

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**DOCTORADO EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO**  
**AMBIENTE**



**TESIS**

**APLICACIÓN DE PIEDRA PÓMEZ COMO FILTRO EN EL PROCESO DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES VERDES DE UN CENTRO DE  
BENEFICIO ANIMAL PUNO**

**PRESENTADA POR:**

**ARQUÍMEDES LEÓN VARGAS LUQUE**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO  
AMBIENTE**

**PUNO, PERÚ**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**ESCUELA DE POSGRADO**



**DOCTORADO EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO  
AMBIENTE**

**TESIS**

**APLICACIÓN DE PIEDRA PÓMEZ COMO FILTRO EN EL PROCESO DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES VERDES DE UN CENTRO DE  
BENEFICIO ANIMAL PUNO**

**PRESENTADA POR:**

**ARQUÍMEDES LEÓN VARGAS LUQUE**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

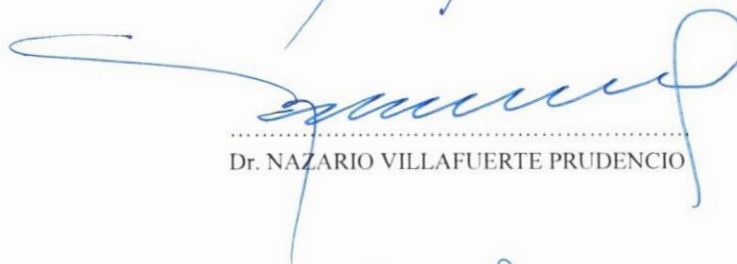
APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE



Dr. FAUSTINO ADOLFO JAHUIRA HUARCAYA

PRIMER MIEMBRO



Dr. NAZARIO VILLAFUERTE PRUDENCIO

SEGUNDO MIEMBRO



Dra. SOFÍA LOURDES BENAVENTE FERNÁNDEZ

ASESOR DE TESIS



Dr. ÁNGEL CANALES GUTIERREZ

Puno, 23 de agosto de 2019

**ÁREA:** Ciencia, tecnología y medio ambiente.

**TEMA:** Tratamiento de aguas residuales.

**LÍNEA:** La tecnología moderna y la tradicional en el mundo andino.

## DEDICATORIA

A mi madre que a pesar su edad su apoyo es imperecedero, a mis hijos y esposa que son la motivación, para continuar en el camino del horizonte infinito.

## AGRADECIMIENTOS

- A la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano, Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- A la gerencia General del Camal Azoguini S.R.L, sus directivos, profesionales y trabajadores, por su benevolencia, facilidades y apoyo para desarrollar la presente investigación.
- Al Dr. Ángel Canales Gutiérrez, asesor de tesis, por su orientación.

**ÍNDICE GENERAL**

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1

**CAPÍTULO I****REVISIÓN DE LITERATURA**

1.1. Marco teórico	2
1.1.1. Contaminación por aguas residuales	2
1.1.2. Filtros para tratamiento de aguas residuales	2
1.2. Antecedentes	3

**CAPÍTULO II****PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2.1. Planteamiento del Problema	9
2.2. Interrogantes	10
2.2.1. Interrogante general	10
2.2.2. Interrogantes específicas	10
2.3. Hipótesis	11
2.3.1. Hipótesis general	11
2.3.2. Hipótesis específicas	11
2.4. Objetivos	11
2.4.1. Objetivo general	11
2.4.2. Objetivos específicos	11

**CAPÍTULO III****METODOLOGÍA**

3.1. Lugar de estudio	13
3.2. Población	14
	iii

3.3.	Muestra	14
3.4.	Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	15
3.4.1.	Diseño del experimento	15
<b>CAPÍTULO IV</b>		
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		
4.1.	Comparar la retención de sólidos suspendidos totales (mg/L) en los filtros de concentración variada de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ), en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes, provenientes de un camal de beneficio animal.	22
4.2.	Contrastar la eficiencia de los tratamientos de remoción de DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) y $\text{DBO}_5$ ( $\text{mg}/\text{L}$ ) de las aguas residuales verdes provenientes de un camal de beneficio animal, filtradas en concentraciones variadas de piedra pómez en relación al caudal y tiempo.	26
CONCLUSIONES		35
RECOMENDACIONES		36
BIBLIOGRAFÍA		37
ANEXOS		43

