

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de
Riesgos

TESIS

“GESTIÓN DE LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE
EL ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS, MINERA YANACOCCHA S.R.L.”

Autores:

Bach. Chávez Medina, Rommer Eisen

Bach. Salazar Saldaña, Cristian Percy

Asesor:

Dr. Arango Llantoy, Miguel Ángel

Cajamarca – Perú

Julio – 2021

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de
Riesgos

TESIS

“GESTIÓN DE LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE
EL ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS, MINERA YANACOCHA S.R.L.”

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el Título Profesional
de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos

Autores:

Bach. Chávez Medina, Rommer Eisen

Bach. Salazar Saldaña, Cristian Percy

Asesor:

Dr. Arango Llantoy, Miguel Ángel

Cajamarca – Perú

Julio - 2021

COPIRIGHT© 2021 BY

CHÁVEZ MEDINA, ROMMER EISEN

SALAZAR SALDAÑA, CRISTIAN PERCY

Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

**APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO
PROFESIONAL**

**“GESTIÓN DE LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
MEDIANTE EL ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS, MINERA
YANACocha S.R.L.”**

Presidente

Dr. Vera Zelada, Persi

Secretario

Ing. MSc. Martos Díaz, Aurelio Alcibiades

Vocal

Dr. Arango Llantoy, Miguel Ángel



DEDICATORIA

A mis padres por ser el pilar fundamental de mi vida y la razón de mi existencia, por sus consejos, apoyo incondicional y su paciencia, así mismo a mis amigos por su apoyo y motivarme constantemente para alcanzar mis anhelos.

Salazar Saldaña, Cristian Percy

A Dios por haberme guiado por un buen camino, en el que cada instante está conmigo ayudándome a aprender de mis errores, por darme la fortaleza en seguir adelante y no rendirme en el intento de las adversidades que se presentaban.

A mi familia, amigos y personas especiales en mi vida (Padres, hermano y compañera de mi vida) “quienes me enseñaron que con el compromiso y perseverancia se encuentra el éxito profesional”

Chávez Medina, Rommer Eisen



AGRADECIMIENTOS

- Le agradezco a Dios por habernos conducido y encaminado a lo largo de nuestra carrera profesional, por ser mi guía en los momentos difíciles y por darnos la fuerza y el coraje para hacer este sueño realidad.
- A nuestros padres, por todo el apoyo que nos han dado desde la infancia hasta ahora y por qué siempre han trabajado para brindarnos educación e inculcarnos valores y enseñarnos que a pesar de los tropiezos que podamos tener en la vida, siempre luchemos por cumplir nuestras metas trazadas.
- A la “Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo” por habernos aceptado ser parte de ella y abrir las puertas para poder estudiar nuestra carrera, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.



RESUMEN

La eliminación de lodos de depuración es un reto para las empresas dedicadas al tratamiento de aguas residuales domésticas, pues, someterlos a un tratamiento eficiente demanda de elevados costos operativos y de mantenimiento, por ello, éstas requieren de empresas contratistas para deshacerse de estos sólidos. Tales acciones también requieren de costos de transporte, mano de obra y del tipo de tratamiento que son útiles para eliminarlos, sin embargo, el volumen de lodos también es un indicador importante para la comercialización del material, ya que, el costo depende del volumen producido. Es aquí donde la presente investigación tiene como objeto de estudio evaluar la gestión de lodos mediante el índice volumétrico de lodos (IVL), el cual muestra la sedimentabilidad y la calidad del lodo.

Por consiguiente, se siguió dos formas de proceder, por una parte, se determinó la concentración de sólidos suspendidos del licor mezcla (SSLM) de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTARD) de la empresa Minera Yanacocha S.R.L, y segundo, el cálculo del índice volumétrico de lodos para determinar la sedimentabilidad y calidad del lodo. Por último, el análisis nos indica que el SSLM de la PTARD fue 1982.00 mg/L y que el IVL es 42.05 mL/g a un tiempo de 30 min, el cual significa que el lodo es de una buena calidad y buena sedimentabilidad. Adicionalmente, se obtuvo un 91.2% de ahorro de la disminución del volumen total. En consecuencia, la buena calidad indica una buena gestión de lodos de la empresa minera.

Palabra clave: Gestión, lodos depurados, índice volumétrico de lodos, calidad.



ABSTRACT

The elimination of sewage sludge is a challenge for companies dedicated to the treatment of domestic wastewater, since submitting them to an efficient treatment demands high operating and maintenance costs, therefore, they require contractor companies to get rid of these solids. Such actions also require a cost of transportation, labor and the type of treatment that are useful to eliminate them, however, the volume of sludge is also an important indicator for the commercialization of the material, since the cost depends on the volume. Produced. It is here where the present research aims to evaluate the management of sludge through the volumetric index of sludge (IVL), which demonstrates the sediment ability and quality of the sludge.

Consequently, two ways of proceeding were followed; On the one hand, the concentration of suspended solids of the mixed liquor (SSLM) of the domestic wastewater treatment plant (PTARD) of the mining company Yanacocha S.R.L was determined; and second, the calculation of the sludge volumetric index to determine the sedimentability and quality of the sludge. Finally, the analysis indicates that the SSLM of the PTARD was 1982.00 mg / L and that the IVL is 42.05 mL / g at a time of 30 min, which means that the mud is of good quality and good sedimentability. Additionally, a 91.2% saving was obtained from the decrease in total volume. Consequently, good quality indicates good sludge management of the mining company.

Key word: Management, treated sludge, sludge volumetric index, quality.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
ABSTRACT.....	IV
ÍNDICE GENERAL	V
LISTA DE TABLAS	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
Planteamiento del problema.	1
1.2. Formulación del problema	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Justificación e importancia.	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedente teórico.....	6
2.2. Marco histórico.....	8
2.3. Marco teórico	10
2.3.1.1. Proceso de lodos activados	11
2.3.1.2. Problemática en la disposición de lodos	12
2.3.1.3. Estabilización de lodo.....	13
2.3.1.4. Oportunidades de aprovechamiento y disposición.....	13
2.3.4.1.2. Aprovechamiento en la agricultura	15
2.3.4.1.3. Componente de los lodos activados.	15
2.3.4.1.4. Parámetros operacionales	16
- Concentración de biomasa en el reactor.	17
- Recirculación.....	18
- Edad del lodo.....	18
- Tratamiento de lodos.	18
2.3.2. Sedimentabilidad	19
2.3.3. Tratamiento de agua residuales; tratamiento secundario	22
- Sistema de percolación.....	23
2.3.4. Sólidos suspendidos en el reactor secundario	23
2.3.5. Sólidos suspendidos	25
2.3.6. Relación de sólidos suspendidos totales, sedimentabilidad y el índice volumétrico	27



2.4.	Definición de términos básicos	28
24.2.	Índice volumétrico de lodos	29
24.3.	Oxígeno disuelto	30
24.4.	Sólidos.	30
24.5.	Caudal.	30
24.6.	Demanda química de oxígeno (DQO)	30
24.7.	Efluente.	31
24.8.	Estabilización	31
2.5.	Hipótesis	31
25.1.	Operacionalización de variables	31
25.1.1.	Variable independiente	31
25.1.2.	Variable dependiente	31
CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN		33
3.1.	Tipo de investigación	33
3.2.	Diseño de investigación	34
3.3.	Área de investigación	34
3.4.	Universo	36
3.5.	Muestra.	36
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.6.1.1.	Recolección, preservación y almacenaje de muestras.....	36
3.6.2.	Toma de muestra de sólidos suspendidos totales	37
3.6.3.	Instrumentos	38
3.6.4.	Materiales	38
3.6.5.	Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	39
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		41
Presentación, análisis e interpretación de resultados		41
Estabilidad del IVL.....		41
Interpretación		43
Interpretación		46
4.1.	Calidad de Sedimentabilidad del lodo	46
Interpretación		47
4.2.	Evaluación económica del transporte de los lodos	47
Interpretación		50



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

4.3. Discusión.....	51
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
5.1 Conclusiones	55
5.2 Recomendaciones	57
REFERENCIAS	58
ANEXOS	64
HOJAS DE DATOS DE RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN EL LABORATORIO INNODEVEL S.A.C.....	69



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Efecto de los niveles de los sólidos disueltos totales.....	26
Tabla 2. Operacionalización de las variables	32
Tabla 3. Punto de extracción de la muestra	35
Tabla 4. Resultado de la prueba de sedimentabilidad.....	41
Tabla 5. Estadísticos descriptivos.....	42
Tabla 6. ANOVA de un factor para el tiempo vs IVL.....	42
Tabla 7. Comparación de medias según Tukey	44
Tabla 8. Comparación de medias según Fisher	45
Tabla 9. Resultado de volumen de lodos para diferentes tiempos.....	49
Tabla 10. Datos iniciales para el cálculo de presupuesto	50



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Índice volumétrico de fangos	11
Figura 2. Proceso de lodos activados.....	12
Figura 3. Energías renovables.....	14
Figura 4. Sedimentabilidad.....	19
Figura 5. Curva de sedimentabilidad de lodos.....	21
Figura 6. Sistema de crecimiento suspendido	25
Figura 7. Ubicación del punto de extracción de la muestra.....	35
Figura 8. Comportamiento del IVL en el tiempo	43
Figura 9. Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%	44
Figura 10. Agrupar información utilizando el método de Fisher y una confianza de 95%	45
Figura 11. Comparación del IVL vs Rango de IVL de buena calidad.....	46
Figura 12. Representación de la disminución del volumen de lodos.....	48
Figura 13. PTAR de Minera Yanacocha	64
Figura 14. Tesistas haciendo el reconocimiento de la PTAR de la empresa.....	64
Figura 15. Tesistas observando el procedimiento de lodos en el tratamiento secundario que se le da en la PTAR de Minera Yanacocha	65
Figura 16. Punto de donde se tomó la extracción de muestra para realizar la sedimentación del lodo mediante el IVL	65
Figura 17. Tesista realizando el procedimiento de llenado en la probeta del lodo que requiere caracterizar y analizar.....	66



Figura 18. Dejamos las probetas en reposo durante 30 minutos mientras el lodo sedimenta... 67

Figura 19. Luego de los 60 minutos, tesistas realizan la lectura del volumen del lodo sedimentado..... 67

Figura 20. Tesistas luego de realizar la lectura y evaluación del lodo sedimentado 68



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. Planteamiento del problema.

1.1. Descripción de la realidad problemática.

La gestión de lodos de la planta de tratamiento es uno de los problemas ambientales más complejos asociados al tratamiento de las aguas residuales. “La problemática fundamental relacionada con los lodos de depuradora tiene su origen en que, en la mayoría de los casos, constituyen un residuo que es necesario gestionar, (Montes & Menéndez, 2013, p. 102).

Los lodos constituyen un problema en las sociedades altamente industrializadas, que son las que generan necesidad del tratamiento de sus aguas residuales. Resulta de algún modo paradójico que el intento de dicha sociedad industrializada por mejorar su relación con el medio ambiente a través de la depuración de las aguas que ella contamina, termine generando un nuevo problema en forma de lodos (Montes & Menéndez, 2013, pág. 102 y 103).

El método de lodos activados es una de las tecnologías más utilizadas para eliminar sustancias biodegradables de aguas residuales tanto urbanas como industriales, debido a su versatilidad y costos de las operaciones realizadas, Sin embargo, en el amplio uso de esta técnica aún sigue existiendo fallas que afectan su eficiencia. Uno de los problemas más comunes en la operación de sistemas de lodos activos es el aumento de “Bulking” (Jenkins et al., 2004; Seviour y Nielsen, 2010; Mielczarek et al., 2012), el cual se desarrolla cuando el lodo sedimenta y se compacta de manera inadecuada.



**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMOURRELO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

En Perú, como en la mayoría de países, tenemos dos panoramas frente al tratamiento de agua residual. Las aguas residuales domésticas o industriales que van al alcantarillado y las aguas residuales que deben tratar cada empresa privada, sobre todo aquellas que provienen de minería. (Sánchez, 2017, párrafo 1).

Sumado a lo anterior el tratamiento de aguas residuales en empresas mineras genera residuos que pueden considerarse entre basuras, arenas y lodos, estos últimos son los que se generan en mayor proporción y son los que requieren mayor tratamiento, su producción depende de los siguientes parámetros, eficiencia del tratamiento primario, relación SST a DBO, cantidad de sustrato soluble, remoción de nutriente y uso de indicadores. (Limón, 2013).

