes en los efluentes descargados. Es un método sencillo y practico que disminuye la humedad de los lodos y mejora la facilidad de su transporte.

Se realizó la mezcla de lodo deshidratado con 20% de humedad con diferentes concentraciones de cal, la primera mezcla contaba de 30% de Cal y 70 % de lodo deshidratado, la segunda mezcla contaba de 50% de Cal y 50 % de lodo deshidratado y finalmente la tercera muestra contaba de 70% de Cal y 30 % de lodo deshidratado.

Se realizó análisis de microorganismos, así como análisis de lixiviados para seleccionar la mezcla analizada finalmente para normativa, la mezcla seleccionada fue la de 50% de Cal y 50 % de lodo deshidratado.

Las tres proporciones de cal evaluadas garantizan un incremento de pH hasta 12 unidades durante períodos suficientes para la remoción de patógenos y parásitos. El material deshidratado y previamente homogenizado con cal presenta características que lo hacen apropiado para su uso agrícola (Torres et al., 2005).

Test de lixiviación de lodo inertizado de 50% de Cal y 50 % de lodo deshidratado

La norma DIN 38414-S4 habla sobre el proceso de lixiviación se basa en el contacto de la muestra sólida con agua bajo condiciones controladas durante un periodo de 24 horas. Muestra homogénea de lodo inertizado de 50% de Cal y 50 % de lodo deshidratado de 100 gamos con una diferencia de más menos 1 de muestra, agregar 1 litro de agua destilada y agitar de manera rotatoria por 24 horas a temperatura ambiente. Después con

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

un filtro de membrana de 0.45um se separan los lixiviados; luego en los cuales se procedió a analizar pH, conductividad, volumen, metales de interés (Arosteguí Sánchez, 2018).

Tabla 6 Criterios de aceptación sobre el filtrado DIN 3814-54

pH	C	Cr (Vt)	Zn	As	Cd	Cu	Zn	Ni	Pb	Cr	Hg
	mS/cm	mg/L									
4-13	50	0.01	5	0.5	0.2	5	5	1	1	2	0.05

(Arosteguí Sánchez, 2018)

En definitiva, el método DIN 38414-S4, basado en un procedimiento de extracción simple permite realizar un estudio preliminar del comportamiento del lixiviado y por lo tanto facilita la evaluación del posible riesgo que estos lixiviados suponen para el medio hídrico si son depositados en el medio.

Parámetros en Laboratorios Certificado de Efluentes y Lodos Base Seca

Para los metales a analizar se usó el método Digestión para metales Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Mercurio, Níquel y Plomo. Estos parámetros se realizaron en laboratorios certificados para que sus resultados sean reales y confiables; además los metales son uno de los parámetros de regulación tanto en normativa ecuatoriana, así como en normativa mexicana debido a que estos representan graves riesgos a la salud humana y al ambiente.

Muestreo de Efluente

Se necesita analizar 2 muestras de efluente de cada planta de tratamiento de agua potable. En la planta de tratamiento de agua potable Puengasí 1 muestra punto 1 o 2; y en la planta de tratamiento de agua potable Bellavista 1 muestra de punto de muestreo efluente (De preferencia descarga de filtros y clarificadores)

Muestreo de Lodos Sedimentables

Se necesita analizar 2 muestras de lodo de plantas de tratamiento de agua potable, en la planta de tratamiento de agua potable Puengasí se necesita 1 muestra húmeda de lodo sedimentable obtenido de la mezcla de sólidos sedimentables y con respecto a la planta de tratamiento de agua potable Bellavista 1 muestras de punto de muestreo sólidos sedimentables.

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Muestreo de Lodo Inertizado

Se necesita analizar 2 muestras, una de lodo inertizado y otra de lixiviado del mismo. Por lo tanto, se necesita una muestra de lodo inertizado obtenido de la mezcla seca de lodos con cal y una muestra del lixiviado obtenidos del lodo inertizado seco de lodos con cal.

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Resultados

El análisis estadístico de la caracterización de efluentes y lodos sedimentables se realizó mediante el uso del programa Spss Statistics; el análisis estadístico con un porcentaje de confianza del 95% en total 40 muestras recogidas en relación a efluente de descarga de las mismas.

Las plantas de tratamiento de Bellavista y Puengasí cuentan con un caudal regulado de liberación de descargas al alcantarillado que van desde 50 a 100 L/s. Los resultados de la caracterización de los efluentes nos indica que algunos de los parámetros de la normativa ecuatoriana TULSMA, anexo 1 para norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua en la cual regula los siguientes parámetros para descarga de efluentes tanto al alcantarillado como a cauce receptor están fuera de la norma.

Tabla 7 Comparación de parámetros de caracterización con normativa ecuatoriana

	Bellavista	Puengasí	TULSMA, 2017		Unidad
	Promedio	Promedio	Alcantarillado	Cuerpo receptor	
Temperatura	13,66	14,42	<40	35	C
pH	6,96	6,98	5-9	5-9	
Sólidos totales	0,047	0,059	1600	1600	g
Sólidos Sedimentables	0,179	0,229	10	1	mL/L
A y G	0	0	100	0,3	mg/L
DQO	19,75	72,75	500	250	mg/L
Arsénico	1,87	0,082	0,1	0,1	mg/L
Cadmio	<0,01	<0,01	0,02	0,02	mg/L
Cromo	0,104	0,341	0,5	0,5	mg/L
Plomo	<0,05	<0,05	0,5	0,5	mg/L
Mercurio	<0,005	<0,005	0,01	0,005	mg/L
Níquel	<0,02	0,034	2	2	mg/L
Zinc	0,073	0,147	10	5	mg/L
Aluminio	134	447	5	5	mg/L
Sulfato	16,1	29,8	400	1000	mg/L
Coliformes	0	0		2000	NMP/100mL

(Acuerdo Ministerial 97, 2015; TULSMA, 2017)(Jiménez, 2019)

Los parámetros de la caracterización realizada en los efluentes de las plantas de tratamiento de Bellavista y Puengasí en comparación con la normativa ecuatoriana

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

nacional vigente regulada por el MAE muestra en la tabla 7 que los parámetros de Temperatura, pH, Sólidos totales , sólidos sedimentables, demanda química de oxígeno, cadmio, cromo, plomo mercurio, níquel, zinc y sulfatos están dentro de la norma y cumplen los parámetros tanto de descarga al alcantarillado, como descarga a cauce receptor; con respecto al parámetro del arsénico la planta de tratamiento Bellavista está por encima del límite de descarga tanto al alcantarillado como a cuerpo receptor; finalmente el aluminio presente en los efluentes generados en las plantas de tratamiento de agua potable Bellavista y Puengasí están completamente fuera del rango, ya que exceden La normativa Nacional vigente.

El análisis de los parámetros fisicoquímicos en el Gráfico 2, muestra que hay variación entre los parámetros de cada planta. Analizando el valor medio obtenido en cada parámetro se encontró que con respecto a la temperatura hay una variación mínima de 13.66 °C en la planta de tratamiento de Bellavista en comparación a la planta de tratamiento Puengasí en la que se tiene un valor de media de 14.42 °C esto corresponde a que las plantas de tratamiento se encuentran ubicadas en un clima templado húmedo y cambiante.

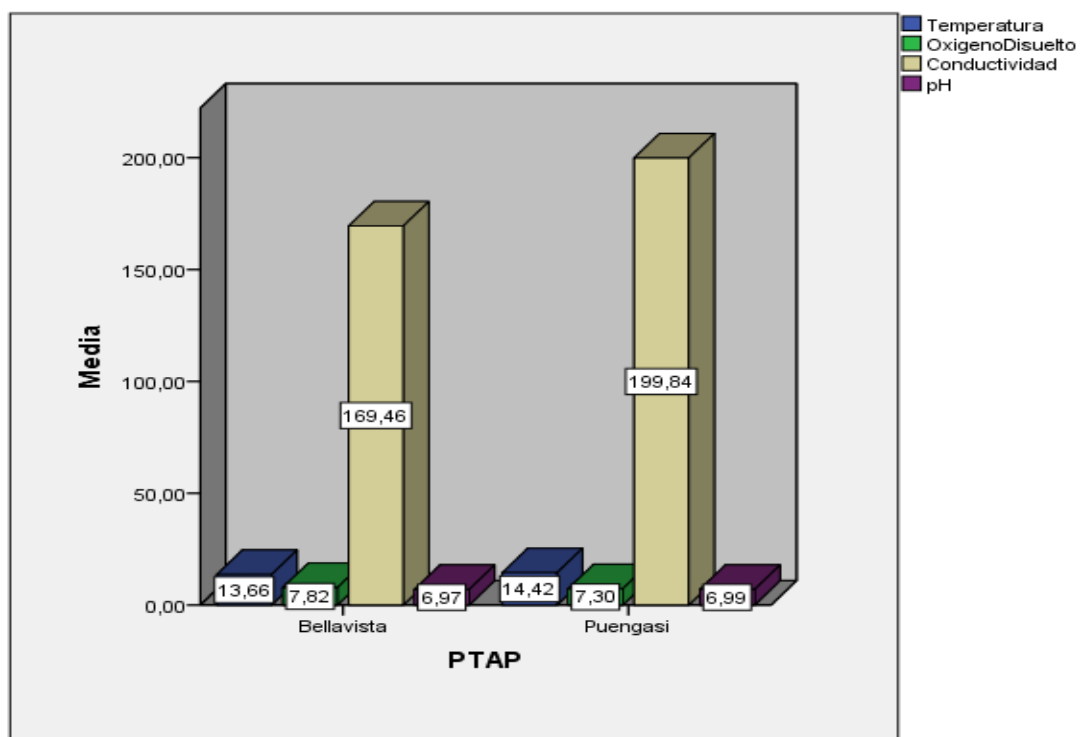


Gráfico 1 Valor de la Media de Parámetros In Situ, Ptap Bellavista y Puengasí

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

De igual manera el pH tiene una variación mínima de acuerdo a su media estos valores indican que en relación al pH los valores de 7.82 y 7.30 indican que el efluente se encuentra dentro del estado neutro con una mínima tendencia hacia básico.

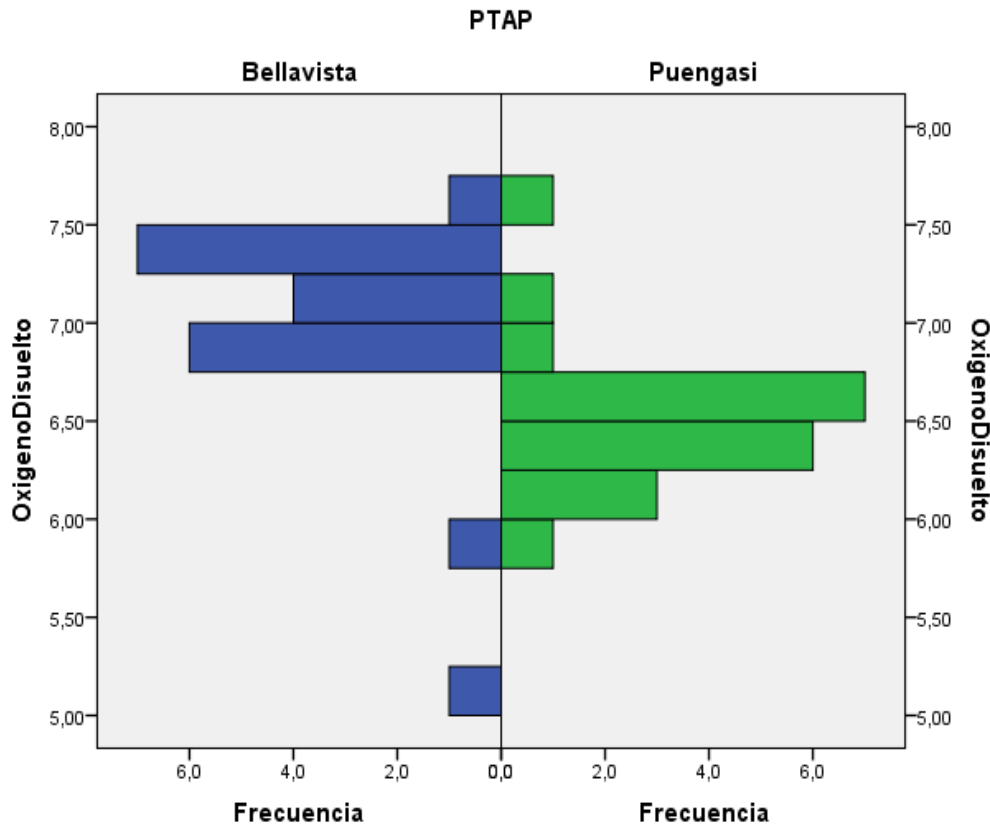


Gráfico 2 Variación de oxígeno disuelto de las plantas de tratamiento de agua potable Bellavista y Puengasí