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Características de Piedra Pómez empleado como filtro, en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes del camal Azoguini, (noviembre 2018 a agosto 2019).	14
2. Diseño ANDEVA para el análisis bioestadístico, en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes con piedra pómez del camal Azoguini, (noviembre 2018 a agosto 2019).	19
3. Resultados de retención de SST de aguas residuales verdes con tratamiento de piedra pómez del Camal Azoguini, (noviembre 2018 a agosto 2019).	23
4. Resultados de DQO de aguas residuales verdes con tratamiento de piedra pómez del Camal Azoguini, (noviembre 2018 a agosto 2019).	26
5. Análisis de DBO <sub>5</sub> de aguas residuales verdes con tratamiento de piedra pómez del Camal Azoguini, (noviembre 2018 a agosto 2019).	30
6. Resumen de Análisis de SST de aguas residuales verdes con tratamiento de piedra pómez del Camal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)	52
7. Análisis de DQO y DBO <sub>5</sub> de aguas residuales verdes con tratamiento de piedra pómez del Camal Azoguini, (noviembre 2018 a agosto 2019)	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Ubicación del Camal Azoguini	13
2. Ubicación de la cantera de piedra Pómez	15
3. Diseño de investigación sobre uso de piedra pómez como filtro para el tratamiento de aguas residuales verdes de un centro de beneficio animal, para disminuir la concentración de sólidos totales y mejorar la eficiencia en la remoción de DQO, DBO <sub>5</sub> (noviembre 2018 a agosto 2019).	16
4. Diseño de investigación sobre tratamiento de aguas residuales verdes del centro de beneficio animal Azoguini, tratadas con filtro de piedra pómez (kg/cm <sup>3</sup> ), noviembre 2018 a agosto 2019).	18
5. Diseño de investigación sobre tratamiento de aguas residuales verdes del centro de beneficio animal Azoguini, tratadas con filtro de piedra pómez (kg/cm <sup>3</sup> ), (noviembre 2018 a agosto 2019).	20
6. Comparación de la disminución de sólidos suspendidos totales (mg/L) en relación a la concentración de piedra pómez (kg/cm <sup>3</sup> ) en el tratamiento de aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto 2019).	23
7. Figura de contraste no muestra diferencia en la concentración de sólidos suspendidos totales (mg/L) en relación al caudal en el tratamiento de aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto 2019).	24
8. Disminución de los promedios de sólidos suspendidos totales (mg/L) en relación al tiempo la concentración de piedra pómez (kg/cm <sup>3</sup> ) en el tratamiento de aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto 2019).	25
9. Disminución de demanda química de oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L) en relación a los tratamientos con piedra pómez (kg/cm <sup>3</sup> ) en las aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto 2019).	27
10. Comparación de la disminución de la demanda química de oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L) en relación a los tratamientos de piedra pómez (kg/cm <sup>3</sup> ) en el tratamiento de aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto, 2019)	28
	vi



11. Comparación de la disminución de la demanda química de oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L) en relación a los tratamientos de piedra pómez (kg/cm <sup>3</sup> ) en el tratamiento de aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto 2019)	29
12. Comparación de la demanda biológica de oxígeno (mg/L) en relación al tratamiento con de piedra pómez (kg/cm <sup>3</sup> ) en el tratamiento de aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto 2019)	31
13. Diferencia de disminución de demanda biológica de oxígeno (mg/L) en relación al caudal en el tratamiento de aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto 2019)	32
14. Diferencia de disminución de demanda biológica de oxígeno (mg/L) en relación al tiempo en el tratamiento de aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto 2019)	33
15. Proceso de instalación del sistema de tratamiento de aguas residuales verdes del centro de beneficio animal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)	53
16. Instalación de tanques para el agua residual verde del centro de beneficio animal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)	54
17. Instalación concluida del sistema de tratamiento de aguas residuales verdes del centro de beneficio animal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)	55
18. Preparación de poza de sedimentación Camal Azoguini, para la obtención de muestras de las aguas verdes del centro de beneficio animal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)	55
19. Operación del sistema de sedimentación del centro de beneficio animal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)	56
20. Preparación de los filtros de piedra pómez, en el laboratorio de mecánica de suelos y rocas de la EPIG - UNAP	56
21. Mallas empleadas para la selección granulométrica de la piedra pómez, en el laboratorio de mecánica de suelos y rocas de la EPIG - UNAP	57
22. Pesado de piedra pómez para las distintas repeticiones, en el laboratorio de mecánica de suelos y rocas de la EPI- UNAP	57