Esta realidad se presenta en la ciudad de Cajamarca en la gestión de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de Minera Yanacocha, puesto que extraen el lodo a la cisterna directamente del biorreactor sin una decantación previa, por tanto, al no ser manejados de manera correcta, determina problemas económicos y ambientales. Al mismo tiempo no será posible un buen aprovechamiento del lodo, si no se realiza una evaluación adecuada a las PTAR considerando ciertos indicadores derivados de la propia biomasa y de la reacción del agua residual con el lodo activo que no demanden de mucho costo, y este fue justamente el norte de esta investigación, proponer una alternativa para disminuir el volumen de lodos de manera eficiente con un impacto en la reducción de gastos, y en lo posible beneficie al ambiente.



1.2. Formulación del problema:

¿Qué ventajas de gestión genera el uso del índice volumétrico de lodos – IVL, en lodos provenientes de las plantas de tratamiento secundario de aguas residuales domésticas?

1.3. Objetivos:

1.3.1. Objetivo general:

Determinar las ventajas de gestión de lodos del tratamiento de aguas residuales mediante el índice volumétrico de lodos.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Determinar la disminución del volumen de lodos al usar el IVL como indicador predictivo.
- Evaluar los costos de transporte de lodos con una extracción directa, versus la concentración de lodos con el uso del IVL.
- Identificar el menor índice volumétrico de lodos, estimada en porcentaje, para la buena gestión de lodos.
- Identificar la importancia de la gestión de lodos del tratamiento de aguas residuales mediante el índice volumétrico de lodos.



1.4. Justificación e importancia.

La cantidad de lodo que inevitablemente se produce en la depuración de aguas residuales sigue siendo uno de los mayores impactos ambientales de las estaciones de depuración de estas aguas.

Los principales constituyentes de agua residual eliminados en las plantas de tratamiento incluyen basuras, arena, espumas y lodo.

El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamientos de las aguas residuales generalmente suele ser un líquido o líquido semisólido con gran contenido en sólidos entre 0.25 y el 12%, entonces el lodo es el constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos.

Su tratamiento y evacuación es, probablemente, el problema más complejo al que se enfrentan los ingenieros sanitarios.

La investigación tiene como propósito tomar una medida para el correcto manejo de lodos y conseguir la reducción del volumen de lodos secundarios de la planta de tratamiento.

En nuestra investigación recurrimos a las ciencias aplicadas necesarias para la gestión del volumen de lodos como también la eliminación de organismos patógenos, con la finalidad de cumplir con las normas ambientales vigentes y mitigar los impactos que se puedan causar sobre el ambiente y de esta forma garantizar una mejor calidad de vida para las generaciones presentes y futuras a través de un desarrollo sustentable.



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Desde el punto de vista técnico, esta investigación permitirá conocer las ventajas de gestión de lodos del tratamiento de aguas residuales mediante el índice volumétrico de lodos.

Desde el punto de vista ambiental, nos permitirá evaluar alternativas para la gestión de lodos en aguas residuales.

Es por ello que la finalidad de esta investigación nos permitirá contribuir científicamente y poder demostrar las ventajas de gestión de lodos para aguas residuales domésticas y demostrar el efecto que conlleva a no cumplirla.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2. Fundamentos teóricos de la investigación.

2.1. Antecedente teórico

Tejero, Jorge et al. (2007). “Análisis del reactor de lodos activados de la planta Centenario. Revista Caos Conciencia. Vol. 2”: Según los investigadores, “los resultados de la evaluación de la operación del reactor de lodos activados se realizan mediante el uso de un respirómetro para determinar los parámetros cinéticos. “Un respirómetro es un dispositivo que determina la relación entre diferentes organismos midiendo su frecuencia respiratoria”, para el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono, este dispositivo toma el valor en el biorreactor y mide la remoción de materia orgánica. “Estas mediciones permitieron la evaluación de potencia suministrada al reactor y la producción de lodos para el análisis.”

Martínez (2017) en su tesis “Reducción de volumen de lodos de la planta de tratamiento de aguas urbanas vía filtración” Universidad Católica de Valparaíso, Chile. Según el autor: Tiene como objetivo la evaluación y reducción química de humedad de tipo Kemicond, para la reducción de volumen de lodos de la planta de tratamiento de aguas urbanas, donde actualmente solo se utilizan para la eliminación de lodos, la centrifugación.

Condori, M, & Ruelas, J. (2017). “Instalación y evaluación de un sistema de reactores para tratamiento de aguas residuales urbanas por proceso de lodos activados” “Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.



Según el autor: Mediante la evaluación de reactores de lodos activados, el desarrollo del tratamiento de aguas residuales urbanas, incluidos los reactivos, tiene como objetivo eliminar los sustratos de materia orgánica disuelta en las aguas residuales, lo que se refleja en el nivel de concentración DQO, SSV, TSS y sustratos. De manera similar, la evaluación de DQO indica el grado de degradación de componentes solubles como materia orgánica, carbono y nitrógeno en agua por el proceso de oxidación microbiana activa por aireación en la misma cavidad torácica, y la concentración de SSV indica el grado de degradación de componentes solubles como materia orgánica, carbono y nitrógeno en el agua. La población microbiana que degrada la materia orgánica producida por la operación de aireación, se disuelve y no contiene microorganismos biológicos.

“En Cajamarca se han desarrollado investigaciones sobre lodos para la disminución de costos”, por ejemplo la realizada por (Leyva Cojal, 2017) en su tesis titulada “Implementación de un equipo deshidratador de lodos para reducir el costo en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de Minera Coimolache S.A 2017”: “donde el objetivo es la reducción de costos en transporte y disposición final de lodos, desarrollándose un diagnóstico actual del proceso de manejo de lodos, donde actualmente existen cuatro plantas de tratamiento de aguas residuales, que producen un promedio de 6 metros cúbicos al día, 180 metros cúbicos por mes y 2160 metros cúbicos por año de lodos que se transportan a su disposición final a Talara, el costo por m³ es de 382 nuevos soles y al año asciende a 825 120 nuevos soles.



Debido a los altos costos de transporte y disposición final se buscó un equipo deshidratador de lodos para su implementación el cual reduzca el volumen del lodo que contiene entre 95% a 98% agua, el equipo que se implementó tiene un costo total de 502 404 nuevos soles diseñado por la empresa Agua Clear S.A”.

2.2. Marco histórico

En el tratamiento de las aguas residuales existen fundamentalmente dos tipos de lodos. “El tipo depende del origen de los lodos, lo cual también hace que tenga ciertas características de acuerdo al tratamiento en el que se produjo. En esta sección se describen los principales tipos de lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales (Limón Macías, 2013).

Los lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales dependen del tipo de planta de tratamiento y de la operación de ésta. “En una planta de aguas residuales domésticas, los lodos se generan principalmente en las etapas de tratamiento primario y tratamiento secundario” (Limón Macías, 2013).

“El lodo primario se produce en la sedimentación primaria, en la cual se eliminan los sólidos sedimentables, la cantidad depende de la carga superficial o tiempo de residencia hidráulica “en la sedimentación primaria con químicos se produce más lodo, producto de una mayor remoción y de la precipitación química de la materia coloidal” (Limón Macías, 201).



“Los lodos secundarios se producen en procesos de tratamiento biológicos que convierten residuos o sustratos solubles en biomasa”. “También incluyen el material particulado que permanece en el agua después de la sedimentación primaria y que se incorpora en la biomasa. La cantidad producida depende de varios factores: eficiencia del tratamiento primario, proporción de SST a DBO, cantidad de sustrato soluble, eliminación de nutrientes y criterios de diseño del tratamiento”.

“El lodo secundario se produce en el biorreactor y se depositan en el decantador secundario o se separa del agua. Hay un embudo en el fondo de estos sedimentadores para almacenar y concentrar los lodos sedimentados”. “Los lodos depositados se pueden extraer mediante carga hidráulica y el accionamiento mecánico de rastrillos, que puede “barrer” el fondo del tanque de almacenamiento y empujar los lodos depositados a la tolva para su extracción” (Limón Macías, 2013).



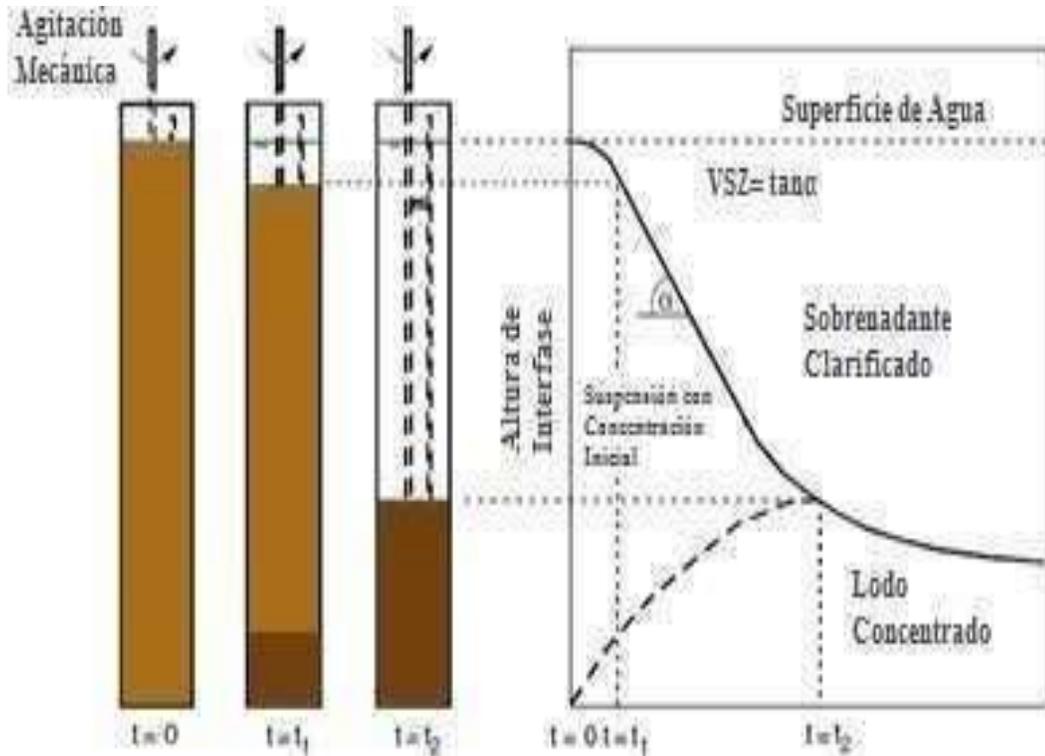
2.3. Marco teórico

231. Índice volumétrico

El índice volumétrico del lodo o IVL, “es un indicador macroscópico que concede evaluar las características de decantación del lodo”. “Corresponde al volumen en litros, que ocupa 1 gramo de sólidos en suspensión del licor de mezcla en peso seco, después de sedimentar por 30 minutos”.

En el control de una planta de tratamiento de aguas, “el IVL se usa para determinar si se está produciendo un aumento de volumen del lodo, denominado lodo floculante o Bulking”. “Este fenómeno, se caracteriza por producir un IVL mayor a 100 mL/g SST, junto a la presencia excesiva de bacterias filamentosas” (Sezgin et al., 1982).

“Los valores típicos de IVL para lodos con buenas características de sedimentación están dentro del intervalo de 150 - 35 mL/g SST” (Ramallo, 1996). “Es una manera rápida y sencilla de evaluar la sedimentabilidad, la cual es fundamental en el proceso, teniendo en cuenta, que cada lodo es diferente” (Sezgin et al, 1982).



*Figura 1. Índice Volumétrico de Fango.
 Fuente: (Haandel, Marais, 1999, p.46)*

23.1.1. Proceso de lodos activados

“El agua residual entra al reactor donde se encuentra el cultivo de microorganismos, este está constituido principalmente por bacterias en suspensión, las cuales son conocidas como licor mezclado” (Ramirez, 2001).

“Después de un cierto tiempo de retención, el licor mezclado pasa a un tanque de sedimentación secundaria, donde se separa del agua tratada”. De tal modo consigue salir por la parte superior del tanque y los microorganismos y otros productos de la degradación se dividen tomando una apariencia de flóculos (Ramirez, 2001).

“Gran parte de la biomasa sedimentada retorna al tanque de aeración para mantener una concentración deseada de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado, y la otra parte se retira del sistema como desecho, denominado lodo residual”.

“En caso de que la biomasa no sedimente, la separación de la misma se puede realizar sustituyendo el sedimentador secundario por una unidad de flotación” (Ramírez, 2001).