Con respecto al oxígeno disuelto se puede observar en Gráfico 3 que existe una variabilidad entre la planta de Puengasí y la de Bellavista, teniendo mayor concentración en la planta de tratamiento Bellavista. La concentración varía entre 6.75 y 7.5 mg/L en Bellavista, en relación con la de Puengasí que varía de 6 a 6.75 mg/L, estos valores están dentro de los rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencia, para ecosistemas, los resultados se encuentran en la condición de aceptable ya que estas son adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

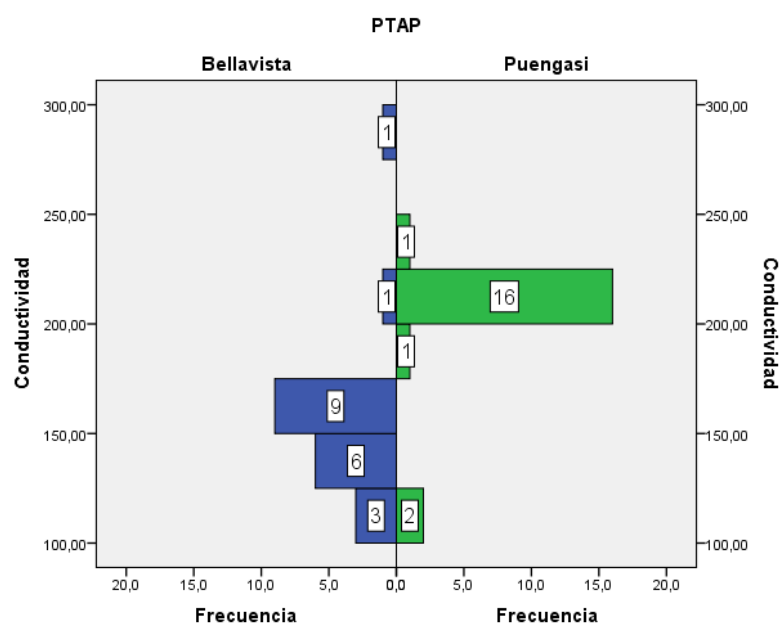


Gráfico 3 Conductividad Eléctrica De Efluentes, Ptap Bellavista y Puengasí

La planta de tratamiento que presenta mayor conductividad como se observa en el Gráfico 4 es la que la planta de tratamiento de Puengasí con un rango entre 200 y 250 uS/cm. Mientras que en la planta de tratamiento Bellavista se encuentra en rango de 125 a 175 uS/cm. La razón por la que la Ptap Puengasí tiene mayor conductividad es que esta tiene mayor cantidad de sales disueltas, el efluente tiene 0.082 mg/L de arsénico, 0.341 mg/L de cadmio, 0.034 mg/L de Cromo, 0.147 mg/L de zinc, 447 mg/L de Aluminio y 29.8 mg/L de sulfato.

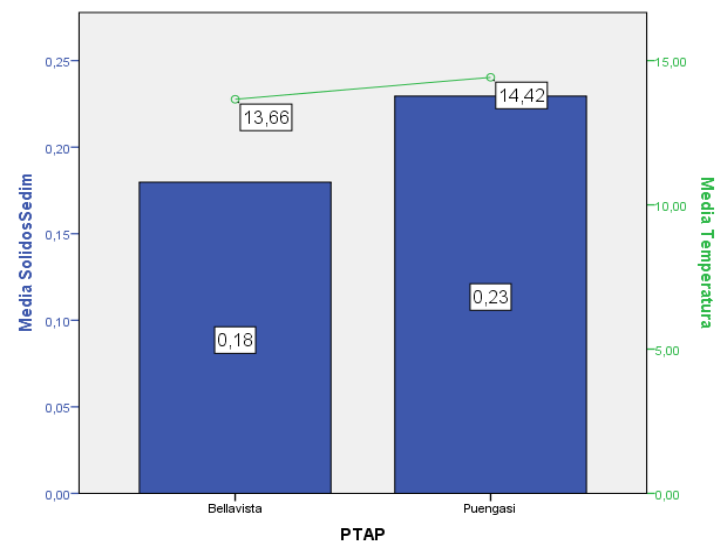


Gráfico 4 Sólidos Sedimentables y temperatura, Ptap Bellavista y Puengasí

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

En el gráfico 5 se observa la variación de sólidos sedimentable en las plantas de tratamiento de Bellavista y Puengasí se puede observar que la planta de tratamiento de Puengasí tiene mayor cantidad de sólidos sedimentables en comparación así con la planta de Bellavista, ya que cuenta con una media de 0.23 mL/L.

Se puede observar en el Gráfico 6 que existe una mínima variación entre la densidad de la Ptap Bellavista que es ligeramente mayor con 1.00087 g/cm³ a la generada en la Ptap de Puengasí que es 1.00069 g/cm³, con respecto a los sólidos sedimentables esto es inverso ya que la planta de tratamiento Bellavista tiene 0.1797 mL/L y este valor es menor a los sólidos sedimentables de la planta de tratamiento Puengasí que contiene 0.2295 mL/L; en referencia a Sólidos totales, cómo se puede ver, también están relacionados con los sólidos sedimentables, encontrándose menor cantidad en Bellavista con una variación de 0.01 en relación a la Ptap Puengasí. Esto se debe a que los sólidos generados normalmente en la planta de tratamiento de Puengasí tienden a liberar el efluente individualmente, ya sea como clarificadores o solo retro lavado de filtros, mientras que en la planta de tratamiento Bellavista cada muestreo se realizó en forma casi homogénea, ya que se liberaban de dos o tres sistemas unidos ya sea clarificadores y filtros al mismo tiempo.

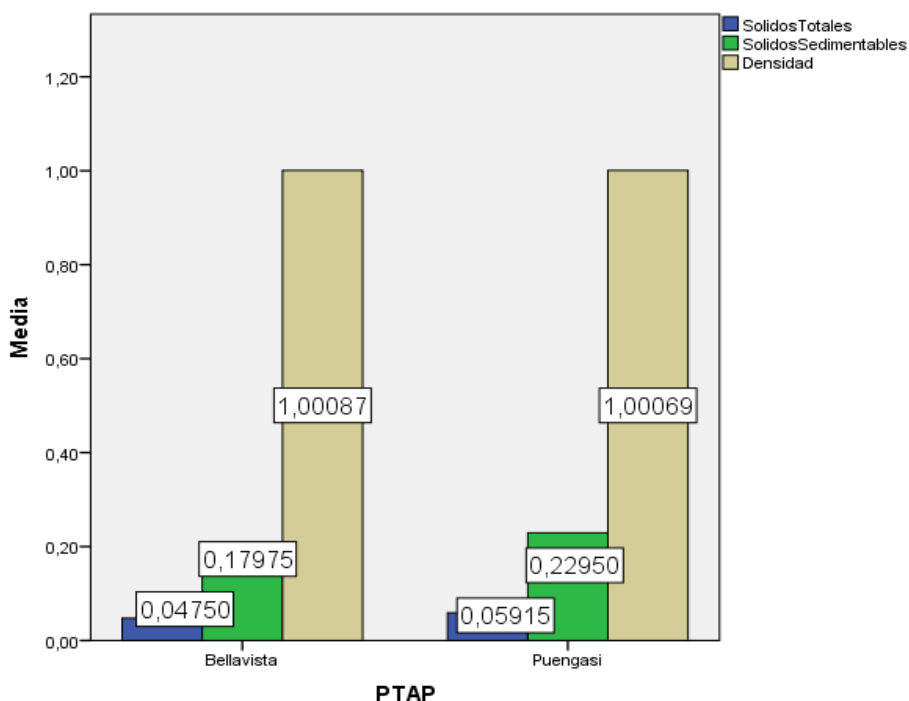


Gráfico 5 Comparación de sólidos totales, sólidos sedimentables y densidad , Ptap Bellavista y Puengasí

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

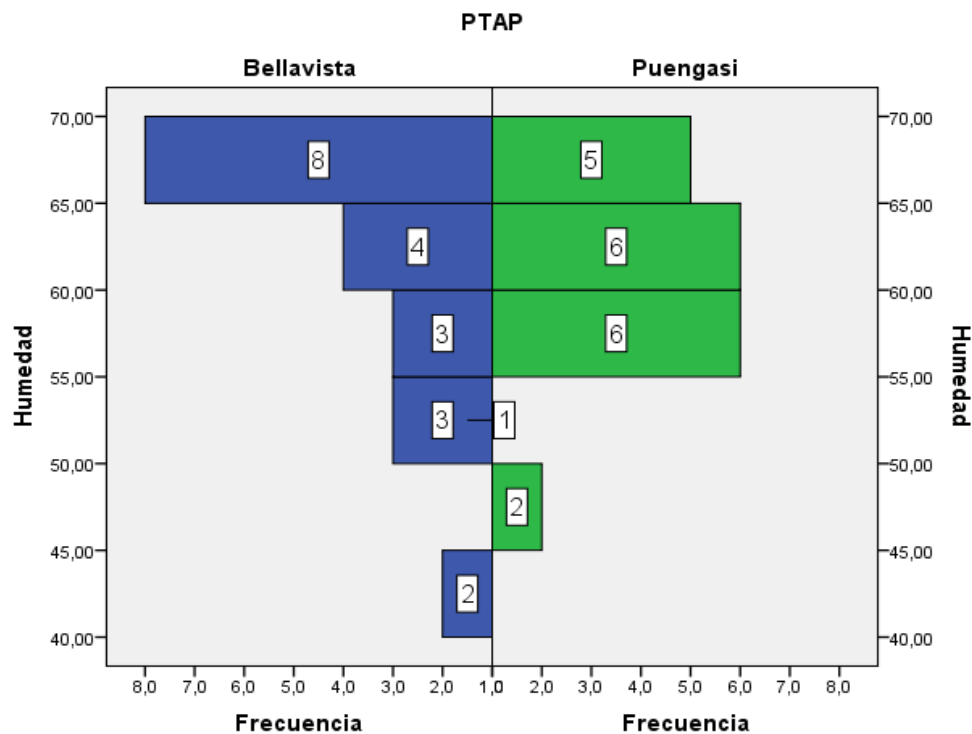


Gráfico 6 Humedad Efluentes, Ptap Bellavista y Puengasí

Con referencia al Gráfico 7, este presenta la diferencia de frecuencia en el parámetro de humedad en los efluentes generados en las Ptap Bellavista y Ptap Puengasí, se puede observar claramente que el porcentaje de humedad de la planta de tratamiento Bellavista tiende a tener de 65-70% de humedad, mientras que la planta de tratamiento Puengasí presenta variación de entre el 55-70% de humedad. Los valores de humedad menores corresponden a 40 a 55% en muestras donde el efluente cargaba gran cantidad de sólidos sedimentables.

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

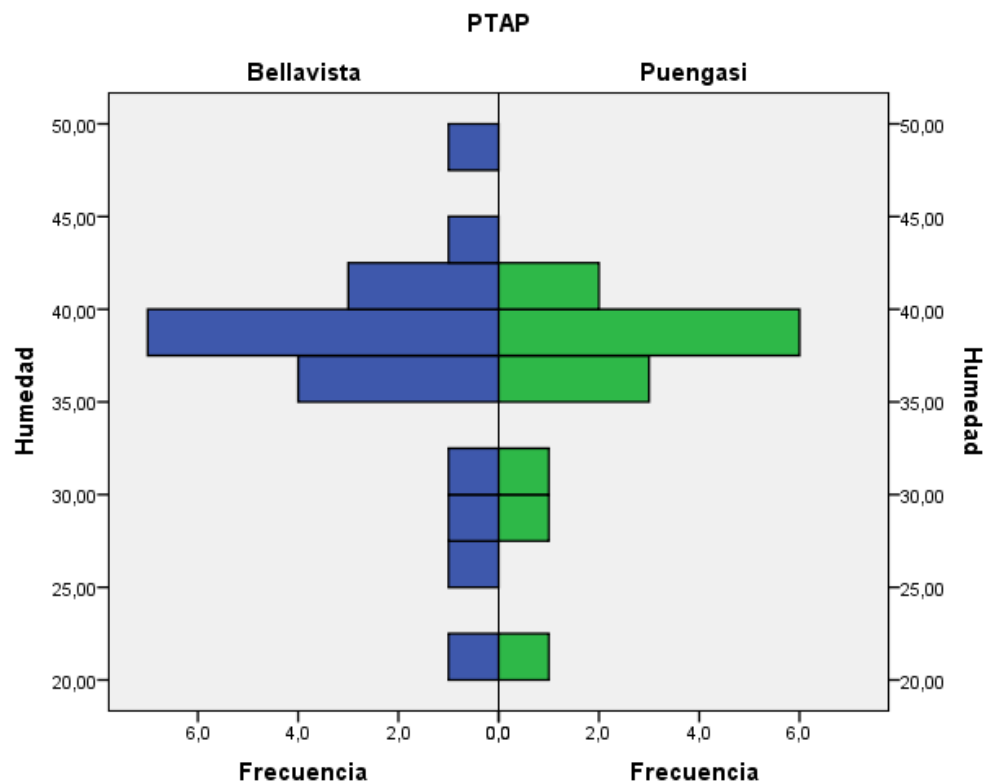


Gráfico 7 Humedad Lodos Sedimentables, Ptap Bellavista y Puengasí

En el Gráfico 8 se puede observar la humedad presente en los lodos Sedimentables muestreados en las lagunas de equalización, se tiene mayor cantidad de resultados en la Ptap Puengasí con respecto a la planta de tratamiento Bellavista, ya que sus efluentes al descargarse directamente al alcantarillado dejan una pequeña cantidad de sólidos sedimentables después de cada descarga en la laguna de equalización, dónde se puede recoger las muestras directamente; con relación a la planta de tratamiento Puengasí las muestras son de las 2 últimas semanas de muestreo del mes de febrero, ya que la Laguna estuvo con menor cantidad de líquido y permitía un mejor acceso a los sólidos sedimentables. Cómo se puede observar, la humedad en los sólidos sedimentables que se encuentran en la planta de tratamiento de Bellavista, así como en la Puengasí están en el mismo rango de 35-40% por ciento de humedad. En la planta de tratamiento de Puengasí los lodos sedimentables son retirados a partir de 8 años a 10 años.