23. Rotulado de las muestras de tratamientos de agua residuales verdes en el centro de beneficio animal Azoguini, para el envío al laboratorio de ensayo acreditado por la dirección del INACAL (noviembre 2018 a agosto 2019)	58
24. Reducción visual de los SST, tratamiento 01: T0 con T1, T2, T3, T4 y T5, de las aguas residuales verdes, del centro de beneficio animal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)	59
25. Reducción visual de los SST, tratamiento 02: T0 con T1, T2, T3, T4 y T5, de las aguas residuales verdes, del centro de beneficio animal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)	59
26. Comparación visual de los SST, tratamiento 03: T0 con T1, T2, T3, T4 y T5, de las aguas residuales verdes, del centro de beneficio animal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)	60
27. Traslado de muestras de aguas residuales verdes del centro de beneficio animal Azoguini al laboratorio de ensayo acreditado por la dirección del INACAL (noviembre 2018 a agosto 2019)	60
28. Traslado de muestras de aguas residuales verdes del centro de beneficio animal Azoguini al laboratorio de ensayo acreditado por la dirección del INACAL (noviembre 2018 a agosto 2019)	61

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Informe de ensayos de laboratorio - 01	44
2. Informe de ensayos de laboratorio - 02	47
3. Informe de ensayos de laboratorio - 03	50
4. Resultados de ensayos de laboratorio de SST, DQO y DBO <sub>5</sub>	52
5. Evidencias fotográficas	53

## ABREVIATURAS

DBO:	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO:	Demanda Química de Oxígeno
SST:	Sólidos Suspendidos Totales
PVC:	Policloruro de Vinilo
INACAL:	Instituto Nacional de Calidad
UNA :	Universidad Nacional del Altiplano
VD:	Variable Dependiente
VI:	Variable Independiente
T:	Tratamiento
ANDEVA:	Análisis de Varianza
LAS:	Laboratorio Analítico del Sur

## RESUMEN

La investigación sobre uso de la piedra pómez como filtro en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes, en un centro de beneficio animal, se realizó a partir de noviembre 2018 a agosto 2019. El problema de la turbidez en aguas residuales, las altas concentraciones de SST, DQO y DBO<sub>5</sub>, no permite que el sistema de tratamiento de aguas residuales tenga un mecanismo eficiente y los costos de tratamiento se incrementan, los objetivos específicos del trabajo de investigación fueron: a) Comparar la retención de sólidos suspendidos totales (mg/L) en los filtros de concentración variada de piedra pómez (kg/cm<sup>3</sup>), en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes, provenientes de un camal de beneficio animal y b) Contrastar la eficiencia de los tratamientos de remoción de DQO (mgO<sub>2</sub>/L) y DBO<sub>5</sub> (mg/L) de las aguas residuales verdes provenientes de un camal de beneficio animal, filtradas en concentraciones variadas de piedra pómez en relación al caudal y tiempo. La metodología empleada se basó en construir un sistema piloto de mini planta, que consistió en: Instalación de cinco tanques de PVC de 35L litros, con conexiones a través de tubos PVC a cinco pozas de filtros de piedra pómez con diferentes cantidades. Los resultados conseguidos fueron: a) Las concentraciones de sólidos suspendidos totales disminuyeron de 4672 hasta 2458 mg/L, lo que se traduce en una disminución de 47,4%. b) La disminución de la DQO fue significativa de 4940 mg/L a 1690 mg/L y la disminución de la DBO<sub>5</sub> fue también significativa, de 2950 mg/L a 700 mg/L, lo que significa en porcentajes DQO hasta 65,8% y la DBO<sub>5</sub> hasta 73,3% de disminución. Los resultados esperados de la concentración de aguas residuales verdes tratadas con piedra pómez como un sistema de filtros, han disminuido la turbidez, menores concentraciones de DQO y DBO<sub>5</sub>, mejorando la calidad de las aguas en forma significativa.