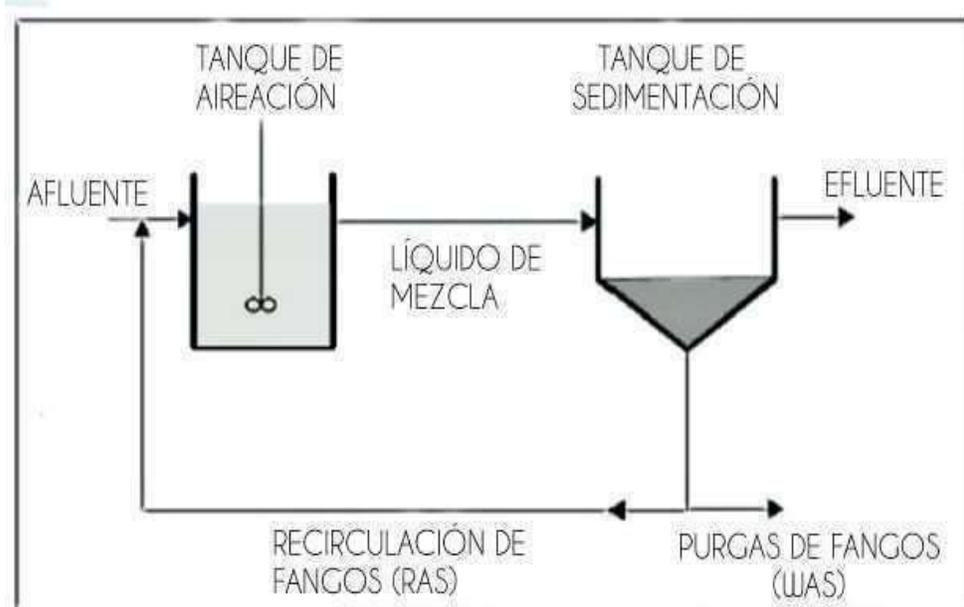


Figura 2. Proceso de Lodos Activados

Fuente: (Romero, 2002, p.229).

23.1.2. Problemática en la disposición de lodos

Según, (Limón Macías J. A., 2013). “El contenido sólido debe usarse en el diseño y dimensionamiento de bombas, tuberías y equipos usados para pretratamiento y tratamiento”. “Los lodos producidos en la planta de



tratamiento (principalmente lodos primarios) suelen contener residuos que no se eliminan en la criba de pretratamiento”. “Para eliminar estos desechos y evitar que dañen el equipo, se requiere un tratamiento previo, antes de poder aprovechar o disponer los lodos, éstos deben ser estabilizados para reducir la atracción de vectores, los olores y los riesgos a la salud. Además, los lodos deben ser desaguados para reducir su volumen”.

23.13. Estabilización de lodo

Según (Limón Macías J. A., 2013) nos menciona que: “El proceso de estabilización de lodos tiene las ventajas de reducir la calidad y volumen de los lodos, promover el drenaje y reducir los patógenos, olores y atracción”. Los cuatro métodos más conocidos para estabilizar lodos son:

- Digestión anaerobia.
- Digestión aerobia.
- Composteo.
- Adición de cal.

23.14. Oportunidades de aprovechamiento y disposición

2.3.1.4.1. Fuentes de energía:

“Se realiza por medio del biogás que se obtiene como subproducto en la digestión anaerobia de los lodos”. “La digestión anaerobia es un proceso de estabilización, en el cual se lleva a cabo la destrucción de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de

oxígeno” (Limón Macías J. A., 2013).

Las tendencias actuales hacen que este tipo de procesos sea cada vez más rentable.

“El mercado de la energía es muy turbulento y el costo de la electricidad, el gas natural y los combustibles fósiles ha aumentado considerablemente, lo que favorece el uso de energías renovables”.



Figura 3. Energías Renovable
Fuente: Elaboración propia.

“La tecnología se ha desarrollado, ofreciendo alternativas más eficientes y económicas que hacen viable implementar dichos sistemas”. “La mejoría de los sistemas ha permitido la optimización de recursos, con esto, reduciendo los costos de operación”. “Este conjunto de factores hace que la utilización de biogás se deba considerar como parte integral del proceso en una planta de tratamiento de aguas residuales” (Limón Macías J. A., 2013).



2.3.4.1.2. Aprovechamiento en la agricultura

“La recuperación de biosólidos a través de aplicaciones in situ tiene múltiples propósitos”. “Mejoran las propiedades del suelo, como la textura y la absorción de agua, proporcionan condiciones más favorables para el crecimiento de raíces y aumentan la tolerancia de la vegetación a la sequía”.

“Los nutrientes contenidos en los biosólidos (orgánicos) ofrecen diversas ventajas en comparación con los fertilizantes inorgánicos gracias a que pueden ser incorporados lentamente por las plantas en crecimiento”. “Una de las propiedades más importantes de los biosólidos que incide en la fertilidad de los suelos es el sinergismo, el cual se manifiesta al aplicarse junto con los fertilizantes”.

“El efecto sinérgico es el efecto integral de varias sustancias químicas, y su efecto total es mayor que el efecto producido por cada sustancia por separado. Esta propiedad da por resultado la reducción entre el 15 y el 50% de fertilizante aplicado” (Limón Macías J. A., 2013)

2.3.4.1.3. Componente de los lodos activados.

- “Fuente de aeración que transfiere el oxígeno y facilita la mezcla que requiere el sistema”. La fuente puede ser un soplador con difusor, aireación mecánica o mediante inyección de oxígeno.



- “El tanque de aireación está diseñado para una mezcla completa o como un flujo de pistón”.
- “Tubería para desechar el exceso de lodos biológicos del sistema, lo que se conoce como purga de lodos”.
- “Sedimentador para separar los sólidos biológicos del agua tratada”.
- “Sistema de tuberías y bomba para la recirculación de sólidos biológicos del sedimentador al reactor biológico, lo que se conoce como recirculación de lodos activados”.

2.3.4.1.4. Parámetros operacionales

- **PH.** “Los niveles óptimos del pH deben encontrarse entre 4.0 y 9.5, ya que este, es el rango tolerado por las bacterias, con un intervalo óptimo de 6.5 y 7.5. En pH inferiores a 6.5, se produce el crecimiento de hongos filamentosos en lugar de bacterias” mientras que un pH por sobre 9 inhibe la actividad bacteriana” (Morales Benavides, 2014).
- **Temperatura.** “Debido a su influencia, tanto en el desarrollo de los microorganismos, como en las reacciones químicas y velocidades de reacción”. En un incremento de temperatura se produce el aumento en las velocidades de las reacciones químicas, lo que, a su vez, la eleva aún más (Morales Benavides, 2014).
- **Oxígeno disuelto.** “Dentro del sistema de lodos activados es un proceso aeróbico, una concentración adecuada de Oxígeno Disuelto (OD) en el reactor, es vital, para permitir la respiración de los microorganismos”.



“Este parámetro debe hallarse en concentraciones superiores a 2 mgO₂/L, siendo este valor óptimo necesario para el correcto desarrollo de la biomasa” (Morales Benavides, 2014)

- **Tiempo de retención hidráulico.** “En el tiempo de residencia del agua residual en el sistema, el cual debe ser suficiente para permitir un contacto adecuado entre la materia orgánica disuelta y los microorganismos” (Morales Benavides, 2014).

- **Velocidad de carga orgánica.** “La cantidad de materia orgánica que ingresa al sistema, representándose como la alimentación de DBO₅ por unidad de volumen de reactor, expresada como (Kg. DBO/(m³ día)); la carga orgánica varía con la operación de la planta, tanto en flujo, como en concentración de material orgánico” (Morales Benavides, 2014).

- **Concentración de biomasa en el reactor.**

“Los sólidos que se encuentran suspendidos en el reactor, está representada por los SSV (Sólidos Suspendidos Volátiles) del tanque de aireación, también denominados SSVLM (Sólidos Suspendidos Volátiles del Licor de Mezcla), que comprenden los microorganismos vivos, muertos y restos celulares” (Morales Benavides, 2014).

- **Relación alimento microorganismos.** “La cantidad de materia orgánica alimentada, expresada como DBO₅ o DQO, por unidad de biomasa presente en el reactor, como kg SSV. Valores típicos de la relación A/M



se encuentran en el rango de 0.2 y 0.9 Kg. DBO5 / Kg. SSVLM – día, siendo la relación óptima de 0.3 y 0.6 Kg DBO5” (Morales Benavides, 2014).

- **Recirculación.**

- “Esto nos permite mantener una concentración de biomasa constante en el reactor. Los valores de recirculación varían en función del caudal de entrada, desde una fracción de 0.25 a 1.25” (Morales Benavides, 2014).

- **Edad del lodo.**

“La edad del lodo puede variar de 4 a 15 días, en sistemas convencionales. En el caso que un lodo antiguo estará caracterizado por un crecimiento disperso y tendrá como resultado una pobre sedimentación” (Morales Benavides, 2014).

- **Tratamiento de lodos.**

Según el informe de (Ingenieros, 2014) nos menciona que, “con la utilización de bacterias heterótrofas facultativas, que crecen naturalmente en el agua residual y convierten la materia orgánica disuelta y particulado presente en el agua en productos más simples y nuevas bacterias”.

El proceso de lodos activos consta principalmente de: tanque de aireación, un sistema de separación de sólidos y un sistema de recirculación para devolver la biomasa sedimentada”.

232. Sedimentabilidad.

La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua y no pueden retenerse en las unidades de pretratamiento, por su finura o densidad, ni pueden separarse por flotación.



Figura 4. Sedimentabilidad

Fuente: Elaboración propia (Ensayo en laboratorio)

“La finalidad de esta intervención es la obtención no únicamente de un efluente clarificado, sino además de un fango donde su concentración de sólidos acceda su fácil tratamiento y utilización”.



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMOURRELO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

“La sedimentación se utiliza para mover los sólidos sedimentables y material flotante, también para poder desunir los sólidos orgánicos e inorgánicos, también en el proceso biológico, la biomasa y los sólidos en suspensión se separan de las aguas residuales tratadas”.

“La medición de la sedimentabilidad se puede hacer mediante varios tipos, siendo el más fácil y práctico para su realización mediante el cono Imhoff; donde se mezcla la muestra original para obtener una distribución homogénea de sólidos suspendidos a través de todo el cuerpo del líquido y se coloca la muestra bien mezclada en un cono Imhoff hasta la marca de 1 L y se lo deja sedimentar 45 minutos”.

“Una vez transcurrido este tiempo agitar suavemente los lados del cono con un agitador o mediante rotación, mantener en reposo 15 minutos más y registrar el volumen de sólidos sedimentables del cono como mL/L”.

“Si la materia sedimentable contiene bolsas de líquido de aire entre partículas gruesas, evaluar el volumen de aquellas y restar del volumen de sólidos sedimentarios”.

La prueba de asentamiento de 30 minutos es otra herramienta de monitoreo ampliamente utilizada. “La prueba se realiza en un cilindro medidor de uno o dos litros, incluso en un cilindro medidor llamado decantador con un diámetro de 15 cm (este último minimiza el efecto pared y simular mejor las condiciones internas del decantador)”. “Se llena la probeta o el decantómetro con una muestra tomada directamente del tanque de

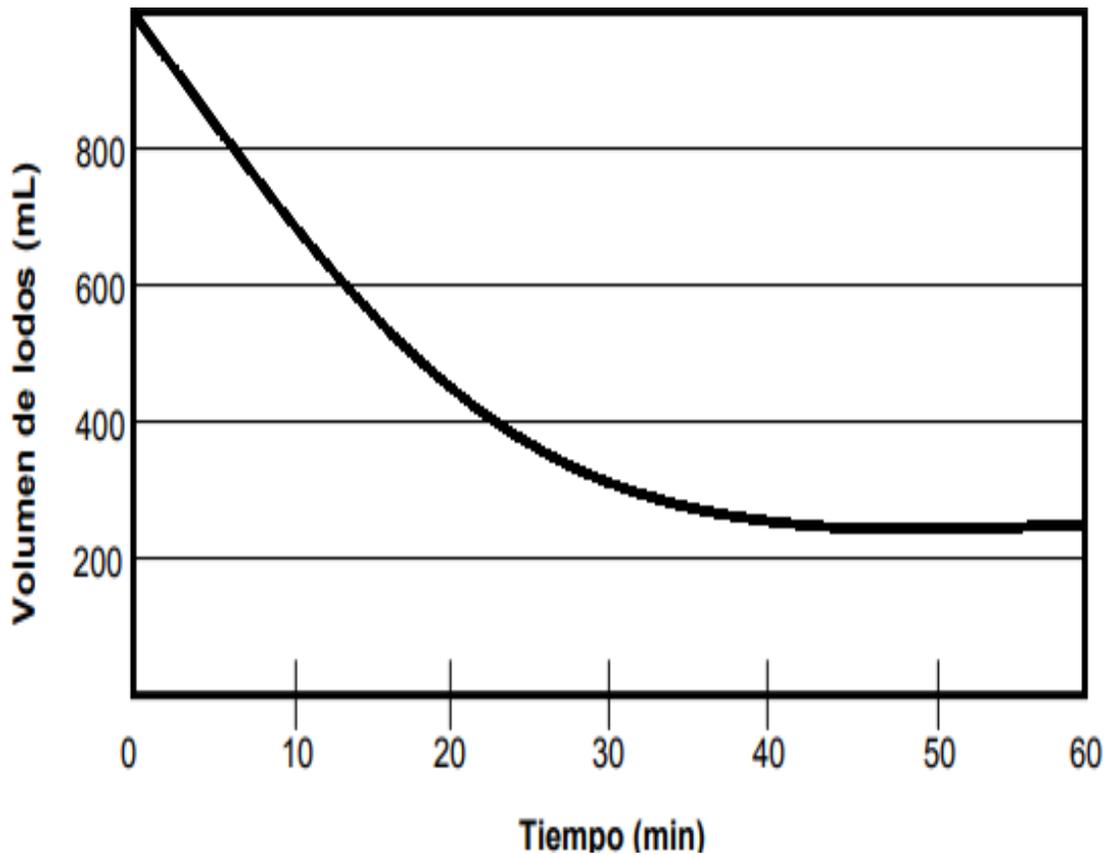


Figura 5. Curva de sedimentabilidad de lodos
Fuente: (Calderón, 2004, p.269)

En cuanto a la sedimentación, el IVL se ve afectada porque el impacto afecta el aumento del tamaño del floculo, la concentración de sólidos y el número de bacterias filamentosas. Existe una clara relación entre el IVL y la cantidad de microorganismos filamentosos, si la fuga de tóxicos no favorece el crecimiento de bacterias filamentosas, entonces el IVL no cambiará, por



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMOURRELO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS
supuesto, la premisa es que las condiciones operativas están controladas
(Sezgin *et al.*, 1982).