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

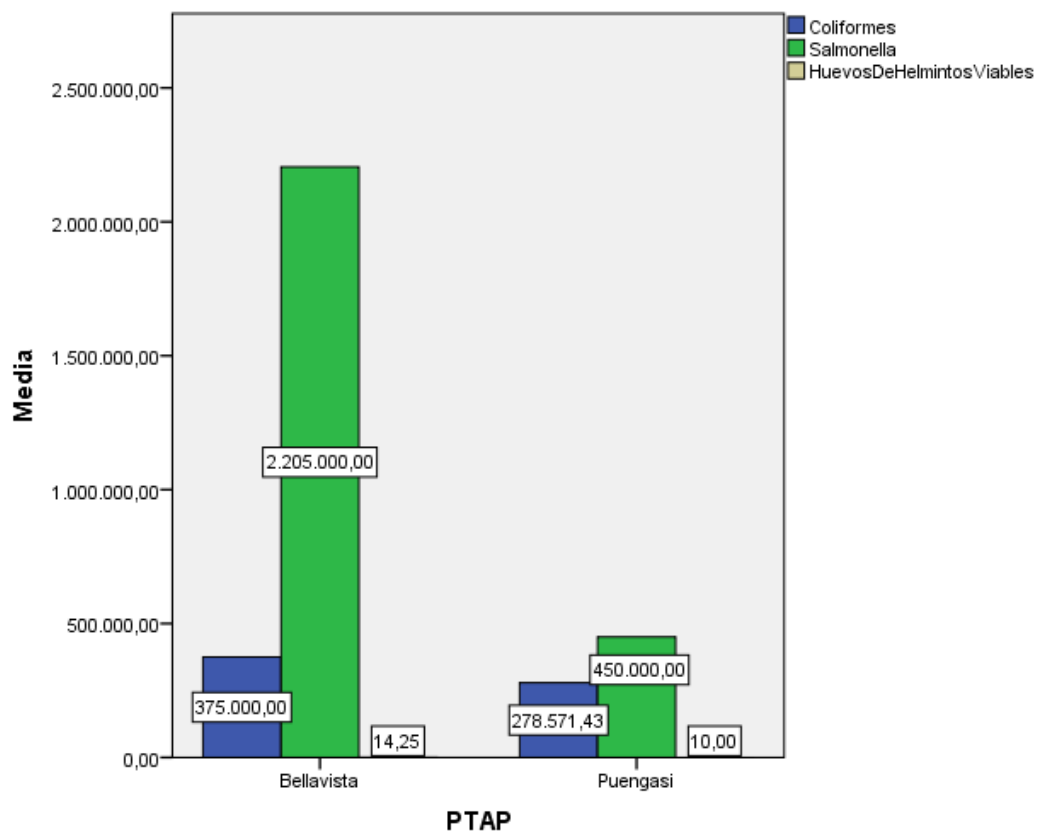


Gráfico 8 Microorganismos presentes en Lodos Sedimentables, Ptap Bellavista y Puengasí

En el Gráfico 9 se muestra la variación entre microorganismos presentes en los lodos Sedimentables de las plantas de tratamiento de agua potable Bellavista y Puengasí una de las mayores diferencias es la variación perteneciente al valor de la salmonella en Bellavista presenta 2.2×10^6 salmonella/g en sus sólidos sedimentables esto se debe a que en Bellavista los sólidos sedimentables no están en contacto directo con los efluentes descargados que contienen cloro que ayuda a inhibir y eliminar microorganismos; además se puede evidenciar que en los alrededores de la laguna de ecualización se encuentra heces de aves por lo que se presume que esto aumenta en gran parte el contenido de salmonella. Con respecto a la planta de tratamiento Puengasí presenta 4.5×10^5 salmonella/g, esto se debe a que la laguna de estabilización tiene sólidos se sedimentables y el efluente de la Planta genera agua que está en contacto con los mismos, este cuenta con gran cantidad de cloro diluido por lo cual inhibe estos microorganismos, mas no los elimina.

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

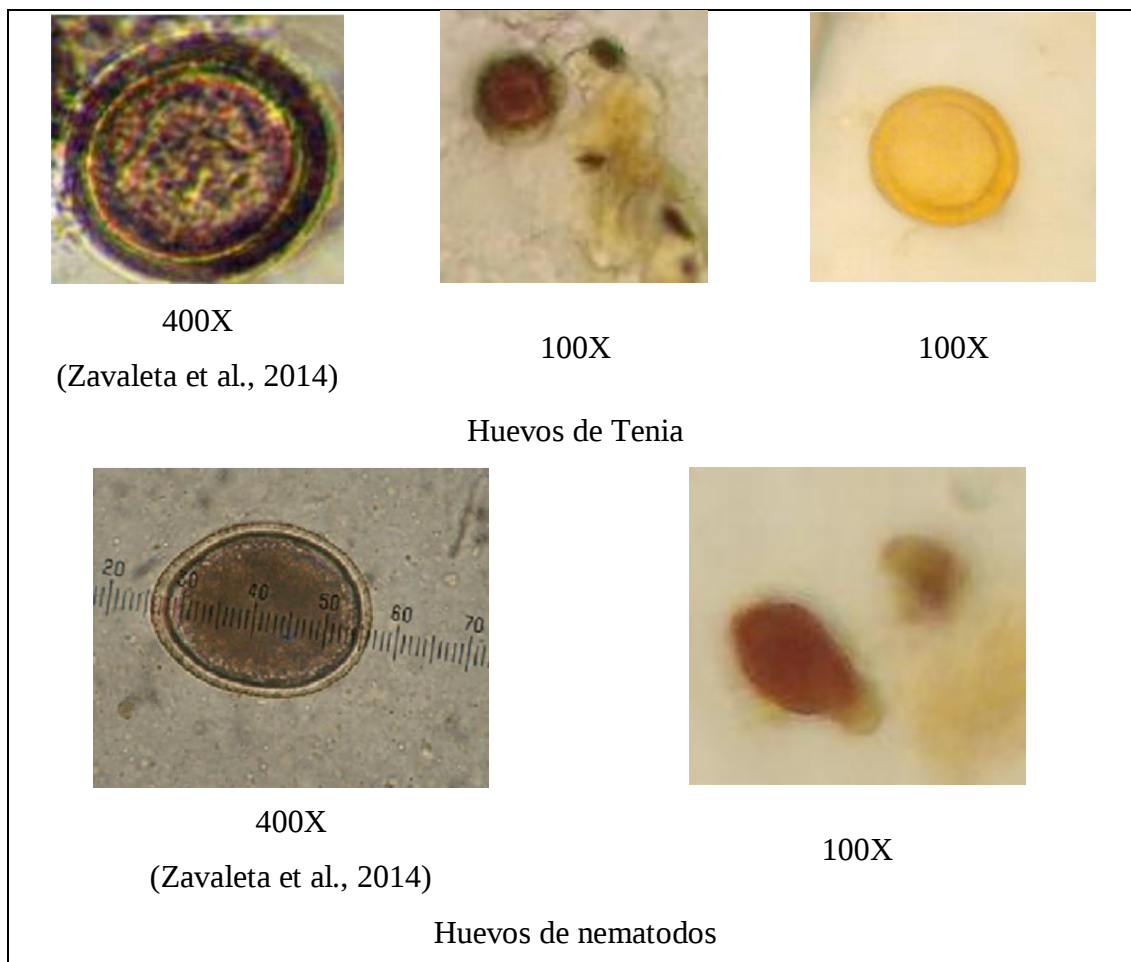


Ilustración 1 Huevos de helmintos viables, Ptap Bellavista y Puengasí (*Jiménez, 2019*)

Con respecto a lo correspondiente a *Escherichia Coli*, la planta de tratamiento de Bellavista tiene 3.5×10^5 UFC/g mientras que Ptap Puengasí tiene 2.7×10^5 UFC/g; así como la cantidad de huevos de helmintos presentes en la laguna de Puengasí es de 10 HHV/g mientras que en la Ptap Bellavista hay 14.25 HHV/g.

Analizado todas las características fisicoquímicas y microbiológicas de los efluentes y lodos sedimentables de las plantas de tratamiento de agua potable Bellavista y Puengasí se prosiguió a realizar la inertización mediante el proceso de pasteurización de lodo sedimentado muestreado en las lagunas de ecualización de las Ptap. El proceso utilizado es la deshidratación de lodos a un 20% de humedad mediante un deshidratador casero, después se agregó Cal de construcción en el deshidratador y se mezcló para homogenizar el lodo deshidratado, dejar de 2 a 3 días el lodo mezclado en el deshidratador y finalmente almacenarlo para su análisis.

El análisis de la Norma Técnica De Desechos Peligrosos Y Especiales de los parámetros regulados en la Tabla nro. 1 de Límites Máximos Permisibles En El Extracto PECT

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

(Prueba De Lixiviación) de la Norma, los parámetros de metales pesados están dentro de la norma como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8 Comparación de metales pesados con la norma técnica de desechos peligrosos y especiales (CRTIB) (Tabla 1, Norma)

	Unidades	NORMA TÉCNICA DE DESECHOS PELIGROSOS Y ESPECIALES	Bellavista	Puengasí
pH		12,5	6,966	6,988
Arsénico	mg/L	5	1,87	0,082
Cadmio		100	<0,01	<0,01
Cromo		1	0,104	0,341
Plomo		5	<0,05	<0,05
Mercurio		0,2	<0,005	<0,005
Níquel			<0,02	0,034
Zinc			0,073	0,147

(Acuerdo Ministerial No. 142, 2012; TULSMA, 2017), (Jiménez. 2019)

Y que ninguno de ellos está clasificado como residuo peligroso y la mezcla resultante fue inertizada para que cumpla con lo establecido en la normativa mexicana, se deshidrato hasta que estos tuvieron un 20% de humedad después de 3 días en el deshidratador solar casero con variación de temperatura de 20 a 60 °C.

El proceso necesita estar siempre en proceso de calentamiento el lodo deshidratado con 20% se mezcló con cal a diferentes concentraciones dentro del deshidratador solar. La elección de los porcentajes a usar de cal se lo realizó mediante las características finales que debería tener los lodos estabilizados alcalinamente; con relación al Gráfico 1 donde se observa que para mientras mayor contenido de sólidos totales presentes en los lodos Sedimentables mayor pH ya que en normativa habla de mantener el pH superior 11.5 para que los microorganismos y agentes contaminantes se inhiban o eliminen completamente. Finalmente, para analizar qué tan efectivo es el Cal con relación a la disminución de microorganismos y agentes contaminantes se realizó tres mezclas diferentes en las cuales se realizó tres mezclas; la primera mezcla contó con 30% de Cal y 70 % de lodo

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

deshidratado, la segunda mezcla contó con 50% de Cal y 50 % de lodo deshidratado y finalmente la tercera muestra contó con 70% de Cal y 30 % de lodo deshidratado.

Tabla 9 Análisis de características de lodo estabilizado

Muestras	Parámetros	% de Mezcla	Cal 30% y Lodo 70%	Cal 50% y Lodo 50%	Cal 70% y Lodo 30%
Lixiviado	Temperatura	C	19,1	18,8	19
	pH	24h	12,59	12,61	12,71
		60h	12,52	12,54	12,65
	OD	mg/L	6,08	6,19	6,49
	Conductividad	mS/cm	8,38	8,28	8,75
Muestra Sólida Seca	Escherichia Coli	NFC/g	15,00	2,00	0,00
	Salmonella	Salmonella/g	7,00	0,00	0,00
	Huevos de Helmintos Viables	HHV/g	10,00	0,00	0,00

(Jiménez. 2019)

En la tabla 9 se analizó las características de los tres tipos de mezcla mediante análisis fisicoquímico de la lixiviación para los parámetros de temperatura, pH, conductividad y con relación a análisis de microorganismos se analizó en Escherichia Coli, Salmonella, Huevos de Helminto Viables mediante el análisis de muestras secas. Con respecto a los análisis de lixiviado se mantuvo en agitación por 24 horas y luego en reposo por 36 horas en las cuales se midió pH para analizar la variación del mismo en el tiempo de reposo, se puede observar que con relación al pH existe un mínimo disminución aun después de pasadas 36 horas de su agitación, con lo cual cumple con los requerimientos de disminución mínima de pH según normativa.