**Palabras clave:** Aguas residuales verdes, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, piedra pómez, proceso de tratamiento y sólidos suspendidos totales.

## ABSTRACT

Research on the use of pumice stone as a filter in the green wastewater treatment process, in an animal profit center, has been made from November 2018 to August 2019. The problem of turbidity in wastewater, high concentrations of SST, COD and BOD<sub>5</sub>, does not allow the wastewater treatment system to have an efficient mechanism and treatment costs are increased, the specific objectives of the research work were: a) Compare the retention of total suspended solids (mg/L) in filters of varying concentration of pumice stone (kg/cm<sup>3</sup>), in the process of treatment of green wastewater, from an animal benefit slaughterhouse and, filtered in varying concentrations of pumice stone in relation to flow and time. The methodology used was based on building a mini-plant pilot system, which consisted of: Installation of five 35L liters PVC tanks, with connections through PVC pipes to five pools of pumice filters with different quantities. The results were: a) The concentrations of suspended total suspended solids decreased from 4672 to 2458 mg/L, which translates into a 47.4% decrease. b) The COD decrease was significant from 4940 mg/L to 1690 mg/L and the decrease in BOD<sub>5</sub> was also significant, from 2950 mg/L to 700 mg/L, which means COD percentages up to 65.8% and BOD<sub>5</sub> up to 73.3% decrease. The expected results of the concentration of green wastewater treated with pumice stone as a filter system have decreased turbidity, lower concentrations of COD and BOD<sub>5</sub>, improving water quality significantly.

**Keywords:** Biological oxygen demand, chemical oxygen demand, green wastewater, pumice stone, total suspended solids and treatment process.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de investigación se desarrolló en las instalaciones del Centro de Beneficio Azoguini, ubicado al noroeste de la ciudad de Puno, desde noviembre 2018 a agosto del 2019, se circunscriben a una investigación experimental comparativa, y se plantearon las siguientes interrogantes: ¿La retención de sólidos suspendidos totales (mg/L) en los filtros de concentración variada de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ), influye en su disminución en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes, provenientes de un camal de beneficio animal? y ¿Los tratamientos de remoción de DQO ( $\text{mgO}_2/\text{L}$ ) y  $\text{DBO}_5$  ( $\text{mg}/\text{L}$ ) de las aguas residuales verdes provenientes de un camal de beneficio animal, filtradas en concentraciones variadas de piedra pómez en relación al caudal y tiempo, influyen en su eficiencia?, mientras que los objetivos específicos del trabajo de investigación fueron: a) Comparar la retención de sólidos suspendidos totales (mg/L) en los filtros de concentración variada de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ), en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes, provenientes de un camal de beneficio animal. b) Contrastar la eficiencia de los tratamientos de remoción de DQO ( $\text{mgO}_2/\text{L}$ ) y  $\text{DBO}_5$  ( $\text{mg}/\text{L}$ ) de las aguas residuales verdes provenientes de un camal de beneficio animal, filtradas en concentraciones variadas de piedra pómez en relación al caudal y tiempo.