233. Tratamiento de aguas residuales; tratamiento secundario

“El tratamiento de aguas residuales (residual, doméstica o industrial), donde se incorpora procesos físicos, químicos y biológicos, los cuales tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua de efluente de uso humano”.

El tratamiento de aguas residuales industriales requiere tecnologías apropiadas y una aplicación correcta. Después de llevar a cabo una auditoría completa del sistema y todas las pruebas requeridas, pudiendo personalizar un proceso de tratamiento de aguas residuales que optimice el uso de productos químicos, los caudales de efluente y los costos de tratamiento fuera de las instalaciones.

La recolección y el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de descargas se rigen generalmente por regulaciones y estándares locales, estatales y federales (regulaciones y controles).

“El objetivo del tratamiento es producir agua ya limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente”. “Generalmente, el tratamiento de aguas residuales se logra mediante la separación física inicial de los sólidos del agua doméstica o industrial, y luego la transformación gradual de materiales biológicos utilizando bacterias adecuadas normalmente presentes en estas aguas. Una vez que el material biológico se separa o elimina, el agua tratada se puede desinfectar mediante procesos físicos o químicos. Este efluente final



puede ser descargado o reintroducido a un cuerpo de agua natural (corriente, río) u otro ambiente” (terreno superficial o subsuelo), etc.

- **Sistema de percolación.**

“Estos filtros son tanques circulares con diferentes profundidades dependiendo del porcentaje de agua a tratar; con una cierta cantidad de piedra de un determinado tamaño uniforme, se le aplica un rocío constante de estas aguas negras por medio de aspersores; esta agua negra es filtrada de a pocos por la gravilla dejando con tiempo materia orgánica que contienen bacterias oxidantes” (Edward, 1987).

234. Sólidos suspendidos en el reactor secundario

El estudio de los sólidos es fundamental para la observación de procesos de tratamientos físicos y biológicos de aguas residuales y poder cumplir las normas legales vigentes. “El análisis de los sólidos de la muestra nos permitirá conocer los sólidos totales, sólidos suspendidos, y sólidos disueltos, los sólidos suspendidos totales conforman todo el material suspendido en una muestra de agua utilizando la técnica de gravimetría que se basa en los pesos de los sólidos antes y después de determinados tratamientos”.

“La determinación de los sólidos suspendido totales pueden determinarse de 2 maneras; Indirecta al restar el contenido de solidos disueltos totales al contenido de solidos totales o también se puede hacer filtrando la muestra a través de un filtro resistente al calentamiento que se pesa antes y después del proceso térmico”.

Generalmente se usa el secado a 103°C, temperaturas de 180°C se usan para



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMOURRELO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS
muestras con bajo contenido de materia orgánica y alto contenido de material inorgánico”.

“Los sólidos en suspensión consisten en materia suspendida, y cuando la muestra de agua residual previamente agitada pasa, los sólidos en suspensión permanecen en el filtro de fibra de vidrio. Están constituidos por la materia suspendida que es retenida sobre un filtro de fibra de vidrio, la determinación de los sólidos suspendidos es de gran valor en el análisis de aguas contaminadas, siendo considerado como uno de los mejores parámetros usados para evaluarla contaminación de las aguas residuales domésticas y determinar la eficiencia de las plantas”.

“Principalmente es designado para degradar el contenido orgánico biodegradable de las aguas residuales que se derivan de las impurezas humanas, basura de comida, jabones y detergentes. La mayoría de las plantas municipales e industriales utilizan procesos biológicos aeróbicos para tratar las aguas residuales, por lo que para que los procesos biológicos sean efectivos se requiere oxígeno y un sustrato vivo”.

“El sistema de tratamiento secundario se divide en dos categorías según el crecimiento de microorganismos, que se dividen en sistema de membrana fija o sistema de crecimiento disperso o suspendido”.

En un sistema de membrana fija (como un filtro percolador) la biomasa crece en el medio y el agua restante pasa a través de él.

“En el sistema de crecimiento suspendido (lodos activados) la biomasa y las aguas residuales están bien combinadas. Generalmente, los sistemas de membranas fijas requieren una superficie más pequeña que los sistemas de crecimiento suspendidos equivalentes, sin embargo, los sistemas de crecimiento suspendido generalmente absorben mejor el impacto de la carga biológica y proporcionan instalaciones de eliminación más grandes de la DBO y los sólidos suspendidos que los sistemas de película fija”.



Figura 6. Sistema de crecimiento suspendido
Fuente: (Municipalidad Comapa Jutiapa, 2018)

235. Sólidos suspendidos

Son materiales sólidos suspendidos o disueltos en aguas limpias o aguas residuales afectando negativamente a la calidad de la misma; existen algunas denominaciones para los sólidos entre ellas: “sólidos totales que se refiere a la cantidad de residuos que quedan en un recipiente después de la evaporación



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

de la muestra y su consecuente secado en estufa a temperatura definida, los sólidos totales suspendidos representan la cantidad de sólidos retenida por un filtro y sólidos disueltos totales representa la porción que atraviesa el filtro teniendo en cuenta el tamaño de poro del filtro, su área y espesor son parámetros determinantes que afectaran a la separación de los sólidos suspendidos”. (Argañosa, 2013).

“La relativa seguridad del agua depende de qué sólidos estén presentes, por lo que los sólidos disueltos totales no es necesariamente una medida de la seguridad del agua potable; sin embargo, los sólidos disueltos totales a menudo afectan el sabor, el olor y el color del agua. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha cuantificado el efecto de los niveles de los sólidos disueltos totales de la siguiente manera”.

Tabla 1. Efecto de los niveles de Los Solidos Disueltos Totales.

Fuente: (Organismo mundial de la salud 2011, p. 267)

Excelente	< 300 mg/L
Bueno	300 - 600 mg/L
Regular	600 - 900 mg/L
Pobre	900 – 1200 mg/L
Inaceptable	>que 1200 mg/L



¿Por qué medir los sólidos suspendidos?

Para tomar el control de la cuantificación de sólidos. Biomasa cuantificada por las mediciones de sólidos suspendidos.

- Cumplimiento normativo. El sistema nacional de eliminación de descargas de contaminantes, permite incluir normalmente los sólidos suspendidos totales (TSS).
- Eficiencia en la remoción. Controlando la alimentación química y la reducción de contenido de agua/reducción de los costos en el transporte de desechos.

¿Qué hacemos con la Medición?

- Calcular el lodo activado de retorno (RAS).
- Calcular el lodo activado residual (WAS).
- Calcular el tiempo de retención de lodo (SRT).
- Determinar la profundidad/altura de colcha de lodos.
- Determinar la eficiencia de los mecanismos de deshidratación.

23.6. Relación de sólidos suspendidos totales, sedimentabilidad y el índice volumétrico.

“Para evaluar la conducta de sedimentación de los lodos biológicos producidos en el reactor por carga secuencial (RCS), los parámetros convencionales utilizados son; el índice volumétrico de lodos (IVL), la velocidad de sedimentación de la interface y el tiempo crítico”.



“El IVL indica la asentabilidad de lodos, es decir, la capacidad de separación de la biomasa y el licor mixto”.

“Existe una gran relación entre estos 3 indicadores; dado que la sedimentabilidad es una operación de separación sólido – fluido, donde las partículas sólidas en suspensión más densas que el fluido, logran separarse de este por la acción de la gravedad, así mismo, mediante el IVL podemos saber las características de sedimentabilidad y evaluar si es buena o mala”.

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1. Sólidos suspendidos totales.

“Definido a aquellas sustancias presentes en el agua que tienen un estado sólido cuando se encuentran puras, también relacionado a todo aquello que podemos encontrar suspendido o en la superficie de una muestra, muchas veces relacionado a la turbidez”.

Es el parámetro utilizado de la calidad del agua en el tratamiento de aguas residuales, indica la cantidad de sólidos (medidos habitualmente en miligramos por litro – mg/L). Presentes, en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos, como por ejemplo la filtración en vacío o la centrifugación del líquido. Algunas veces se asocia a la turbidez del agua.

Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio posteriormente se seca.



242. Índice volumétrico de lodos.

“El IVL cuantifica el volumen de estos lodos en mL/g. Se expresa dividiendo la altura (indicada por “ml” de la interfaz sólida) en un cilindro graduado de 1000 mL después de que la solución mezclada se haya asentado en el reactor dual durante 30 minutos por la masa de los sólidos expresada en gramos”.

“La demanda bioquímica de oxígeno, DBO, es causada por la materia orgánica arrojada a las masas y corrientes de agua, la cual se constituye en el alimento para las bacterias que se reproducirán rápidamente. Estas bacterias en condiciones aerobias, consumirán oxígeno, causando la disminución del OD”.

“La DBO se define como la cantidad de oxígeno necesaria para descomponerla materia orgánica en las aguas residuales mediante la acción de bacterias en condiciones aeróbicas. La DBO es causada por la respiración bacteriana y se detendrá cuando la materia orgánica se haya agotado por completo”.

“La DBO se efectúa a 5 días y a 20 °C, y se denota con el símbolo DB05. Sin embargo, pueden realizarse a diferentes tiempos, por ejemplo, la DBO7 es la demanda medida a los 7 días, y la DBO11 (DBO última o total) es la medida de hasta el agotamiento total de la MO, lo que usualmente toma de 20 a 30 días” (MIRANDAN. 2010).



243. Oxígeno disuelto.

“El OD es uno de los principales parámetros en el tratamiento de aguas residuales (TAR) porque muchos de los organismos dependen del OD para mantener los procesos metabólicos, obtener energía y reproducirse. Además, el OD es el principal indicador del estado de contaminación del agua, ya que la MO que contiene un impacto directo en el consumo de oxígeno disuelto” (MIRANDA NORBERTO 2010).

244. Sólidos.

“Los sólidos es otro parámetro de gran importancia a menudo está en forma de partículas en suspensión, por lo que es necesario diferenciar: entre los sólidos suspendidos y los sólidos disueltos”.

Además, los sólidos pueden ser volátiles que indican procedencia orgánica o fijos que se presumen como sólidos inorgánicos.

245. Caudal.

“Es uno de los parámetros más importante, se debe de elegir el sistema de depuración y la dimensión del caudal que se va a tratar, es decir el volumen de agua residual por unidad de tiempo que va ingresar”.

246. Demanda química de oxígeno (DQO).

“Mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente la materia orgánica presente en un agua residual, la medida de la DQO es, en general, superior a la DBO, ya que se puede oxidar una mayor cantidad de compuestos por métodos químicos que por métodos biológicos”



247. Efluente.

“Es el curso del agua que tiene que es vertido en este caso de una PTAR hacia un río o alguna derivación menor”.

248. Estabilización.

“Lodos activos donde los lodos, tanto primarios como secundarios, son continuamente aireados durante largos periodos de tiempo”.

La estabilización de los lodos tiene el objetivo de: reducir la presencia de patógenos, eliminar los olores desagradables, y, reducir o eliminar su potencial de putrefacción.

2.5. Hipótesis

“La gestión de lodos proveniente de la planta de tratamiento de las aguas residuales doméstica es beneficiosa, si el índice volumétrico de lodos es excelente”.