Con respecto a los microorganismos se puede ver claramente como en la mezcla de 30% de cal y 70% de lodo deshidratado al 20% de humedad aún persisten con relación a coliformes 15 unidades formadoras de colonias en cada gramo de lodo estabilizado con respecto a la salmonela 7 colonias por cada gramo y finalmente 10 huevos de helminto viables por cada gramo del mismo. Analizando la mezcla de 50% de cal y 50% de lodo deshidratado al 20% de humedad, existe una gran disminución con respecto a la presencia de microorganismos en el cual se reducen los coliformes a 2 unidades de formadoras de

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

colonias por gramo y no existe evidencia de presencia de salmonella y huevos de helmintos viables; finalmente la mezcla de 70% de cal y 30% de lodo deshidratado al 20% presenta una completa eliminación de Escherichia Coli, Salmonella y huevos de helminto viables.

Una vez finalizado el análisis de las diferentes características de lodo seco inertizado y del lixiviado se utiliza el lodo con 50% de cal y 50% de lodo deshidratado al 20% para el análisis comparativo con normativa mexicana y se lo plantea como posible solución para el uso de los lodos Sedimentables de las plantas de tratamiento de agua Bellavista y Puengasí.

Tabla 10 Comparación de presencia de metales pesados en lodos Sedimentables y lodo inertizado con normativa mexicana

	Bellavista	Puengasí	Inertizado	Bueno	Excelente	Unidad
Sulfatos	<100	156	<100	0	0	mg/kg
Aluminio	78175	149300	60250	0	0	mg/kg
Arsénico	544	15,5	222	75	41	mg/kg
Cadmio	<0.5	<0.5	<0.5	85	39	mg/kg
Cromo	62,4	84,4	26,1	3000	1200	mg/kg
Mercurio	<0.05	<0.05	<0.05	57	17	mg/kg
Níquel	<10	<10	<10	420	420	mg/kg
Plomo	<10	<10	<25	840	300	mg/kg
Zinc	<25	<25	335	7500	2800	mg/kg

(SEMARNAT, 2012), (Jiménez. 2019)

En la tabla 10 se muestran los resultados de caracterización de metales pesados base seca en mg/kg, se puede ver que en la Ptap Puengasí existe mayor concentración de aluminio en sus lodos Sedimentables con un valor de 149300 mg/kg, y la Ptap Bellavista con 78175 mg/kg; estos valores no son regulados por la normativa mexicana de biosólidos para su clasificación. Con respecto a los metales presentes dentro de la clasificación, el valor de presencia más alto es el arsénico siendo la Ptap Bellavista con 544 mg/kg y la Ptap Puengasí 15.5 mg/kg; la Ptap Bellavista tiene un valor que sobrepasa la normativa mexicana de biosólidos, el arsénico es el único valor fuera de rango dentro de normativa con respecto a la caracterización individual de las plantas de tratamiento de agua potable. Con respecto al lodo estabilizado, este es una mezcla de 50% de la mezcla de cada lodo de las Ptap con 50% de Cal, el lodo presenta una concentración de 60250 mg/kg de

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

aluminio, una concentración menor al lodo individual de cada Ptap. Con respecto a la normativa mexicana de biosólidos el único parámetro que no cumple con normativa es el arsénico con 222 mg/kg ya que está fuera de rango incluso para el rango Bueno; los otros valores no tienen presencia, excepto el cromo que está dentro del rango Excelente de normativa y disminución con respecto al valor inicial de las Ptap. Presenta un valor de Zinc, característico de la Cal de construcción, pero este se encuentra dentro de normativa con un rango de Excelente.

En la tabla 11, el lodo inertizado con 50% de cal y 50% de lodo inertizado seco presenta 2 UFC/g de coliformes y no tiene presencia de salmonella ni coliformes estos resultados comparados con normativa mexicana de biosólidos entra en el lodo Clase A según la clasificación de microorganismos.

Tabla 11 Comparación de lodo inertizado seco con normativa mexicana para lodos,

	% de Mezcla	Cal 50% y Lodo 50%	Clase A	Clase B	Clase C
Coliformes T	NFC/g	2,00	Menor de 1 000	Menor de 1 000	Menor de 2 000 000
Salmonella	Salmonella/g	0,00	Menor de 3	Menor de 3	Menor de 300
Huevos de Helminthos Viabiles	HHV/g	0,00	Menor de 1	Menor de 10	Menor de 35

(SEMARNAT, 2012), (Jiménez. 2019)

Después del análisis microbiológico de lodo inertizado con 50% de cal se realizó un test de lixiviación mediante la norma DIN 3814-54 como se observa en la tabla 11, este test es utilizado en España y permite tener un conocimiento real del residuo (lodo inertizado) y mediante un rango de valores sirve para determinar si el lodo estabilizado es apto para ser almacenado en un vertedero en España.

En la tabla 12 se compara los resultados del lixiviado con los rangos dados por el test DIN y la normativa ecuatoriana sobre la descarga a un cauce receptor en este caso con referencia a aguas subterráneas; se puede visualizar claramente que el único parámetro que excede la normativa ecuatoriana es el valor de pH ya que el lixiviado tiene un valor de 12.59 que lo vuelve extremadamente alcalino, en la normativa ecuatoriana de descarga a cauce receptor a la cual pertenecen agua superficiales, el pH tiene que estar dentro de un Rango de 5 a 9. Por último, después del análisis con respecto a la Norma Técnica

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Ecuatoriana De Desechos Peligrosos y Especiales, los parámetros de lixiviado están dentro de la norma el único parámetro al límite es el pH.

Tabla 12 Comparación de resultados de lixiviados provenientes de lodo inertizado

Parámetro	Unidades	Análisis de lixiviado	NORMA TÉCNICA DE DESECHOS PELIGROSOS Y ESPECIALES	Test DIN	Cauce Receptor
pH		12,5	12,5	4-13	5-9
Conductividad	mS/cm	8,28		50	
Arsénico	mg/L	0,026	5	0,5	0,1
Cadmio		<0,01	100	0,2	0,02
Cromo		<0,01	1	2	0,5
Plomo		<0,05	5	1	0,5
Mercurio		<0,005	0,2	0,6	0,005
Níquel		<0,02		1	2
Zinc		0,061		5	5
Aluminio		6,16			5

(Arosteguí Sánchez, 2018; TULSMA, 2017), (Acuerdo Ministerial No. 142, 2012), (Jiménez. 2019)

Discusión.

Las plantas de tratamiento de Bellavista y Puengasí cuentan con un caudal regulado de liberación de descargas al alcantarillado que van desde 50 a 100 L/s, aunque las diferencia entre ambas es que en la Ptap de Puengasí se llena la laguna de ecualización al momento de limpieza de una de las lagunas de agua cruda, además tiene una pequeña fuga en el punto de muestreo 2 donde se descargan los clarificadores 1 al 4 y los filtros; a diferencia de la Ptap Bellavista que descarga directamente los efluentes al alcantarillado y el único momento donde se llena la laguna de ecualización es cuando se lava un filtro.

La concentración de oxígeno disuelto varía entre 6.75 a 7.5 mg/L en Bellavista y en Puengasí 6 a 6.75 mg/L, estos valores están dentro de los rangos de concentración de oxígeno disuelto y para los ecosistemas, los resultados se encuentran en la condición de aceptable ya que estas son adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

La planta de tratamiento de Puengasí con rango entre 200 y 250 uS/cm de conductividad, mientras que en la planta de tratamiento Bellavista se encuentra en un rango de 125 a 175 uS/cm. La razón por la que la Ptap Puengasí tiene mayor conductividad es que esta tiene mayor cantidad de sales disueltas y metales que aumentan su conductividad. El efluente tiene 0.082 mg/L de arsénico, 0.341 mg/L de cadmio, 0.034 mg/L de Cromo, 0.147 mg/L de zinc, 447 mg/L de Aluminio y 29.8 mg/L de sulfato.

El aluminio presente en los mismos; a parte de no cumplir con la normativa vigente de descarga al alcantarillado, puede llegar a ser un problema el momento en que estos efluentes lleguen a interactuar directamente con el ambiente. El aluminio es uno de los elementos más comunes en la tierra, aunque se encuentra siempre formados compuestos, estos compuestos pueden llegar a ser tóxicos no solo para la agricultura sino también para las aguas residuales pudiendo llegar e intoxicar otros ecosistemas.

Otro parámetro que se encuentra fuera de rango es el arsénico proveniente de la planta de tratamiento Bellavista, esta Ptap recibe agua cruda del sistema de recolección de Papallacta donde algunos estudios han demostrado que tiene contaminación de arsénico. Con respecto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) la Ptap Puengasí tiene un valor de 72.75 mg/L, se presume que esto se debe a la cantidad de metales presentes en los efluentes en especial el aluminio en Puengasí.

El porcentaje de humedad de los lodos Sedimentables de la planta de tratamiento Bellavista tiende entre de 65-70% de humedad mientras que la planta de tratamiento Puengasí tiene variación de 55-70% de humedad mientras que los lodos Sedimentables muestreados, la planta de tratamiento de Bellavista cómo en la Puengasí están en el mismo rango de 35-40% por ciento de humedad. Esto representa un problema en la planta de Puengasí, ya que al momento de movilizarlos estos aún tiene gran cantidad de líquidos, y esto impide transportarlos a un vertedero de desechos.

Con respecto a coliformes (*Escherichia Coli*), la planta de tratamiento de Bellavista tiene $3.5 \cdot 10^5$ UFC/g mientras que Ptap Puengasí tiene $2.7 \cdot 10^5$ UFC/g; así como la cantidad de huevos de helmintos presentes en la laguna de Puengasí es de 10 HHV/g mientras que en la Ptap Bellavista hay 14.25 HHV/g.

La caracterización de presencia de coliformes, salmonella o huevos de helminto en los efluentes no presentó ninguna de las mismas, por lo tanto, los microorganismos presentes

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

en los sólidos sedimentados en las lagunas de ecualización se presumen como carga microbiana de aves.

En la planta de tratamiento de Puengasí los lodos Sedimentables son retirados a partir de 8 años a 10 años, esto puede generar un problema ya que la sedimentación y acumulación de lodos incrementa la carga microbiana y su proceso de descomposición, a pesar de que el cloro inhibe el crecimiento excesivo microbiano, este no elimina los microorganismos presentes y estos solo estarán inhibidos hasta que se descargue los líquidos al alcantarillado y la carga microbiana pueda reaccionar al ambiente.

Los lodos provenientes de las Ptap Bellavista y Puengasí después de ser sometidos al método de inertización con respecto a la caracterización de microorganismo cumplen con la normativa mexicana para la calificación de uso de biosólidos Clase A (Uso forestal a Uso para contacto humano).

Los lodos estabilizados tienen concentración de arsénico, que están fuera de rango dentro de la normativa mexicana, por tal razón no entra en ninguna de las clases de biosólidos.

Con relación a la toxicidad realizado a los lixiviados generados a partir del lodo inertizado cumple con los parámetros de arsénico, cadmio, cromo, plomo y mercurio.

La estabilización alcalina mediante pasteurización de lodo sedimentable con cal a una temperatura variable de 20 a 60 °C es efectiva para disminuir la concentración de microorganismos y metales presentes en el lodo residual de las Ptap Bellavista y Puengasí; aun así, el lixiviado del lodo inertizado no cumple con la normativa de descarga a cauce receptor, por ende, no es factible usar el lodo inertizado directamente en el suelo.

Conclusiones.

Los parámetros de caracterización de las Ptap Puengasí y Bellavista están dentro de los rangos de los valores de caracterización presentados en la normativa mexicana, con respecto a lodos de sulfato de aluminio, en Ecuador no hay normativa que valore o regule los lodos (efluentes y sólidos sedimentables) generados en las plantas de agua potable.

Las características de los efluentes (agua y sólidos) y lodos Sedimentables de las Ptap con respecto a los valores de aluminio, cromo y microorganismos no son aptos para su aplicación directa en el ambiente, ya que sobrepasan la normativa ecuatoriana de descarga al alcantarillado, así como la normativa mexicana.

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

En el análisis de toxicidad de los efluentes comparados con la norma técnica de desechos peligrosos y especiales del Ecuador (CRTIB) (Acuerdo Ministerial No. 142, 2012), no presenta toxicidad en los efluentes generados en las Ptap.

En el análisis de toxicidad de los sólidos sedimentables comparados con la norma técnica de desechos peligrosos y especiales del Ecuador (CRTIB) (Acuerdo Ministerial No. 142, 2012), presenta toxicidad con respecto al arsénico y salmonella presente en los mismos.