25.1. Operacionalización de variables

25.1.1. Variable independiente

Índice volumétrico de lodo

25.1.2. Variable dependiente

Gestión de lodos de la PTAR

Tabla 2. Operacionalización de las Variables

Fuente: Elaboración propia

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Instrumentos
Dependiente					
Gestión de lodos de la PTAR	Manejo técnico y económico de los sólidos generados en el reactor de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas	Manejo técnico de los lodos de la PTAR	Disminución en la producción de lodos.	mg/L	Reportes del IVL
		Manejo económico de los lodos de la PTAR	Disminución de costos por el transporte de lodos	soles	Información de costos de transporte de lodos
Independientes					
Índice volumétrico de lodos	Es un indicador macroscópico que permite evaluar las características de decantación del lodo.	Indicadores de las características del lodo	Rango de IVL: Excelente, bueno, regular, pobre e inaceptable.	mg/L	Reporte de pruebas de sedimentabilidad y de sólidos suspendidos totales.



CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3. Metodología.

3.1. Tipo de investigación.

La metodología de la presente investigación es de tipo aplicada o tecnológica, pues, “según la mayoría de los estudios en investigación científica distinguen dos tipos:

La investigación básica, pura o fundamental y la investigación aplicada o tecnológica” (Ñaupas Paitán, Mejía Mejía, Novoa Ramírez, y Villagómez Paucar, 2014, p. 91).

De ahí que, la investigación tecnológica se basa en “la investigación básica, pura o fundamental, en las ciencias fácticas o formales, que hemos visto, se formulan problemas e hipótesis de trabajo para resolver los problemas de la vida productiva de la sociedad” (p. 93); es decir, que “está orientada a resolver objetivamente los problemas de los procesos de producción, distribución, circulación y consumos de bienes y servicios, de cualquier actividad humana, principalmente de tipo industrial, infraestructural, comercial, comunicacional, servicios, etc.” (p. 93). Por lo tanto, nuestra investigación busca resolver un problema de gestión suscitada en un proceso de tratamiento para hacer más rentable.



3.2. Diseño de investigación.

3.2.1. Experimental

“El significado especial del experimento es más armonioso con la terminología científica refiriéndose a un estudio en el que una o más variables independientes son manipuladas (supuestas causas antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador” (Hernández Sampieri, 2014, p. 129).

“El experimento es el método o técnica de investigación más refinado para recabar datos y verificar hipótesis. Se dice que es refinado porque utiliza sofisticadas técnicas que se basan en la matemática, en la estadística y en la lógica, como las técnicas estadísticas que se utilizan en el control de variables y en la medición de las diferencias estadísticas de los resultados” (Ñaupas Paitán, Mejía Mejía, Novoa Ramírez, & Villagómez Paucar, 2014, p. 331)

En nuestro caso, el agua con lodos extraídos del tratamiento secundario de la planta de Minera Yanacocha S.R.L. y la manipulación de la variable “tiempo” en la decantación del lodo, son las variables independientes y dependientes para determinar la buena gestión de lodos.

3.3. Área de investigación.

La presente investigación está situada en “Minera Yanacocha S.R.L.”, la cual se ubica en la provincia y departamento de Cajamarca.

Tabla 3. Punto de extracción de la muestra

Fuente: Elaboración propia

PUNTO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
LUGAR DONDE SE SACO LA MUESTRA	6°58'29"S	78°31'07"O	3 986 m.s.n.m



Figura 7. Ubicación del punto de extracción de la muestra

Fuente: (Google Earth).



3.4. Universo.

Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales domésticas.

3.5. Muestra.

Tres litros de muestras de lodos extraídos de la planta de tratamiento secundario de Minera Yanacocha S.R.L.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.6.1. Pruebas de sedimentabilidad

3.6.1.1. Recolección, preservación y almacenamiento de muestras:

Se debe recolectar un volumen de al menos 1 litro por separado en un frasco de plástico o vidrio para evitar que la materia en suspensión se pegue a la pared del recipiente, refrigerar inmediatamente. Analizar lo antes posible, preferiblemente después de recibir la muestra. Si se requiere almacenamiento, almacenar a una temperatura de $\leq 6^{\circ} \text{C}$ durante un máximo de 48 horas.

Procedimiento:

- Las condiciones ambientales no son importantes para realizar esta prueba.
- Homogeneizar la muestra de lodo, no agitar la muestra violentamente, ya que esto puede hacer que el lodo cambie y altere sus características de sedimentación.
- En su propio frasco, dejar que la muestra alcance la temperatura ambiente del laboratorio.



- Llenar la probeta evitando verter la muestra por las paredes del cono, hasta la marca de 1 L.
- Dejar sedimentar por 45 minutos.
- Remover suavemente las paredes de la probeta.
- Dejar sedimentar 15 minutos más.
- Medir la altura de la interface solido – líquido a los siguientes intervalos de tiempo: 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30 y 45 minutos.

Nota: De existir materiales flotables, no deben considerarse como sedimentables.

La secuencia de operación del reactor sigue las fases típicas de operación, utilizando los siguientes tiempos: llenado, 15 minutos, reacción anóxica, 4 h y 30 minutos; "pulido" (aireación/agitación), 15 minutos; sedimentación, 45 minutos, descarga, 15 minutos. Como cada ciclo de operación es de 6 horas se consiguen 4 ciclos/ día.

3.6.2. Toma de muestra de sólidos suspendidos totales

Las muestras deben recolectarse en frascos de plástico o vidrio y refrigerarse brevemente. Posteriormente se debe realizar el análisis lo antes posible. En caso de necesitar almacenamiento, se debe hacer a una temperatura de ≤ 6 °C, el tiempo máximo de almacenamiento es de 7 días.



3.63. Instrumentos

Los Instrumentos empleados fueron los siguientes:

- Recipiente cilíndrico graduado (resolución mínima 50 mL).
- Cronómetro digital que muestre la precisión en segundos.
- Crisol Gooch, de 25 a 40 mL. de capacidad.
- Agitador para la prueba del IVL
- Erlenmeyer con tabuladora lateral, de suficiente capacidad para el tamaño de muestra seleccionado.
- Estufa para secado, para operar en el intervalo de 103 a 105 °C.
- Balanza analítica, con precisión de 0.1 mg.
- Agitador magnético con barra agitadora de teflón.
- Pipetas de punta ancha.
- Probetas.

3.64. Materiales

- Agua residual domestica de Minera Yanacocha.
- Mascarillas.
- Guantes.
- Botas.
- Balde de 20 L.
- Casco.



3.6.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Los datos se procesaron con dos Software, tales como: Excel, Minitab y Google Earth para identificar la ubicación de la planta. Dentro del estudio, se utilizó el análisis de varianza, las comparaciones de Tukey y Fisher, concluyendo se hizo la comparación con los estándares del IVL dando como resultado una buena sedimentabilidad.

El análisis de la varianza (ANOVA) es “una potente herramienta estadística de gran utilidad tanto en la industria para el control de procesos, como en el laboratorio de análisis, para el control de métodos analíticos.

Los ejemplos de aplicación son múltiples, pudiéndose agrupar, según el objetivo que persiguen, en dos principalmente: la comparación de múltiples columnas de datos y la estimación de los componentes de variación de un proceso.” (Boqué & Maroto, 1997).

Luego del análisis de varianza, se utilizó una herramienta para “las comparaciones múltiples para saber cuáles poblaciones son iguales y desiguales, es decir, nos referimos a los métodos de Tukey-Kramer y FisherLSD.” (Quevedo Urías & Pérez Salvador, 2014, p. 329).

En otras palabras, “el método de Tukey se utiliza en ANOVA para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores mientras controla la tasa de error por familia en un nivel especificado.” (Minitab 18, 2021).



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Por otro lado, “el método LSD de Fisher se utiliza en el ANOVA para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores, controlando al mismo tiempo la tasa de error individual en un nivel especificado.

Posteriormente, el método LSD de Fisher utiliza la tasa de error individual y varias comparaciones para calcular el nivel de confianza simultáneo para todos los intervalos de confianza. Este nivel de confianza simultáneo es la probabilidad de que todos los intervalos de confianza contengan la diferencia verdadera.” (Minitab 18, 2021).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Presentación, análisis e interpretación de resultados

La hipótesis “*La gestión de lodos proveniente de la planta de tratamiento de las aguas residuales doméstica **es beneficiosa**, si el índice volumétrico de lodos **es excelente**”.*

Se contrasta de la siguiente manera:

Primero, se demostró la estabilidad del índice volumétrico de las pruebas realizadas, y luego se dedujo la condición del lodo a partir del IVL como indicador de buena calidad.

Estabilidad del IVL

Tabla 4. Resultado de la prueba de sedimentabilidad

Fuente: Elaboración propia

Tiempo (min)	Corrida del volumen (mL/L)	IVL_1(mL/g)	IVL_2(mL/g)	IVL_3(mL/g)	PROMEDIO IVL	Desviación estándar
0	1000	504.54	504.54	504.54	504.54	0
5	200	100.91	55.5	54.49	70.3	26.513
10	115	58.02	50.45	50.45	52.98	4.369
20	100	50.45	45.41	40.36	45.41	5.045
30	100	50.45	40.36	35.32	42.05	7.707
40	95	47.93	40.36	32.8	40.36	7.568
60	95	47.93	39.86	32.8	40.2	7.574

El índice volumétrico de lodos (IVL) se calculó considerando la precipitación del lodo entre el sólido suspendido total del licor mezcla (SSLM); este segundo tiene un valor de 1982.00 mg/L.

Tabla 5. Estadísticos descriptivos: Corrida del volumen (mL/L)

Fuente: Elaboración propia

Variable (min)	Tiempo	Media	Error estándar de la media	Desviación Estándar	Varianza	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
	0	1000	0	0	0	0	1000	1000	0
	5	139.3	30.3	52.5	2761.3	37.71	108	200	92
	10	105	5	8.66	75	8.25	100	115	15
Corrida del volumen (mL/L)	20	90	5.77	10	100	11.11	80	100	20
	30	83.33	8.82	15.28	233.33	18.33	70	100	30
	40	80	8.66	15	225	18.75	65	95	30
	60	79.67	8.67	15.01	225.33	18.84	65	95	30

Tabla 6. ANOVA de un factor para el tiempo vs IVL

Fuente: Elaboración propia

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	536720.66	6	89453.44	679.51	1.97E-16	2.85
Dentro de los grupos	1843.03	14	131.64			
Total	538563.69	20				

Interpretación

Los resultados obtenidos en las pruebas (tabla 4) demuestran que el tiempo influye en la sedimentabilidad, pues, el valor $F_{\text{calculado}}$ es 679.51 mayor al valor F_{tabla} 2.85, el cual indica que existe una diferencia significativa, adicionalmente, el valor $p_{\text{calculado}}$ es 1.97×10^{-16} menor al valor $p_{\text{establecido}}$ 0.05 (tabla 5), esto confirma la diferencia que existen entre el IVL en los diferentes tiempos analizados. En consecuencia, el tiempo influye significativamente en el índice volumétrico de lodo.

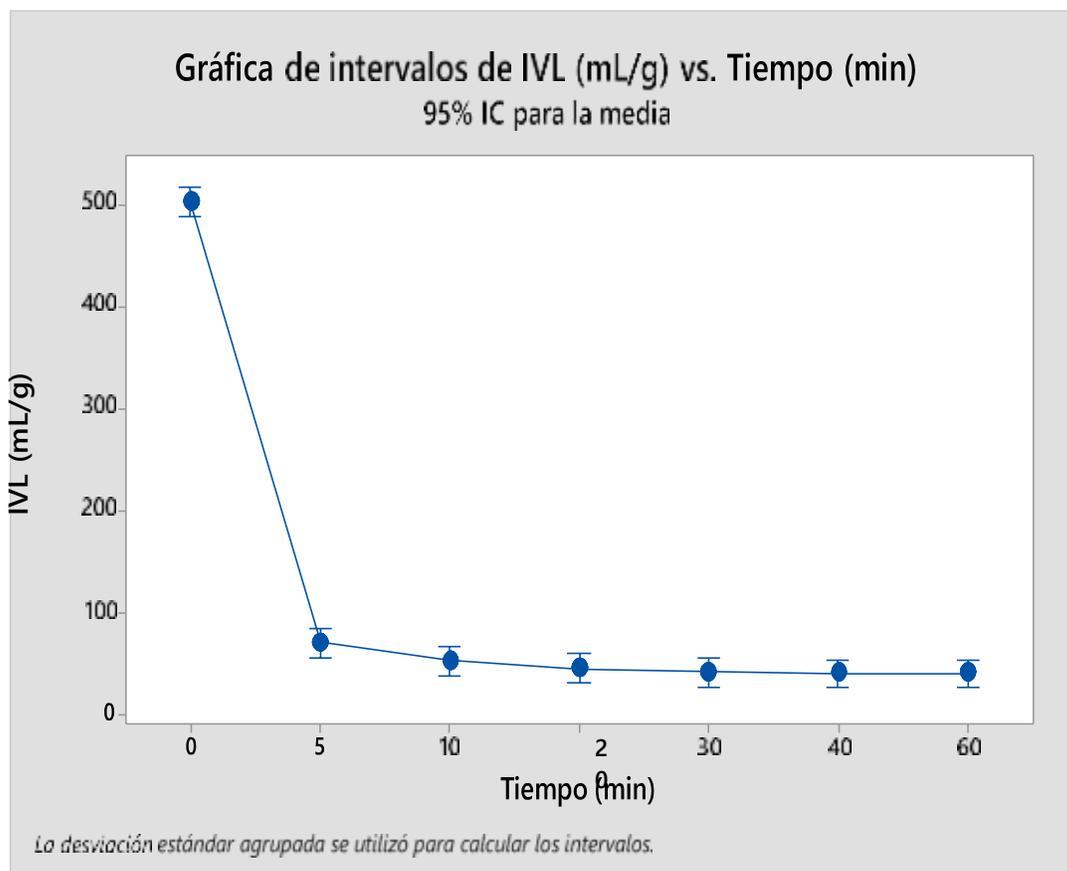


Figura. Comportamiento del IVL en el tiempo
 Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Comparación de medias según Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tiempo (min)	N	Media	Agrupación	
0	3	504.5	A	
5	3	70.3		B
10	3	52.98		B
20	3	45.41		B
30	3	42.05		B
40	3	40.36		B
60	3	40.20		B

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

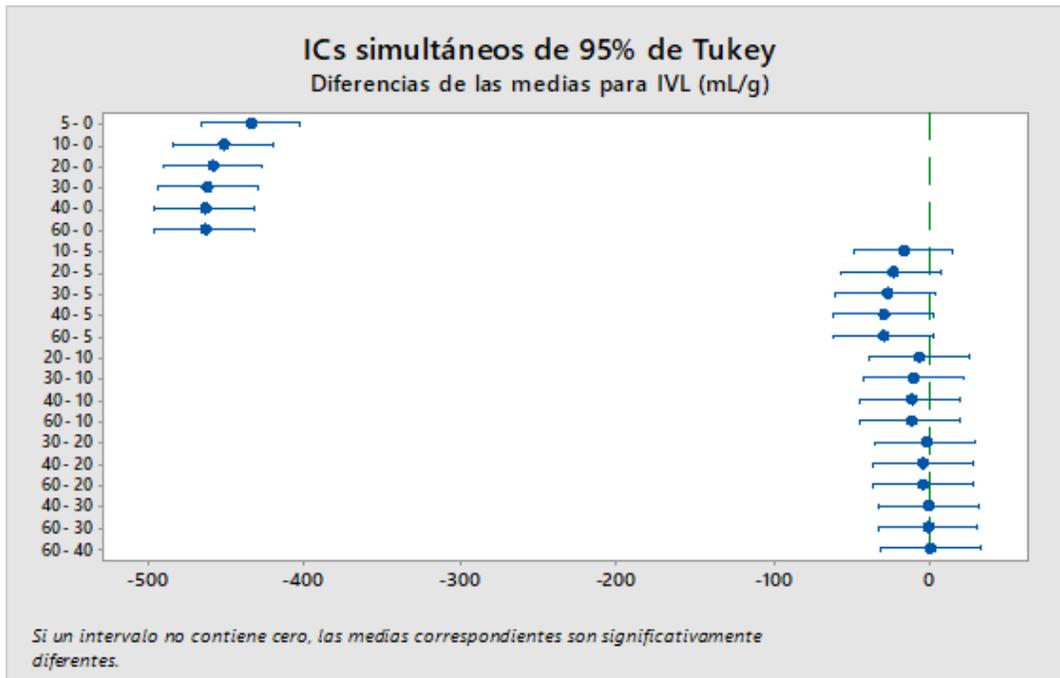


Figura 9. Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Comparación de medias según Fisher

Fuente: Elaboración propia

Tiempo (min)	N	Media	Agrupación		
0	3	504.5	A		
5	3	70.3		B	
10	3	52.98		B	C
20	3	45.41			C
30	3	42.05			C
40	3	40.36			C
60	3	40.20			C

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

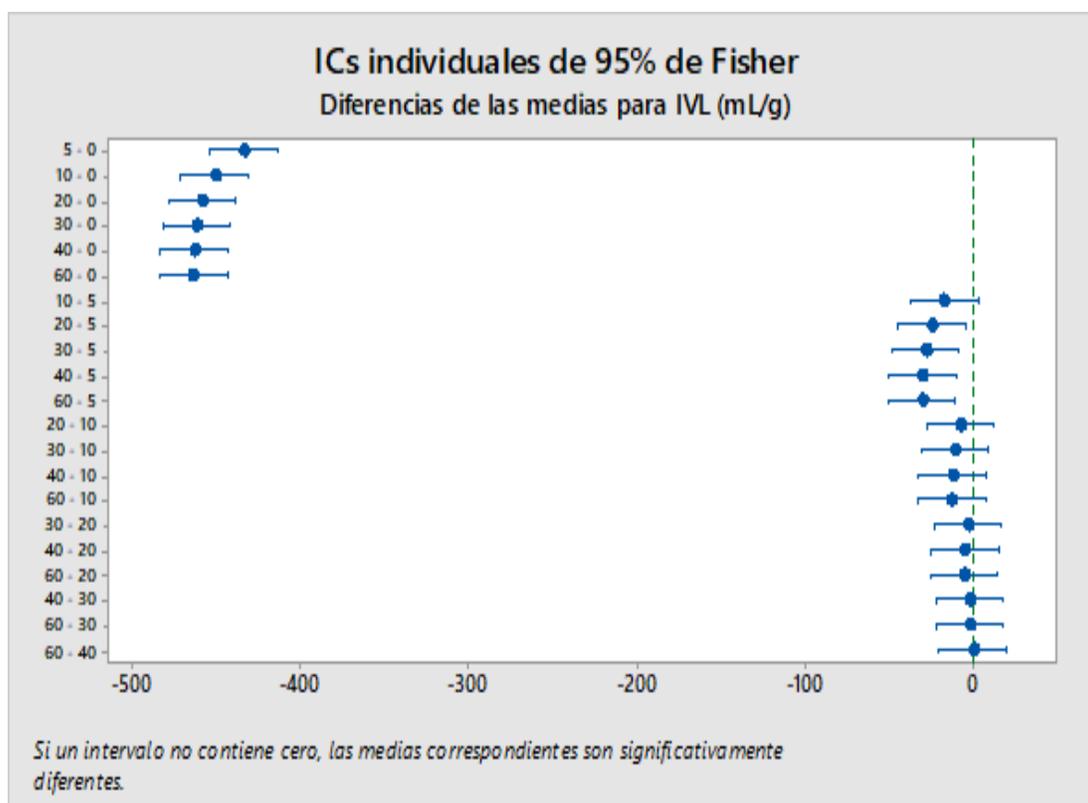


Figura 10. Agrupar información utilizando el método de Fisher y una confianza de 95%.
 Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

La sedimentabilidad del lodo tiene su mayor alcance en un tiempo de 10 min (figura 8), dado que, posterior a los 10 minutos permanece constante, esta se demuestra por la prueba de Tukey (tabla 6 y figura 10) y de Fisher (tabla 7 y figura 10). Según estas pruebas indican lo siguiente, para Tukey: Existe dos diferencias significativas en el tiempo inicial (0) y el minuto 5 y luego permanece constante, no existe diferencia (figura 9). Sin embargo, para Fisher no es así, pues, nos muestra 3 diferentes bloques, entre ellos el tiempo inicial (0), los minutos 5 y 10, y los minutos finales (20, 30, 40 y 60), es decir, nos indica con mayor precisión el efecto que el tiempo tiene sobre el IVL (figura 10). Por lo tanto, se concluye que en el minuto 10 el lodo precipita en mayor proporción y luego permanece constante (figura 8).

4.1. Calidad de Sedimentabilidad del lodo

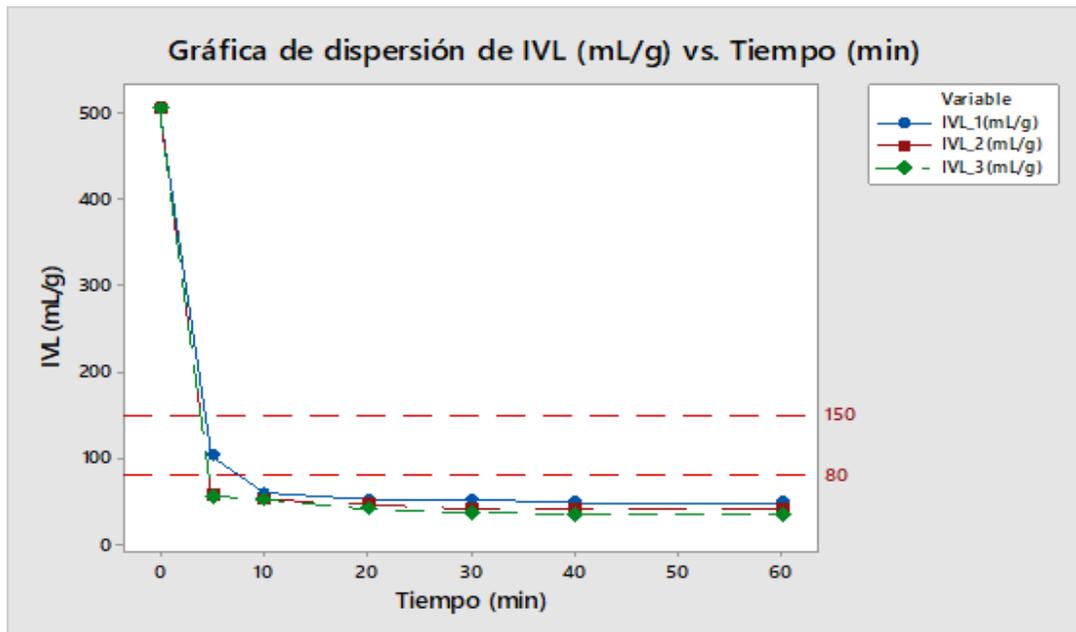


Figura 11. Comparación del IVL vs Rango de IVL de buena calidad.

Fuente: Elaboración propia.



Interpretación:

La comparación del índice volumétrico de lodo de la planta estudiada tiene una excelente sedimentabilidad, ya que, el IVL del sistema es 42.05 mL/g a un tiempo de 30 min menor al IVL estándar de 80 mL/g, pues indica que tiene buenas condiciones para sedimentarse. Según la figura 11, se visualiza que, en un tiempo de 10 min, el sólido ya se mantiene constante, es decir, ya no baja más de lo esperado. Por lo tanto, se demuestra que la sedimentación es óptima.

4.2. Evaluación económica del transporte de los lodos

Los lodos son considerados como residuos peligrosos por lo cual deben disponerse en rellenos de seguridad, mas no en rellenos sanitarios y es por eso la importancia de evaluar el costo del transporte de los lodos.

La planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de Minera Yanacocha extrae sus lodos directamente del reactor biológico hacia las cisternas, sin una previa decantación y es allí donde se encuentra la oportunidad de mejorar la gestión mediante la disminución del costo asignado al transporte de los lodos. En la figura 8 podemos ver la disminución del volumen en función al IVL.