La pasteurización realizada con deshidratador solar y Cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a los sólidos sedimentables de las Ptap, si genera disminución en los contaminantes de metales pesados, así como en microorganismos presentes, ya que eleva su pH alcalinamente hasta que se inhiben o eliminan completamente los contaminantes presentes en el mismo.

El lodo inertizado presenta disminución en la concentración de sus componentes contaminantes, sin embargo, después del proceso de estabilización alcalina por pasteurización no cumple con la normativa mexicana de sólidos y biosólidos; ya que aún tiene alta concentración de arsénico.

El lixiviado del lodo inertizado no cumple con la normativa de descarga a cauce receptor, por ende, no es factible usar el lodo inertizado para su aplicación directa al ambiente.

Recomendaciones

Se necesitan más análisis para verificar la variación de metales presentes en los efluentes, así como en lodos residuales.

Se recomienda usar el lodo Inertizado en procesos de compostaje y vermicomposteo SEMARNAT 2012.

En el caso de realizar estabilización alcalina utilizar la cal agrícola (CaCO_3) para la estabilización, con el objetivo de comparar sus resultados y plantear que tipo de cal es la más eficiente para la inertización.

Respecto a la presencia de microorganismos se recomienda analizar la escorrentía generada en los espacios verdes alrededor de las lagunas de ecualización.

Se recomienda usar otro tipo de estabilización de lodos para aprovechar la carga microbiana presente en el lodo sedimentado.

Finalmente, se recomienda empezar a trabajar en la elaboración de normativas de Sólidos y Biosólidos para lodos provenientes de Ptap.

**CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y
PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO**

Referencias

- Acuerdo Ministerial 97. (2015). *REFORMA TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE, LIBRO VI, Decreto*. Retrieved from www.lexis.com.ec
- Acuerdo Ministerial No. 142. (2012). *Acuerdo Ministerial No. 142*. Retrieved from <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/249439/AM+142+Listado+nacional+de+sustancias+peligrosas.pdf/ecd7b6e9-37f5-4d9a-a4bb-e53015fe7d9f>
- Agua Quito. (2010). *Planta de Tratamiento Bellavista*. Retrieved from https://www.aguaquito.gob.ec/downloads/planta_bellavista.pdf
- Alberto, J., Herrán, F., Raudel, R., Torres, S., Enrique, G., Martínez, R., ... Ximhai, R. (2008). IMPORTANCIA DE LOS ABONOS ORGÁNICOS. *Ra Ximhai Universidad Autónoma Indígena de México*, (1665–0441), 12. Retrieved from [http://www.uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-10articulosPDF/Art\[1\] 4 Abonos.pdf](http://www.uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-10articulosPDF/Art[1] 4 Abonos.pdf)
- Alvarado, L., López, A., & Flores, A. (2015). MÉTODO DE ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GRASAS Y ACEITES COMO CONTAMINANTE EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES. Retrieved March 9, 2019, from <https://studylib.es/doc/137229/método-de-análisis-para-la-determinación-de-la-concentrac...>
- Álvarez Ramírez, J. A. (2014). *Implementación de una piscina de sedimentación para eliminar los problemas de los filtros y en el tanque de distribución en la planta de tratamiento de agua potable Bellavista del cantón "Bucay"*. Retrieved from <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/4356>
- APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). Retrieved from <http://yabesh.ir/wp-content/uploads/2018/02/Standard-Methods-23rd-Perv.pdf>
- APHA, AWWA, & WPCF. (2012). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Retrieved February 11, 2019, from <https://es.scribd.com/document/288385775/Metodos-normalizados-para-el-analisis-de-aguas-potables-y-residuales>
- Arosteguí Sánchez, W. A. (2018). *Diseño de un sistema de tratamiento de lodos provenientes de la Planta de Agua Potable Regional Yanahurco cantón Mocha*

provincia Tungurahua.

Baque Mite, R., Simba Ochoa, L., Gonzalez Osorio, B., Suatunce, P., Diaz Ocampo, E., Cadme Arevalo, L., & Arevalo, L. C. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador / Quality of water intended for human consumption in a canton of Ecuador. *Ciencia Unemi*, 9(20), 109. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp109-117p>

Cañas Villarruel, C. D. (2015). Propuesta de un sistema de costeo por procesos para el tratamiento de agua cruda en la planta Bellavista de la Empresa pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - EPMAPS. *Pontificia Universidad Católica Del Ecuador*. Retrieved from <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/10015>

Carvajal Ruiz, A. E., & Ortega Mafla, J. O. (2014). *Gestión de lodos producto de la potabilización de agua y recuperación del agua utilizada en el lavado de filtros y sedimentadores en la planta de tratamiento de Puengasí de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento Quito*. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8572>

Coello, J. R., Ormaza, R. M., Déley, Á. R., Recalde, C. G., & Rios, A. C. (2015). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador. In *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica* (Vol. 16). Retrieved from <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11281>

Comisión Nacional del Agua. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Tratamiento y disposición de lodos*.

EMAAP-Q. (2002). El abastecimiento de agua potable en el DMQ. In *La logística urbana del distrito metropolitano de quito* (p. 11). Retrieved from <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Septiembre2007/CD2/pdf/spa/doc16543/doc16543-3a.pdf>

Enriquez, J. (2015). *Diseño de una planta de tratamiento de agua potable por múltiples etapas para el sitio Bellavista* (Unidad Académica de Ingeniería Civil). Retrieved from

http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/4981/1/TTUAIC_2015_IC_C D0035.pdf

EPMAPS. (2010). *PLANTA DE TRATAMIENTO PUENGASI*. Retrieved from

https://www.aguaquito.gob.ec/downloads/planta_puengasi.pdf

EPMAPS. (2017). AGUA DE QUITO CONTINÚA CON EL MEJORAMIENTO DE ALCANTARILLADO EN LA CIUDAD - Bienvenido a EPMAPS. Retrieved

April 24, 2019, from <https://www.aguaquito.gob.ec/agua-de-quito-continua-con-el-mejoramiento-de-alcantarillado-en-la-ciudad/>

Flores-Márgez, J. P. . C.-D. B. . S.-M. G. (2007). MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO DE BIOSÓLIDOS ESTABILIZADOS CON CAL EN SUELOS AGRÍCOLAS. *Terra Latinoamericana*, 25(4). Retrieved from

<http://www.redalyc.org/html/573/57315558009/>

Frutos Suárez, C. A. (2013). “*Diseño de un plan de mejoramiento del sistema de seguridad industrial y salud ocupacional (SISO) en la planta de tratamiento Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS.*” Retrieved from

<https://www.dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6139>

Gómez, G., Tenorio, K., & Sanders, A. (2010). *Eficiencia del coagulante de la semilla de Moringa oleifera en el tratamiento de agua con baja turbidez*. 14.

Hach Company. (2000). *Manual de Análisis de Agua*. (970), 1997–2000.

Huerta, L. (2015). Determinación de la densidad de un líquido con el método del picnómetro. *ETSIAMN Universidad Politécnica de Valencia*. Retrieved from

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12655/11>. Artículo docente.

Determinación de la densidad de un líquido con el método del picnómetro.pdf?sequence=1

Lara Puga, K. G. (2017). *CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LODOS DE DEPURACIÓN PROVENIENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EPMAPS - AGUA DE QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA*.

López Espinoza, J. H., & Rivas Cevallos, J. G. (2013). *Estabilización de los lodos generados en la planta potabilizadora de agua EMAARS-EP en la Estancilla*,

mediante compostaje.

Ruiz Mora, F. E. (2011). *Utilización de los lodos generados en el proceso de potabilización del agua de la planta de tratamiento “Casigana”, como aditivo para suelos de cultivo.* Retrieved from <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/1902?locale=de>

Sandoval, L. Y., Martín, A. D., & Piña Leticia Montellano P, M. S. (n.d.). *ESTUDIO PILOTO PARA REDUCIR EL VOLUMEN DE LODOS DE PLANTAS POTABILIZADORAS.*

SEMARNAT. (2012). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.* Retrieved February 11, 2019, from <https://mexico.justia.com/federales/leyes/ley-general-del-equilibrio-ecologico-y-la-proteccion-al-ambiente/titulo-cuarto/capitulo-iv/>

Torres, P., Marmolejo, F., & Botina, A. (2005). *Mejoramiento del potencial agrícola de lodos digeridos anaeróbicamente con el uso de cal Improving anaerobically digested sludge's agricultural potential by adding lime.* Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v23n2/v23n2a16.pdf>

TULSMA. (2017). *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE.* Retrieved from www.lexis.com.ec

Zavaleta, A., Burstein, Z., Hugo, A., Hernández, A., Luis, J., Juárez, S., ... Hundskopf, M. G. (2014). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO PARA EL DIAGNÓSTICO DE LOS PARÁSITOS INTESTINALES DEL HOMBRE.* Retrieved from www.minsa.gob.pe

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Anexo A Imágenes de Caracterización

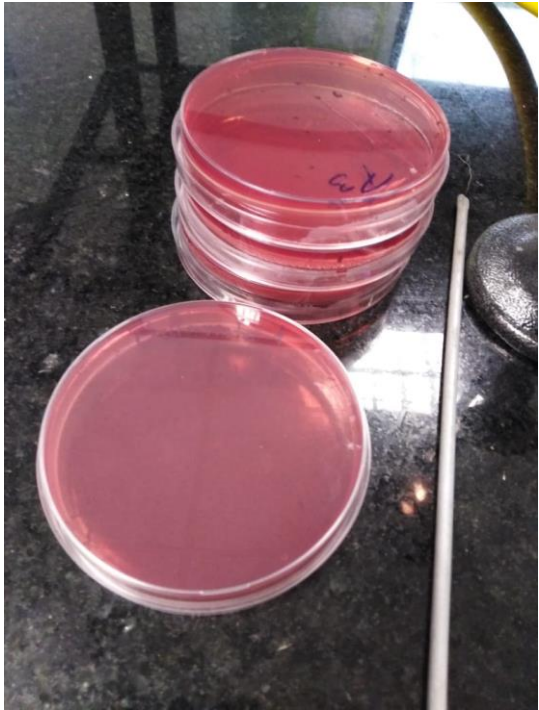
In Situ

pH y Oxígeno Disuelto	Conductividad Eléctrica
	

Caracterización

Sólidos Sedimentables de Efluentes	Humedad
	
Estufa	Agar para Coliformes y Salmonella sp.
	

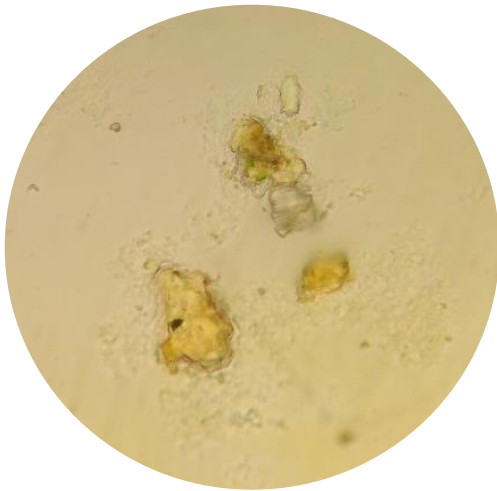
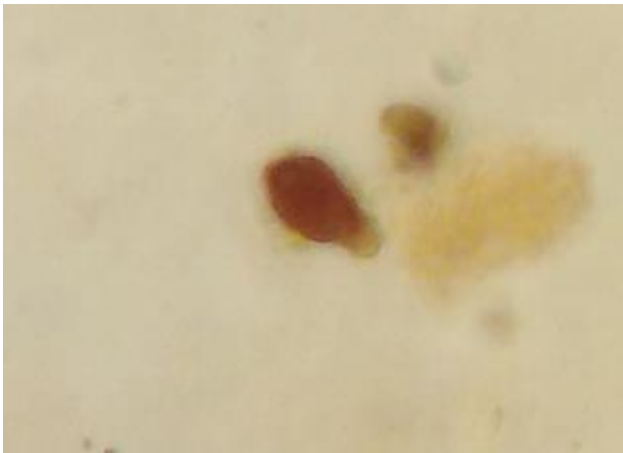
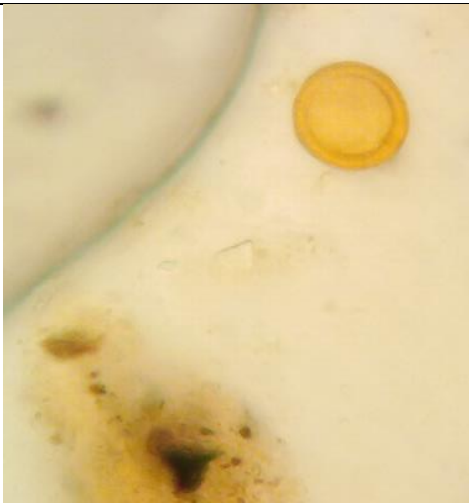
CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Placas sembradas de lodos Sedimentables	Placas sembradas de efluentes
	

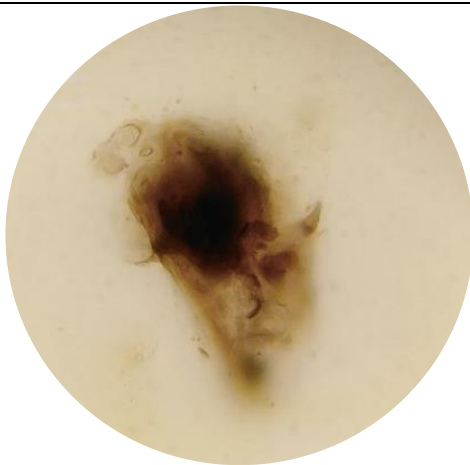
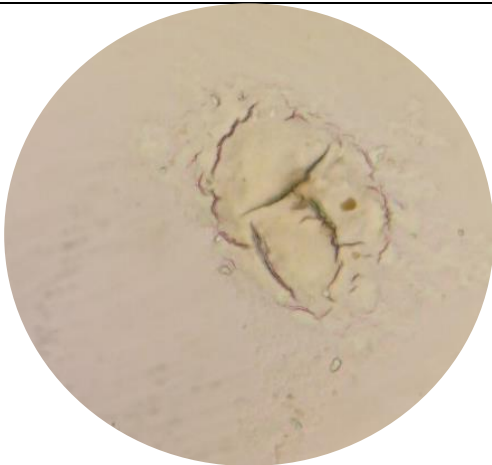
CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Microorganismos

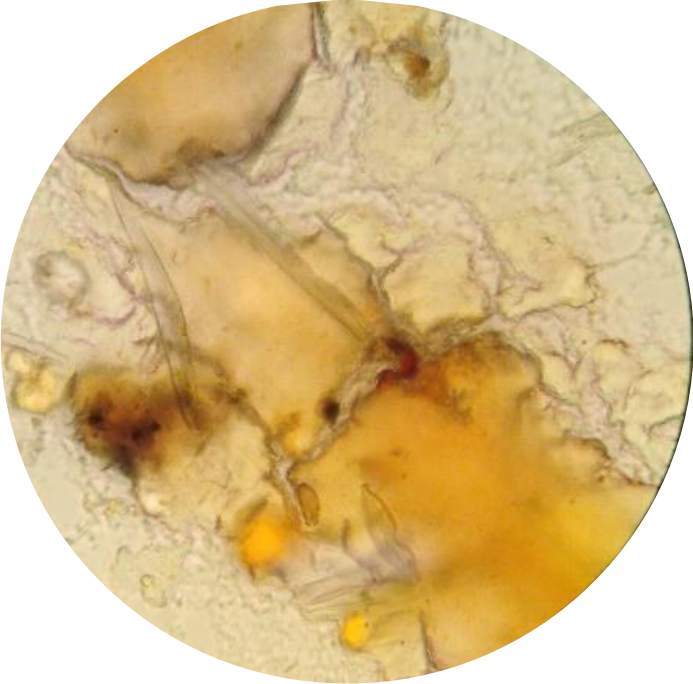
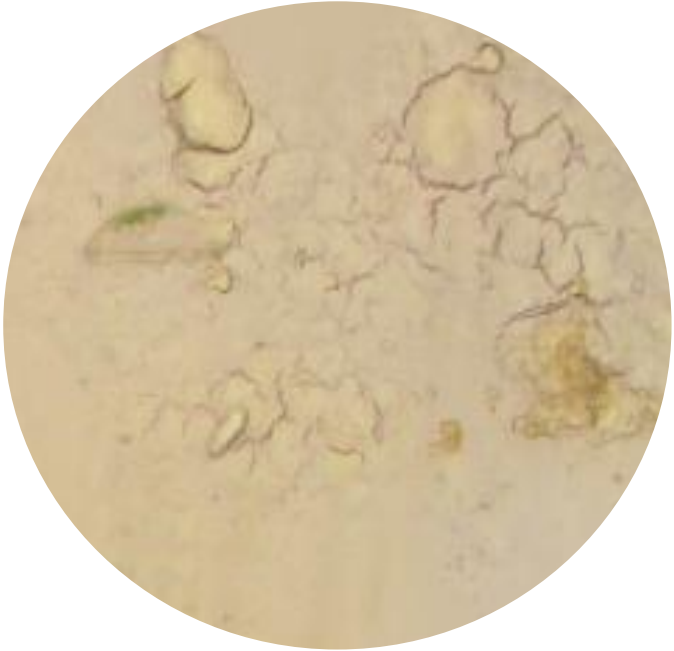
Huevos de Tenia



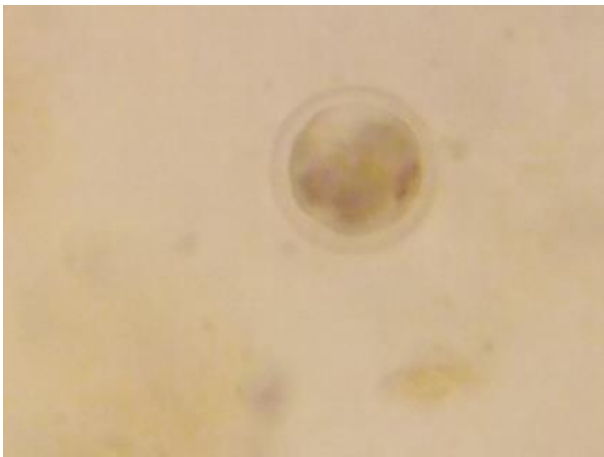
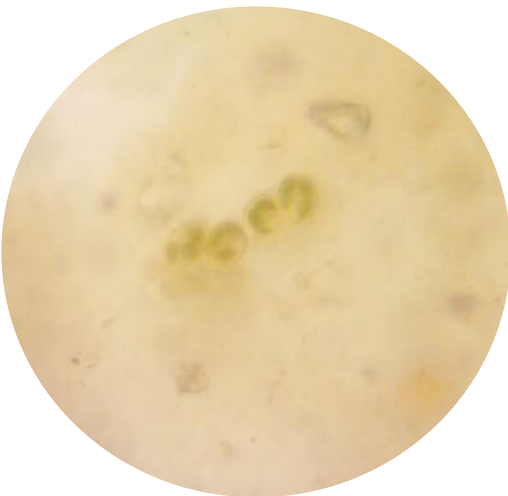
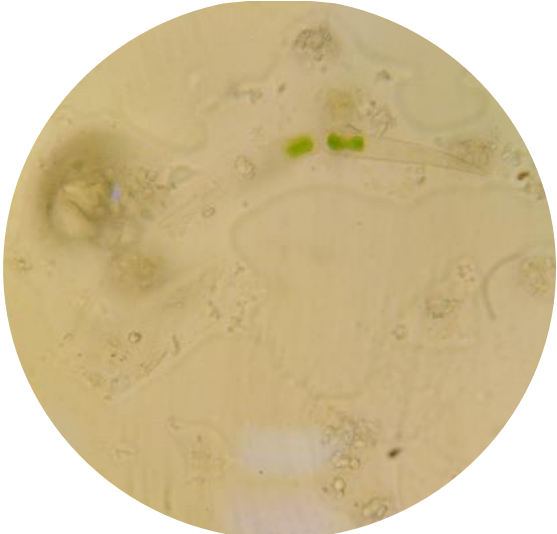
Huevos de nematodos



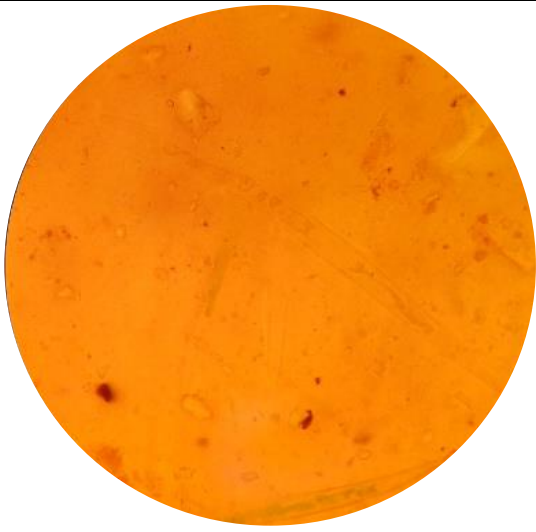
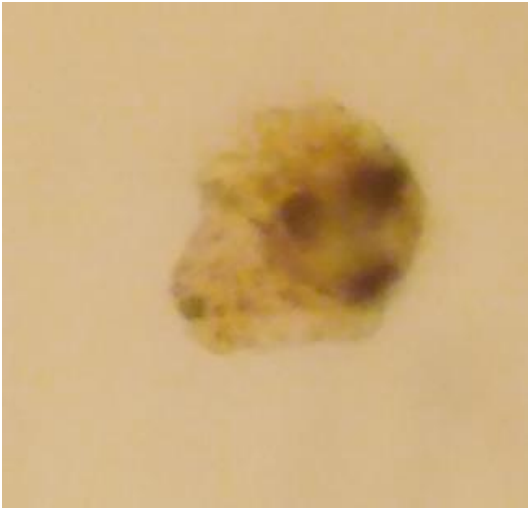
CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Diatomeas	
	
	

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Cloroficeas/Chlorophyta	
	
	
	

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Estructuras semejantes a parásitos	
	
	

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Anexo B Resultado en laboratorio certificado

Muestra de Efluentes Bellavista



INFORME DE ENSAYOS No. 24791-02

NOMBRE DEL CLIENTE: Victoria Jiménez
DIRECCION: Tambillo El Rosal
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Agua Residual
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: (Referencia dada por el Cliente)
Código de Muestra: 1 BE
Sitio de Muestreo: Planta de Bellavista
FECHA DE RECEPCION: 18 de febrero del 2019
FECHA DE ANALISIS: Del 18 de febrero del 2019 al 22 de febrero del 2019
FECHA DE EMISION: 25 de febrero del 2019

Ensayo	Métodos Referencia - Laboratorio	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Sulfatos	APHA 4500 SO ₄ E - PEE/ANNCY/20	mg/l	10.0	16.1
Aluminio*	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.100	134
Arsénico*	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.010	1.87
Cadmio	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.010	<0.010
Cromo	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.010	0.104
Mercurio	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/80	mg/l	0.005	<0.005
Níquel	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.020	<0.020
Plomo	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.050	<0.050
Zinc	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.010	0.073

VALORES DE INCERTIDUMBRE DE USO DE ENSAYOS ACREDITADOS POR EL OAE

Ensayo	Rango	Incetidumbre
Sulfatos	10 - 400	$L \pm 20\%$ mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Cadmio	0.010 - 0.500	$L \pm 15\%$ mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Cromo	0.010 - 0.500	$L \pm 15\%$ mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Mercurio	0.005 - 0.050	$L \pm 15\%$ mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Níquel	0.020 - 1.00	$L \pm 20\%$ mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Plomo	0.050 - 0.500	$L \pm 15\%$ mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Zinc	0.010 - 5.00	$L \pm 15\%$ mg/l K=2, nivel confianza 95.45%

Atentamente,

Ing. Cecilia Morales B.
GERENTE LABANNCY CIA. LTDA.

NOTA:

- Los resultados de metales pesados corresponde a concentración de metales totales
- Los Ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE
- L: resultado del análisis
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Muestra de Lodos Sedimentables Bellavista



INFORME DE ENSAYOS No. 24792-02

NOMBRE DEL CLIENTE: Victoria Jiménez
DIRECCION: Tambillo El Rosal
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Lodos
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: (Referencia dada por el Cliente)
Código de Muestra: 1 B
Sitio de Muestreo: Planta de Tratamiento Bellavista
FECHA DE RECEPCION: 18 de febrero del 2019
FECHA DE ANALISIS: Del 18 de febrero del 2019 al 1 de marzo del 2019
FECHA DE EMISION: 6 de marzo del 2019

Ensayo	Métodos Referencia - Laboratorio	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Sulfatos*	HACH 8051	mg/kg	100	<100
Aluminio*	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	1.0	78175
Arsénico*	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	2.5	544
Cadmio	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	0.500	<0.500
Cromo	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	10	62.4
Mercurio	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/80	mg/kg	0.050	<0.050
Níquel	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	10.0	<10.0
Plomo	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	10.0	<10.0
Zinc	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	25.0	<25.0

VALORES DE INCERTIDUMBRE DE USO DE ENSAYOS ACREDITADOS POR EL OAE

Ensayo	Rango	Incetidumbre
Cadmio	0.500 - 100	$L \pm 15\%$ mg/kg $K=2$, nivel confianza 95.45%
Cromo	10 - 200	$L \pm 15\%$ mg/kg $K=2$, nivel confianza 95.45%
Mercurio	0.050 - 0.500	$L \pm 20\%$ mg/kg $K=2$, nivel confianza 95.45%
Níquel	10 - 100	$L \pm 15\%$ mg/kg $K=2$, nivel confianza 95.45%
Plomo	10 - 100	$L \pm 15\%$ mg/kg $K=2$, nivel confianza 95.45%
Zinc	25.0 - 750	$L \pm 15\%$ mg/kg $K=2$, nivel confianza 95.45%

Atentamente,


Ing. Cecilia Morales B.
GERENTE LABANNCY CIA. LTDA.