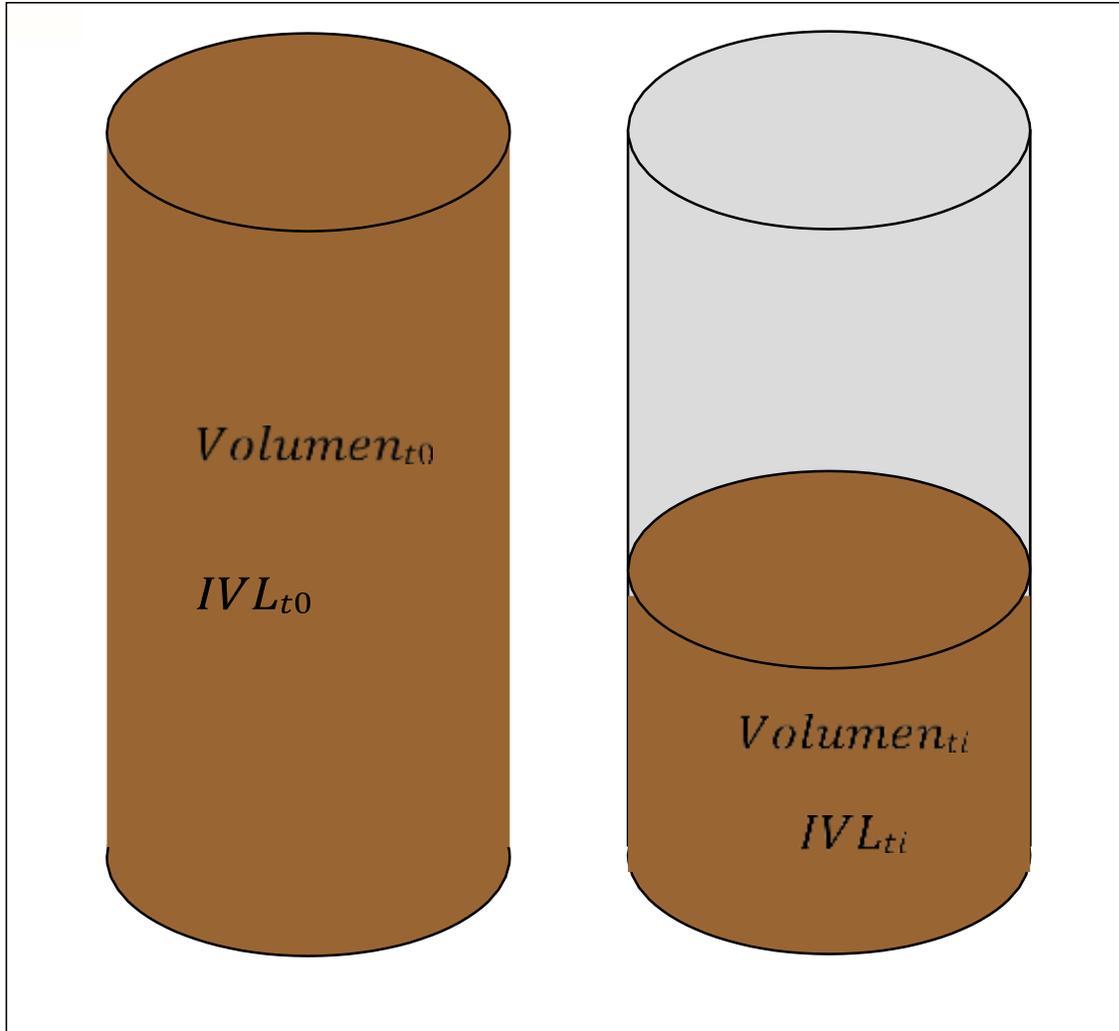


Figura 12. Representación de la disminución del volumen de lodos.

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar una evaluación más exhaustiva usaremos la clasificación de Fisher por ser más rigurosa que la de Tukey, el costo de transporte es directamente proporcional al volumen de traslado, por lo tanto, se evalúa el porcentaje de disminución del volumen, lo cual representa el porcentaje de ahorro debido al transporte del lodo residual hacia un relleno de seguridad. Para la disminución del volumen realizamos el cálculo considerando una base de volumen de 1000 mL, lo cual se muestra en la tabla 8, la determinación de los volúmenes de lodos



para cada tiempo se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{Volumen_{t=0}}{IVL_{t=0}} = \frac{Volumen_{t=i}}{IVL_{t=i}}$$

La disminución de volumen se realizará con la siguiente ecuación:

$$\text{Disminución (\%)} = \left(\frac{V_0 - v_f}{V_0} \right) * 100\%$$

de Volumen

Tabla 9. Resultado de volumen de lodos para diferentes tiempos

Fuente: Elaboración propia

Tiempo	IVL (mL/g)	Agrupación			Volumen de Lodos (mL)	Disminución de Vol. (%)	Promedio de disminución
(min)							
0	504.5	A			1000.0	0.0	
5	70.30		B		139.3	86.1	B: 87.8 %
10	52.98		B	C	105.0	89.5	
20	45.41			C	90.0	91.0	C: 91.2 %
30	42.05			C	83.3	91.7	
40	40.36			C	80.0	92.0	
60	40.20			C	79.7	92.0	

Tabla 10. Datos iniciales para el cálculo de presupuesto

Fuente: Elaboración propia

Mes	30	Días
Descarga	3	Días
Descarga/días	10	veces
Cisterna	1.80	m ³
Costo de Cisterna	\$2,400.00	dólares
Sedimentador	50	m ³
Volumen producido/3 días	10	m ³

Tabla 11. Costos de Yanacocha basados en el porcentaje de disminución del volumen de lodos.

Fuente: Elaboración propia

Tiempo (min)	Disminución de Volumen (%)	Lodos depurados (m ³)	Cantidad de cisternas Requerida	Cantidad de cisternas Real	Costos de L. depurados por Cisterna/descarga	Costos de L. depurados/mes	Costos de L. depurados/año	Ahorro en %	Ahorro en \$
sin TVL	0%	10.00	5.56	6.00	\$ 144 000	\$ 144 000	\$ 1 728 000	0%	\$0.00
10	87.8%	1.22	0.68	1.00	\$ 2 400	\$ 24 000	\$ 288 000	83%	\$ 1 440 000
30	91.2%	0.88	0.49	1.00	\$ 2 400	\$ 24 000	\$ 288 000	83%	\$ 1 440 000

Interpretación:

Según la tabla 8 podemos notar la disminución del volumen de lodos para las diferentes clasificaciones según la herramienta estadística de Fisher. El costo de transporte es directamente a la cantidad de volumen de lodo, por lo tanto, la disminución del volumen será directamente proporcional al ahorro por el transporte.



En base a las agrupaciones, se determina el costo para cada agrupación, obteniendo un 91.2 % de ahorro y con un tiempo medio de 35 minutos de sedimentación (figura 10); por lo tanto, el ahorro que se tiene es significativo en consecuencia, se demuestra que el ahorro el indicador de IVL es importante para la buena gestión de lodos depurados.

4.3. Discusión

Los efectos negativos de los lodos de depuración de las aguas residuales domésticas ocasionan “riesgos ambientales críticos” (M. Ghazy, T. Dockhorn, & N. Dichtl, 2009, p. 270), si estos no son gestionados correctamente. Por ello, se plantean métodos eficientes para “aprovechar los flujos logísticos para mejorar el proceso de gestión de lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales” (Henríquez, Fontes, Camanho, Silva, & Amorim, 2020, p. 1), los cuales ayudan a “contribuir a las mejoras de la sostenibilidad (por ejemplo, reducción de costos y beneficios ambientales y sociales) dentro del sistema.” (p. 1).

En efecto, la buena gestión de los lodos de depuración produce beneficios ambientales y económicos, para esta evaluación se requieren de indicadores e índices de desempeño para determinar la calidad del lodo y el estado del sistema. (C. Silva, J. Saldanha Matos, & M.J. Rosa, 2016, p. 1), de modo que el índice que mide el rendimiento y las condiciones del lodo es el índice volumétrico de lodos, ya que, indica el volumen de lodo por gramos generado en un tiempo determinado (figura 5); por esta razón, el lodo debe cumplir con



el rango de sedimentación óptima o de excelencia.

Según se muestra en nuestros resultados, *el lodo de aguas residuales domésticas de Minera Yanacocha tiene una excelente sedimentación*, ya que, se encuentra por debajo del rango de excelencia, es decir, entre 80 y 150 mL/g, esto quiere decir, que “las características físicas de los sólidos de lodos activados” (Richard I. Dick & P. Aarne Vesilind, 1969) tienen un tamaño óptimo para la sedimentación y por ende, “las características del lodo en la puesta en marcha son de vital importancia ya que influyen en la calidad del lodo desarrollado durante la operación del reactor y también en las comunidades microbianas retenidas” (Pragya Gupta , T.R. Sreekrishnan, & Shaikh Z. Ahammad, 2016). Por lo tanto, la excelente sedimentación no solo muestra el buen estado del reactor biológico sino también la calidad y estabilidad del lodo para su posterior tratamiento, entonces, la disminución del volumen, disminuye los costos. Tal como dice Martinez Cist, (2008) en su Tesis “Reducción de la humedad del lodo de la planta de tratamiento de aguas urbanas vía filtración” alcanzando una disminución de costos significativos” (p. 2); dado que, él realizó un estudio con el objetivo de disminuir el volumen de lodos, llegando a la conclusión que se puede eliminar un 66 o 67% de lodos, al reducir la cantidad que se produce en una planta, es importante aclarar que él utiliza un hidratador para lograr un mejor costeo. En nuestro caso, solo nos limitamos a determinar el volumen y la reducción de estas. (91.2%) mediante el IVL.



Otro investigador, Bastías Toro, (2017) en su investigación “Disminución del volumen de lodos de la planta de tratamiento de agua residual a partir de nutrientes” determinó un IVL del 70%, indicando que tiene una buena sedimentabilidad. Esto confirma nuestros resultados obtenidos, alcanzando una sedimentabilidad de 91.2%, con un IVL de 42.05 en 30 minutos encontrándose dentro del rango de excelencia, demostrando que el lodo de origen residual doméstico tiene una alta sedimentación, el cual con una buena gestión puede producir beneficios a la empresa.

Por lo tanto, *el volumen del lodo que se produce en el sedimentador es bajo y por ende genera bajos costos que beneficia económicamente a la empresa.* Según G Mitchell y JE Beasley (2011) mencionan que los costos de los lodos se componen de: “a) costos fijos asociados a las obras (satélite, traslado y tratamiento final); b) costos variables de tratamiento y c) costo de transporte” (p. 944). Es decir, que una evaluación de lodos que tiene como objetivo la buena gestión debe considerar estos criterios como puntos de partida al momento de decidir el destino final de los lodos; por tal razón, el tipo de tratamiento, el traslado de este (costo/m³) y el porcentaje del volumen del lodo depurado (tabla 9) son indicadores de mucha relevancia.

Leyva Cojal, (2018) en su Tesis” Implementación de un equipo deshidratador de lodos para reducir costos en la planta de tratamiento de aguas residuales



**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMOURRELO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

domesticas de Minera Coimolache” indica, el costo por m^3 es de 382 nuevos soles, teniendo un gasto de S/ 825 120 anual en MINERA COIMOLACHE S.A. y con la obtención de este equipo lograría un ahorro anual de S/ 330 000 Sin embargo, MINERA YANACocha paga por cisterna un valor equivalente de \$/ 2 400 por un volumen de $1.80 m^3$ que es el volumen de cada cisterna (tabla 10). Por lo tanto, coincide con nuestra investigación donde logramos un ahorro de \$1 440 000 (tabla 11), en tal sentido la disminución del volumen de lodo tiene un impacto significativo y beneficioso en lo económico.

Por último, la empresa de Minera Yanacocha tiene un ahorro del 83% para un sedimentador de $50 m^3$ donde se deposita el lodo, adicionalmente, este cálculo está basado para una de las “12 plantas de tratamiento de aguas residuales que tiene en operación” (Yanacocha, p. 24).



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se realizaron pruebas de sedimentabilidad del lodo proveniente de las plantas de tratamiento de Minera Yanacocha, en 6 diferentes tiempos y calculando el IVL. Los resultados muestran que en un tiempo de 30 minutos disminuye el volumen de lodos a 42.05 mL/g y luego permanece constante según las pruebas de Tukey y Fisher.
- Según los costos obtenidos a partir del IVL, se manifiesta que existe un ahorro del 83%, pues, la cantidad de cisternas que son requeridas para transportar el lodo disminuye considerablemente, dado que, al extraer el lodo de la planta directamente, esta se mezcla con el agua tratada y su volumen aumenta, ocasionando el requerimiento de más cisternas. No así, cuando el lodo es llevado a un tanque donde se precipitan a un tiempo de 30 a 40 minutos y el volumen de lodos disminuye. Tal como se indica en las pruebas de sedimentabilidad.
- Al determinar la diferencia significativa entre los tiempos evaluados (valor $F_{calculado}$ es 679.51 mayor al valor F_{tabla} 2.85, el cual indica que existe una diferencia significativa y se confirma con el valor $p_{calculado}$ es 1.97×10^{-16} menor al valor “p” establecido 0.05), se afirma que el tiempo influye en la sedimentabilidad y con ello, se determina el tiempo que demora el lodo en asentarse, es decir, que a un tiempo de 30 a 40 minutos el volumen de lodo disminuye el 91.2 % del volumen total. A diferencia de 10 minutos que disminuye un 87.8%



- El IVL es un parámetro que ayuda, no solo a controlar la sedimentabilidad del decantador, sino que es un indicador de buena gestión de lodos, pues mediante esta podemos determinar el volumen producido y la calidad del lodo, de ahí que, es importante determinarlo para todas las plantas de tratamiento de agua residual. El ahorro que tiene la empresa Minera Yanacocha al aplicar los índices volumétricos de lodos (IVL) es de \$1 440 000 a un IVL de 42.05 mL/g, el cual beneficia económicamente a esta entidad.



5.2 Recomendaciones

- Realizar la buena gestión de lodos para los que provienen de minería, ya que su valor económico es mayor.
- Realizar pruebas de IVL de manera constante ya que ayudaría a obtener una cantidad más exacta para una buena gestión de lodos.

REFERENCIAS

- AEET. (2004). *Ecología de lagunas y humedales*. Asociación española de ecología terrestre.
- Aguirre, B. M. (2016). *Estudio fisicoquímico de la calidad del agua del río Caca, región Lima*. Lima - Perú.
- Alcalá, V. (2016). *MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO PERENE, CHANCHAMAYO*. Huancayo - Perú.
- Alcalá, V. E. (2016). *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua en la cuenca del río Perene, Chanchamayo*.
- Alvariño, C. R. (2008). Aguas residuales generadas en hospitales. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 5.
- ANA. (2016). *Protocolo Nacional de monitoreo de aguas superficiales*.
- Bellido, E. R. (2017). *EVALUACIÓN LIMNOLÓGICA Y ESTUDIO MORFOMÉTRICO DE LA REPRESA KESOCOCHA CON FINES PISCÍCOLAS (Distrito de Chamaca, Provincia de Chumbivilcas, Región del Cusco), 2017*. Cusco- Perú.
- Bertoni, J. C. (2020). EL día del agua en tiempos de corona virus. *CIC - cuenca de plata*, 5.
- C. Silva, J. Saldanha Matos, & M.J. Rosa. (2016). Performance indicators and indices of sludge management in urban wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management*, 1.11, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.056>.
- Cárdenas, S. P. (2017). *Evaluación de la calidad de agua de lagunas de la reserva paisajística Nor Yauyos Cochas como base para proponer estrategias de manejo para su conservación*. Huancayo - Perú.
- Caro, O. W. (2015). *ANÁLISIS Y PLAN DE GESTIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL HOSPITAL REGIONAL DE CAJAMARCA - 2015*. Cajamarca_ Perú.



Cepeda, S. A. (2018). *CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS. Dinámica Ambiental - Línea de investigación: Prevención y control de la contaminación.*

Cereceda, R. (2020). Coronavirus: cuando el mundo se para, el planeta respira.

Contreras, B. E., & Olarte., S. B. (2016). *Estudio Físico-Químico y Bacteriológico, de la Quebrada Zaragoza, Ciudad de Nauta - Loreto. Iquitos - Perú.*

Cusquisiban, K., & Baca, R. (2018). *Calidad fisicoquímica y microbiológica del río Chonta impactadas por el vertimiento de aguas residuales urbanas e industriales en el distrito de Baños del Inca - Cajamarca, 2018. Cajamarca - Perú.*

Edward. (1987). *Tratamiento de aguas residuales.* México: Continental-

G Mitchell, & JE Beasley. (2011). Optimisation of sludge treatment and transport. *Journal of the Operational Research Society* 62, 939-948, doi:10.1057/jors.2010.44.

Garfield, F. (1993). *Principios de garantía de calidad para laboratorios analíticos.* New York: 21th Edition. New York.

Giunta, S., & Camacho, M. (2011). *Evaluación de Algunos Parámetros de Calidad del Agua en el Embalse La Ciénaga, El Carmen, Jujuy, Argentina. . Argentina.*

Henriques, A., Fontes, M., Camanho, A., Silva, J., & Amorim, P. (2020). Leveraging logistics flows to improve the sludge management process of wastewater treatment plants. *Journal of Cleaner Production* 276, 1-8, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122720>.

Herrera, C., & Ramos, J. (2019). *“DEPURACIÓN DE CONTAMINANTES PRESENTES EN EFLUENTES DE CENTROS DE SALUD 1-4 MEDIANTE PROCESOS OXIDATIVO AVANZADOS FOTO-FENTON EN LA MICRO RED AREQUIPA-CAYLLOMA, EN EL CENTRO FOTO-FENTON EN LA MICRO RED AREQUIPA- CAYLLOMA, EN EL CENTRO DE SALUD DE HUNTER”.* Arequipa.

Ingenieros, H. (2014). *Manual de operación, mantenimiento y control de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.* Colombia.

León, P. P. (2010). Metodología de la Investigación II. *Diseños de investigación.*

Limon Macias, J. A. (2013). *Lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales ¿Problema o recurso? Guadalajara.*

Limon Macias, J. G. (2013). *Lodos en plantas de tratamiento de aguas residuales.*



- M. Ghazy, T. Dockhorn, & N. Dichtl. (2009). Sewage Sludge Management in Egypt: Current Status and Perspectives towards a Sustainable Agricultural Use. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, Vol:3, No:9, 270-278.
- Martel, A. B. (Sf). *Aspectos Fisicoquímicos de la calidad de agua*.
- Meneses, C. V. (2010). *Análisis de bacterias comunes en las plantas de tratamiento de diferentes efluentes que son indicadores de alta eficiencia en remoción de contaminantes*. Costa Rica.
- Minitab 18. (03 de 07 de 2021). *¿Qué es el método de Tukey para comparaciones múltiples?* Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/what-is-tukey-s-method/>
- Morales Benavides, G. R. (2014). *Evaluación de la Estabilidad de un sistema de Lodos Activados mediante Indicadores Fisicoquímicos y Biológicos*. Chile.
- Murgueitio, E. (2013). *Caracterización fisicoquímica de las aguas de la laguna de Mapaguiña, provincia de Chimborazo*. Chimborazo.
- Neira, E. A. (2014). *Contaminación por materia orgánica en el río Totorococha de la ciudad de Juliaca*. Puno - Perú.
- Ñaupas Paitán, H., Mejía Mejía, E., Novoa Ramírez, E., & Villagómez Paucar, A. (2014). *Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Penagos, D., López, J., & Chaparro, T. (2012). REMOCION DE LA MATERIA ORGANICA Y TOXICIDAD EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS APLICANDO OZONO. *SCIelo*, 7.
- Pragya Gupta, T.R. Sreekrishnan, & Shaikh Z. Ahammad. (2016). Role of sludge volume index in anaerobic sludge granulation in a hybrid anaerobic reactor. *Chemical Engineering Journal*, Volumen 283,338-350, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.07.058>.
- Quevedo Urías, H. A., & Pérez Salvador, B. R. (2014). *Estadística para ingeniería y ciencias*. México: Grupo editorial patria.
- Rabanal, M. R. (2018). Aves de Cajamarca - Birds of Cajamarca - PERÚ. *Aves de Cajamarca*, 20.
- Ramirez, C. E. (2001). *Fundamentos teóricos de lodos activados y aireación extendida*. Chile.



- Ramírez, K. (2016). *CALIDAD FÍSICA, QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE CONSUMO HUMANO EN EL SECTOR DE TAPARACHI III DE LA CIUDAD DE JULIACA, PUNO - 2016*. Puno - Perú.
- Richard I. Dick, & P. Aarne Vesilind. (1969). The Sludge Volume Index: What Is It? *Journal (Water Pollution Control Federation)*, Vol. 41, No. 7, 1285-1291, <http://www.jstor.org/stable/25036678>.
- Rios, L. M. (2015). *Calidad del recurso hídrico de la laguna Los Milagros – José Crespo y Castillo*. Tingo Mari.
- Roque, K. P., & Agapito, F. P. (2016). *Características bioecológicas de la laguna Llamacocha y su uso potencial (verano 2014), distrito de Conchucos (Ancash, Perú)*. Chimbote - Perú.
- Sequieros, O., & Alfaro, B. (2018). *Evaluación de la calidad de agua para consumo humano de la comunidad de Llanucancho del distrito de Abancay, provincia de Abancay 2017*. Abancay - Perú.
- Vásquez, M. (2017). *Efecto de los microorganismos eficaces en la calidad fisicoquímica y microbiológica de los lixiviados del relleno sanitario municipal de Cajamarca*. Universidad Nacional De Cajamarca. Escuela De Postgrado. Cajamarca. Perú.
- Vela, R. J. (2016). *PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS, PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA MORONACOA, ÉPOCA DE TRANSICION CRECIENTE-VACIANTE. IQUITOS. PERU. 2016*. Iquitos - Perú.
- Villegas, S. D. (2017). *EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DE UN EFLUENTE TRATADO DE AGUA RESIDUAL HOSPITALARIA ACOPLANDO UN TRATAMIENTO CON ZEOLITA NATURAL MODIFICADA CON HEXADECILTRIMETILAMONIO (HDTMA)*. Toluca, Estado México.



LISTA DE ABREVIATURAS

SST: Sólidos suspendidos totales

DQO: Demanda química de oxígeno

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales

OD: Oxígeno disuelto

SSV: Sólidos suspendidos volátiles

SSVLM: Sólidos suspendidos volátiles del licor mezcla

DBO: Demanda biológica de oxígeno

IVL: Índice volumétrico

SSLM: Sólidos suspendidos del licor mezcla

OMS: Organización mundial de la salud

RAS: Lodo de retorno activado

WAS: Lodo activado residual

SRT: Tiempo de retención del lodo

TAR: Tratamiento de aguas residuales

SD: Sólidos disueltos

SV: Sólidos volátiles



GLOSARIO

Estabilización de lodo: “El proceso de estabilización de lodo tiene la ventaja de reducir la calidad y volumen del lodo, promover el drenaje y reducir los patógenos, olores y atracción”.

Índice volumétrico de lodos: El IVL se usa para determinar si se está produciendo un aumento de volumen del lodo, denominado lodo floculante o Bulking”. “Este fenómeno, se caracteriza por producir un IVL mayor a 100 mL/g SST, junto a la presencia excesiva de bacterias filamentosas”.

Proceso de lodos activados: El agua residual entra al reactor donde se encuentra el cultivo de microorganismos, este está constituido principalmente por bacterias en suspensión, las cuales son conocidas como licor mezclado.

Sedimentabilidad: La sedimentación consta de separar por actividad de la gravedad de las partículas suspendidas donde su peso determinado es superior que el H₂O y no logran retenerse las unidades de pretratamiento ya sea por su finura o densidad y menos aún se puedan desunir por flotación.

ANEXOS

Anexo A



Figura 13. PTAR de Minera Yanacocha



Figura 14. Tesistas haciendo el reconocimiento de la PTAR de la empresa Minera Yanacocha.



Figura 15. Tesistas observando el procedimiento de lodos en el tratamiento secundario que se le da en la PTAR de Minera Yanacocha.



Figura 16. Punto de donde se tomó la extracción de muestra para realizar la sedimentación del lodo mediante el IVL.



Figura 17. Tesista realizando el procedimiento de llenado en la probeta del lodo que se quiere caracterizar y analizar.



Figura 18. Dejamos las probetas en reposo durante 30 minutos mientras el lodo sedimenta.



Figura 19. Luego de los 60 minutos, testistas realizan la lectura del volumen del lodo sedimentado.



Figura 20. Tesistas luego de realizar la lectura y evaluación del lodo sedimentado.



HOJAS DE DATOS DE RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN EL LABORATORIO INNODEVEL S.A.C



LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL

INFORME DE ENSAYO N° IE1006211607
REV. 00

DATOS DEL CLIENTE

Solicitante: Rommer Eisen Chavez Medina
RUC / DNI: 71319889
Dirección fiscal: ---
Representante: Cristian Percy Salazar Saldarña
Correo Electronico: Eisen54@gmail.com
Teléfono: 964 957 298
Proyecto: "GESTION DE LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL INDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS, MINERA YANACOCHA S.R.L."

CONTROL DEL LABORATORIO

Fecha de recepción: 10/06/2021
Fecha de ejecución: 10/06/2021
Fecha de reporte: 11/06/2021
Cadena de custodia: ---

MUESTREO

Muestreo realizado por: Innodevel
N° de muestras: 1
Procedencia: Agua residual doméstica

ESTACIÓN DE MUESTREO

IVLY-001

Jefe del Laboratorio de Ensayos



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL

INFORME DE ENSAYO N° IE1006211607
REV. 00

RESULTADOS

IDENTIFICACIÓN CLIENTE		IVLY-001	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO :		10-0601	
FECHA DE MUESTREO		10/06/2021	
HORA DE MUESTREO		16:07	
MATRIZ		AR	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO
Sólidos suspendidos totales	mg/L	±	1982



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL

INFORME DE ENSAYO N° IE1006211607
REV. 00

REFERENCIA DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Parámetro	Método de ensayo
2540 B. Total Solids Dried at 103-105°C	SST	LE-ME-012

OBSERVACIONES