NOTA:

- Resultados en Base Seca
- Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B / 3010 A
- Los Ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE
- L: resultado del análisis
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Muestra de Efluentes Puengasí



INFORME DE ENSAYOS No. 24791-01



NOMBRE DEL CLIENTE: Victoria Jiménez
DIRECCION: Tambillo El Rosal
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Agua Residual
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: (Referencia dada por el Cliente)
Código de Muestra: 1 PE
Sitio de Muestreo: Planta de Puengasi
FECHA DE RECEPCION: 18 de febrero del 2019
FECHA DE ANALISIS: Del 18 de febrero del 2019 al 22 de febrero del 2019
FECHA DE EMISION: 25 de febrero del 2019

Ensayo	Métodos Referencia - Laboratorio	Unidades	Limite de Cuantificación	Resultado
Sulfatos	APHA 4500 SO ₄ E - PEE/ANNCY/20	mg/l	10.0	29.8
Aluminio*	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.100	447
Arsénico	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.010	0.082
Cadmio	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.010	<0.010
Cromo	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.010	0.341
Mercurio	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/80	mg/l	0.005	<0.005
Níquel	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.020	0.034
Plomo	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.050	<0.050
Zinc	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.010	0.147

VALORES DE INCERTIDUMBRE DE USO DE ENSAYOS ACREDITADOS POR EL OAE

Ensayo	Rango	Incetidumbre
Sulfatos	10 - 400	$L \pm 20\%$ mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Arsénico	0.010 - 0.100	$L \pm 15\%$ mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Cadmio	0.010 - 0.500	$L \pm 15\%$ mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Cromo	0.010 - 0.500	$L \pm 15\%$ mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Mercurio	0.005 - 0.050	$L \pm 15\%$ mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Níquel	0.020 - 1.00	$L \pm 20\%$ mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Plomo	0.050 - 0.500	$L \pm 15\%$ mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Zinc	0.010 - 5.00	$L \pm 15\%$ mg/l K=2, nivel confianza 95.45%

Atentamente,

Ing. Cecilia Morales B.
GERENTE LABANNCY CIA. LTDA.

NOTA:

- Los resultados de metales pesados corresponde a concentración de metales totales
- Los Ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE
- L: resultado del análisis
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Muestra de Lodos Sedimentables Puengasí



INFORME DE ENSAYOS No. 24792-02

NOMBRE DEL CLIENTE: Victoria Jiménez
DIRECCION: Tambillo El Rosal
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Lodos
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: (Referencia dada por el Cliente)
Código de Muestra: 1 B
Sitio de Muestreo: Planta de Tratamiento Bellavista
FECHA DE RECEPCION: 18 de febrero del 2019
FECHA DE ANALISIS: Del 18 de febrero del 2019 al 1 de marzo del 2019
FECHA DE EMISION: 6 de marzo del 2019

Ensayo	Métodos Referencia - Laboratorio	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Sulfatos*	HACH 8051	mg/kg	100	<100
Aluminio*	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	1.0	78175
Arsénico*	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	2.5	544
Cadmio	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	0.500	<0.500
Cromo	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	10	62.4
Mercurio	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/80	mg/kg	0.050	<0.050
Niquel	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	10.0	<10.0
Plomo	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	10.0	<10.0
Zinc	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	25.0	<25.0

VALORES DE INCERTIDUMBRE DE USO DE ENSAYOS ACREDITADOS POR EL OAE

Ensayo	Rango	Incetidumbre
Cadmio	0.500 - 100	$L \pm 15\% \text{ mg/kg}$ K=2, nivel confianza 95.45%
Cromo	10 - 200	$L \pm 15\% \text{ mg/kg}$ K=2, nivel confianza 95.45%
Mercurio	0.050 - 0.500	$L \pm 20\% \text{ mg/kg}$ K=2, nivel confianza 95.45%
Niquel	10 - 100	$L \pm 15\% \text{ mg/kg}$ K=2, nivel confianza 95.45%
Plomo	10 - 100	$L \pm 15\% \text{ mg/kg}$ K=2, nivel confianza 95.45%
Zinc	25.0 - 750	$L \pm 15\% \text{ mg/kg}$ K=2, nivel confianza 95.45%

Atentamente,


Ing. Cecilia Morales B.
GERENTE LABANNCY CIA. LTDA.

NOTA:

- Resultados en Base Seca
- Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B / 3010 A
- Los Ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE
- L: resultado del análisis
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Muestra de Lixiviado de Lodo Estabilizado



INFORME DE ENSAYOS No. 24791-03

NOMBRE DEL CLIENTE: Victoria Jiménez
DIRECCION: Tambillo El Rosal
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Agua Residual
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: (Referencia dada por el Cliente)
 Código de Muestra: 1 L
 Sitio de Muestreo: Lixiviado
FECHA DE RECEPCION: 18 de febrero del 2019
FECHA DE ANALISIS: Del 18 de febrero del 2019 al 22 de febrero del 2019
FECHA DE EMISION: 25 de febrero del 2019

Ensayo	Métodos Referencia - Laboratorio	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Sulfatos	APHA 4500 SO ₄ E - PEE/ANNCY/20	mg/l	10.0	<10.0
Aluminio*	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.100	6.16
Arsénico	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.010	0.026
Cadmio	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.010	<0.010
Cromo	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.010	<0.010
Mercurio	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/80	mg/l	0.005	<0.005
Níquel	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.020	<0.020
Plomo	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.050	<0.050
Zinc	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74	mg/l	0.010	0.061

VALORES DE INCERTIDUMBRE DE USO DE ENSAYOS ACREDITADOS POR EL OAE

Ensayo	Rango	Incetidumbre
Sulfatos	10 - 400	L ± 20% mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Arsénico	0.010 - 0.100	L ± 15% mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Cadmio	0.010 - 0.500	L ± 15% mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Cromo	0.010 - 0.500	L ± 15% mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Mercurio	0.005 - 0.050	L ± 15% mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Níquel	0.020 - 1.00	L ± 20% mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Plomo	0.050 - 0.500	L ± 15% mg/l K=2, nivel confianza 95.45%
Zinc	0.010 - 5.00	L ± 15% mg/l K=2, nivel confianza 95.45%

Atentamente,

Ing. Cecilia Morales-B.
 GERENTE LABANNCY CIA. LTDA.

NOTA:

- Los resultados de metales pesados corresponde a concentración de metales totales
- Los Ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE
- L: resultado del análisis
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Muestra de Lodos Estabilizado



INFORME DE ENSAYOS No. 24792-03

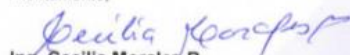
NOMBRE DEL CLIENTE: Victoria Jiménez
DIRECCION: Tambillo El Rosal
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Lodos
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: (Referencia dada por el Cliente)
Código de Muestra: 1 L
Sitio de Muestreo: Lodo Estabilizado
FECHA DE RECEPCION: 18 de febrero del 2019
FECHA DE ANALISIS: Del 18 de febrero del 2019 al 1 de marzo del 2019
FECHA DE EMISION: 6 de marzo del 2019

Ensayo	Métodos Referencia - Laboratorio	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Sulfatos*	HACH 8051	mg/kg	100	<100
Aluminio*	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	1.0	60250
Arsénico*	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	2.5	222
Cadmio	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	0.500	<0.500
Cromo	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	10	26.1
Mercurio	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/80	mg/kg	0.050	<0.050
Níquel	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	10.0	<10.0
Plomo	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	10.0	<10.0
Zinc	APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95	mg/kg	25.0	335

VALORES DE INCERTIDUMBRE DE USO DE ENSAYOS ACREDITADOS POR EL OAE

Ensayo	Rango	Incetidumbre
Cadmio	0.500 - 100	$L \pm 15\% \text{ mg/kg}$ K=2, nivel confianza 95.45%
Cromo	10 - 200	$L \pm 15\% \text{ mg/kg}$ K=2, nivel confianza 95.45%
Mercurio	0.050 - 0.500	$L \pm 20\% \text{ mg/kg}$ K=2, nivel confianza 95.45%
Níquel	10 - 100	$L \pm 15\% \text{ mg/kg}$ K=2, nivel confianza 95.45%
Plomo	10 - 100	$L \pm 15\% \text{ mg/kg}$ K=2, nivel confianza 95.45%
Zinc	25.0 - 750	$L \pm 15\% \text{ mg/Kg}$ K=2, nivel confianza 95.45%

Atentamente,


Ing. Cecilia Morales B.
GERENTE LABANNCY-CIA. LTDA.

NOTA:

- Resultados en Base Seca
- Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B / 3010 A
- Los Ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE
- L: resultado del análisis
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Anexo C Tablas de Resultados

Muestreo de Efluentes

				Temperatura	Oxígeno	pH	Conductividad	Densidad Pictometro	Solidos totales	Solidos	Humedad
		Planta		C	mg/L	pH	uS/cm	g/cm3		ml/L	%
1	4/1/2019	Puengasi	p1	13,8	5,96	7,23	202,5	1,0010494	0,023	0,63	66,84
	4/1/2019	Bellavista	p	14,4	5,02	7,21	162	1,0019338	0,010	0,21	62,76
2	8/1/2019	Puengasi	p2	13	7,04	7,3	210	1,0009894	0,009	0,15	55,20
	8/1/2019	Bellavista	p	12,6	7,4	7,34	288	1,0010793	0,012	0,19	53,87
3	11/1/2019	Puengasi	p1	13,25	7,52	6,22	120	1,0002399	0,160	0,25	55,68
	11/1/2019	Bellavista	p	13	6,93	7,31	174	1,0006146	0,170	0,35	63,03
4	17/1/2019	Puengasi	p2	15,4	6,56	7,34	204,5	1,0004048	0,010	0,35	62,70
	17/1/2019	Bellavista	p	12,6	7,32	7,07	173,8	1,0008440	0,050	0,1	62,46
5	18/1/2019	Puengasi	p1	14,1	6,43	7,39	206,3	1,0016640	0,020	0,11	56,23
	18/1/2019	Bellavista	p	13,7	7,36	7,23	173,9	1,0014091	0,020	0,12	67,20
6	21/1/2019	Puengasi	p1	15,4	6,45	6,22	120	1,0009594	0,040	0,25	55,34
	21/1/2019	Bellavista	p	13,5	7,5	7,31	174	1,0005697	0,010	0,35	59,93
7	24/1/2019	Puengasi	p2	14,1	6,56	7,27	204,5	1,0010344	0,010	0,25	46,66
	24/1/2019	Bellavista	p	12,7	7,32	7,3	173,8	1,0000600	0,060	0,1	56,91
8	28/1/2019	Puengasi	p1	13	6,43	7,34	206,3	1,0003298	0,050	0,11	66,08
	28/1/2019	Bellavista	p	13,7	7,36	6,22	173,9	1,0007495	0,040	0,12	54,52
9	30/1/2019	Puengasi	p2	13,25	6,56	7,34	204,5	1,0008545	0,007	0,35	59,67
	30/1/2019	Bellavista	p	13	7,32	7,39	173,8	1,0000750	0,023	0,15	50,72
10	18/1/2019	Puengasi	p1	12,9	6,43	7,23	206,3	1,0002249	0,010	0,19	56,81
	18/1/2019	Bellavista	p	12,6	7,36	6,45	173,9	1,0006446	0,009	0,25	59,45
11	4/2/2019	Puengasi	p1	12,7	6,62	7,07	219	1,0000450	0,012	0,12	66,94
	4/2/2019	Bellavista	p	14	6,98	6,87	137,5	1,0010044	0,160	0,08	44,22
12	5/2/2019	Puengasi	p1	13,9	6,25	7,08	225	1,0005097	0,170	0,18	62,99
	5/2/2019	Bellavista	p	13,8	6,99	6,87	106	1,0009594	0,052	0,28	40,55
13	6/02/209	Puengasi	p1	14,1	6,51	6,82	204,4	1,0004947	0,025	0,45	68,00
	6/02/209	Bellavista	p	12,9	7,18	6,68	106,3	1,0008095	0,100	0,02	66,08
14	7/2/2019	Puengasi	p1	13,1	6,69	6,8	210,7	1,0009144	0,043	0,2	68,39
	7/2/2019	Bellavista	p	15,7	6,76	6,85	201,1	1,0010344	0,040	0,015	65,33
15	8/2/2019	Puengasi	p1	19,3	6,02	6,84	199,5	1,0004647	0,260	0,25	63,96
	8/2/2019	Bellavista	p	13,7	7,1	7,1	107,5	1,0024735	0,040	0,1	65,91
16	11/2/2019	Puengasi	p1	16,7	6,14	6,88	204,1	0,9999550	0,016	0,2	62,21
	11/2/2019	Bellavista	p	14,5	5,85	7,06	144,2	1,0008845	0,005	0,11	65,91
17	12/2/2019	Puengasi	p1	14,7	6,55	6,85	205,2	1,0010793	0,069	0,28	63,96
	12/2/2019	Bellavista	p	13,4	7,16	6,77	137,2	1,0007645	0,020	0,3	63,03
18	13/2/2019	Puengasi	p1	14,8	6,83	6,87	213,4	1,0005397	0,102	0,05	50,24
	13/2/2019	Bellavista	p	13,1	6,94	6,82	131,8	1,0007795	0,013	0,3	69,82
19	14/2/2019	Puengasi	p1	16,5	6,41	6,77	212,3	1,0010344	0,082	0,02	62,76
	14/2/2019	Bellavista	p	15,5	7,04	6,6	140,2	1,0005697	0,060	0,18	69,82
20	15/2/2019	Puengasi	p1	14,4	6,22	6,9	218,2	1,0009594	0,065	0,2	48,23
	15/2/2019	Bellavista	p	14,8	6,97	6,87	136,2	1,0001649	0,056	0,27	66,72

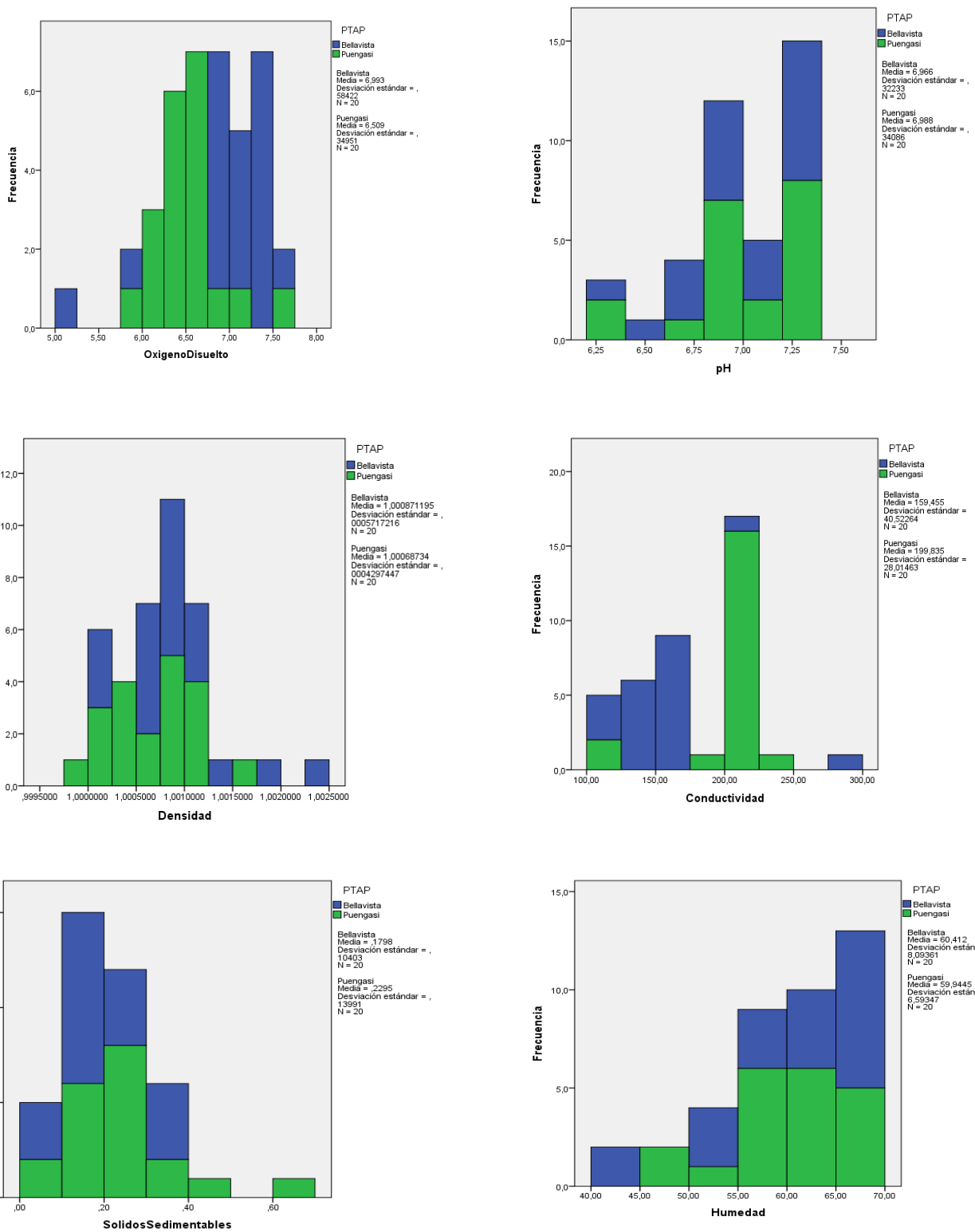
Muestreo de Sólidos Sedimentables

			Humedad	Coliformes T	Salmonella	Huevos de Helminto Viables
			%	NFC/gr	Salmonella/gr	HHV/gr
1	4/1/2019	Puengasi	38,71	300000	700000	10,00
1	4/1/2019	Bellavista	37,13	200000	200000	15,00
2	8/1/2019	Bellavista	37,00	400000	2600000	13,00
3	11/1/2019	Bellavista	36,71	200000	2300000	12,00
4	17/1/2019	Bellavista	32,47	300000	2600000	11,00
5	18/1/2019	Bellavista	42,28	500000	2200000	10,00
6	21/1/2019	Bellavista	25,88	200000	2600000	12,00
7	24/1/2019	Bellavista	28,19	300000	2000000	15,00
2	28/1/2019	Puengasi	22,28	300000	300000	9,00
8	28/1/2019	Bellavista	38,71	200000	2500000	20,00
3	30/1/2019	Puengasi	37,13	400000	200000	10,00
9	30/1/2019	Bellavista	37,00	300000	2300000	12,00
4	18/1/2019	Puengasi	36,71	500000	500000	8,00
10	18/1/2019	Bellavista	42,28	500000	2000000	25,00
5	4/2/2019	Puengasi	28,19	100000	600000	12,00
11	4/2/2019	Bellavista	22,28	600000	2400000	10,00
6	5/2/2019	Puengasi	39,89	300000	400000	6,00
12	5/2/2019	Bellavista	39,80	400000	2500000	13,00
7	6/02/209	Puengasi	39,88	300000	700000	9,00
13	6/02/209	Bellavista	48,65	500000	2300000	11,00
8	7/2/2019	Puengasi	40,35	200000	300000	12,00
14	7/2/2019	Bellavista	42,82	700000	2600000	20,00
9	8/2/2019	Puengasi	36,36	100000	600000	11,00
15	8/2/2019	Bellavista	37,59	200000	2000000	13,00
10	11/2/2019	Puengasi	39,97	300000	200000	9,00
16	11/2/2019	Bellavista	37,85	400000	2200000	15,00
11	12/2/2019	Puengasi	32,19	200000	500000	10,00
17	12/2/2019	Bellavista	37,77	200000	2000000	20,00
12	13/2/2019	Puengasi	38,28	500000	400000	13,00
18	13/2/2019	Bellavista	38,22	500000	2300000	11,00
13	14/2/2019	Puengasi	38,47	100000	600000	10,00
19	14/2/2019	Bellavista	38,28	700000	2500000	15,00
14	15/2/2019	Puengasi	40,23	300000	300000	11,00
20	15/2/2019	Bellavista	41,14	200000	2000000	12,00

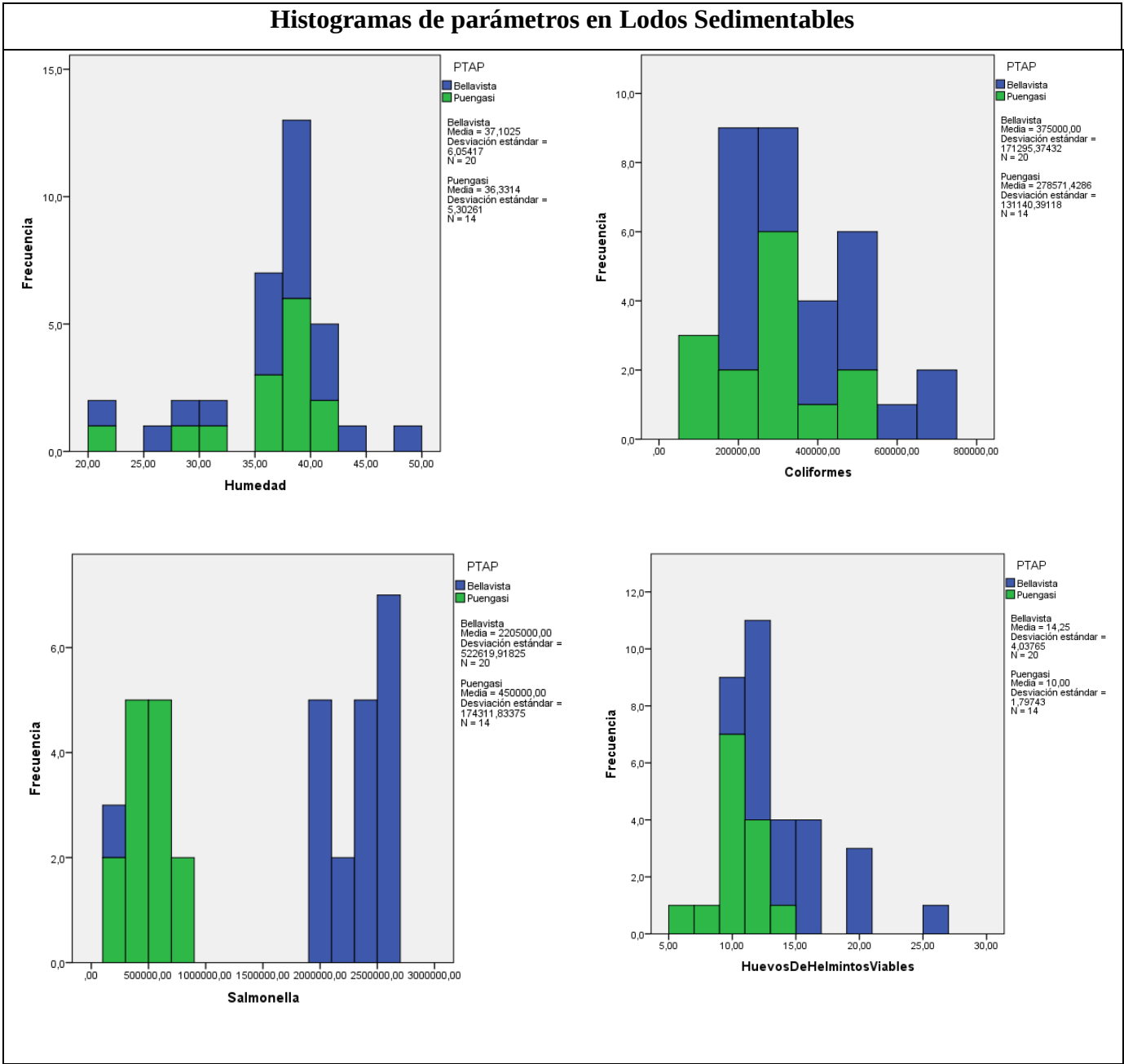
CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Anexo D Gráficos de Análisis de Resultados

Histogramas de parámetros en Efluentes



CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO



CARACTERIZACIÓN E INERTIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BELLAVISTA Y PUENGASÍ, PARA SU APROVECHAMIENTO

Anexo E Tabla CRTIB Sólidos Sedimentables y Lodo Inertizado

Tabla 13 CRTIB De Lodos Sedimentables

Parámetro	Bellavista	Puengasí	Inertizado	CRTIB	Unidad
Sulfatos	<100	156	<100	0	mg/kg
Aluminio	78175	149300	60250	0	mg/kg
Arsénico	544	15,5	222	75	mg/kg
Cadmio	<0.5	<0.5	<0.5	85	mg/kg
Cromo	62,4	84,4	26,1	3000	mg/kg
Mercurio	<0.05	<0.05	<0.05	840	mg/kg
Níquel	<10	<10	<10	57	mg/kg
Plomo	<10	<10	<25	4300	mg/kg
Zinc	<25	<25	335	420	mg/kg
Coliformes fecales (Escherichia Coli)	3*10 ⁵	2,7*10 ⁵	2	2*10 ⁶	NMP O UFC/g
Huevos de Helmintos	14,25	10	0	15	HHV/g
Salmonella sp	2,2*10 ⁶	4,5*10 ⁵	0	1*10 ³	Salmonella sp/g

(Acuerdo Ministerial No. 142, 2012; TULSMA, 2017), (Jiménez. 2019)