El trabajo de investigación contiene cinco capítulos: El Capítulo I trata de la revisión literaria, que comprende el marco teórico y antecedente. En el Capítulo II contempla el planteamiento del problema, interrogantes, hipótesis, y objetivos. El Capítulo III comprende los materiales y métodos, considerando el lugar de estudio, población, muestra, métodos, descripción detallada de los métodos y diseño del experimento. El Capítulo IV contempla los resultados y discusión, además de las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1. Marco teórico

##### 1.1.1. Contaminación por aguas residuales

Los niveles de contaminación por aguas residuales presentan una baja transparencia en las áreas donde se emplazan (Beltrán *et al.*, 2015), es importante realizar análisis en las plantas de tratamiento de aguas residuales los parámetros de sólidos totales suspendidos y materia orgánica (Zagal, 2007). El problema de las aguas residuales, afectan el medio ambiente, por su contenido de materia orgánica y por eso deben ser tratados empleando tratamientos físicos, biológicos (Díaz *et al.*, 2015).

##### 1.1.2. Filtros para tratamiento de aguas residuales

Las conchas marinas (*Arca Zebra*) pueden ser utilizadas como filtros en el tratamiento de aguas residuales, debido a que estas presentan porosidad y resistencia en su estructura física, logrando una adherencia de la biopelícula. Este tipo de filtro tiene eficiencia en la remoción de DQO y DBO en 51.5% y 48.6% respectivamente, siendo una alternativa de bajo costo (Galindo *et al.*, 2016).

Los lixiviados de rellenos sanitarios tienen altas concentraciones de contaminantes como la materia orgánica, metales pesados y otros contaminantes que son causas de contaminación en cuerpos de agua, para ello, la instalación de filtros anaerobios y con pH superiores a 8, puede lograr eficiencia en remoción de DQO en 18 horas y una eficiencia de 73% a una temperatura de 34°C (Maldonado *et al.*, 2017).



- a) **Caudal:** Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, o canal) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo (Mañunga *et al.*, 2016).
- b) **DBO:** Demanda Biológica de Oxígeno mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos en la transformación de la materia orgánica en CO<sub>2</sub>. (Rodríguez, 1998).
- c) **DQO:** Es la Demanda Química de Oxígeno que mide la cantidad de materia orgánica del agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla. Este parámetro no puede ser menor que la DBO, ya que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica. (Mañunga *et al.*, 2016).
- d) **Agua residual:** Proviene de uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario, pudiendo ser público o privado y que ha sufrido una serie de cambios en su calidad original, estas aguas penetran en el suelo, con su efecto de contaminación de las aguas subterráneas y reducen la calidad del suministro de agua potable (Cohen, 2015).
- e) **Piedra pómez:** La piedra pómez es un vidrio riolítico, en el cual las burbujas de gas han dilatado el magma, dando así origen a un material muy vesiculoso, por lo tanto, las cavidades son tan numerosas que llegan a formar la mayor parte de las rocas y le dan peso específico aparentemente bajo (Cornelis & Cornelius, 2001). La piedra pómez es una roca ígnea, volcánica extrusiva, piroclásto poroso, que se constituyen de vidrio volcánico en forma de espuma y que se forman durante un enfriamiento muy rápido de un magma ascendiente de alta viscosidad, con dureza: 5/6 Mohs, textura: escorácea, con muchas cavidades, densidad: sus poros cerrados le confieren una baja densidad 0,7 g/cm<sup>3</sup>, color: blanco grisáceo, brillo: sedoso (ECURED, 2014).

## 1.2. Antecedentes

La piedra pómez es un material que tiene diversos usos en la industria de la construcción y la biomedicina. Actualmente, se utiliza en el tratamiento de aguas residuales en los

procesos de adsorción y oxidación catalítica. Además, la piedra pómez ha sido utilizada como medio filtrante e integrada al tratamiento biológico, como aeróbicos, anóxicos, anaeróbicos. Publicaciones más actuales indican la integración de la piedra pómez con procesos avanzados de oxidación (AOP) (Izlen y Meric, 2016). Además, la piedra pómez, contiene fenocristales de plagioclasa, orto piroxeno, anfíbol y biotita, en forma escasa cuarzo y óxidos de Fe-Ti., también posee afinidad alcalina por características de magmatismo (Arce *et al.*, 2018). La piedra pómez, pumita o pumicita, es de origen volcánico (piroclastos), teniendo una composición de sílice y alúmina, por dicha razón posee un alta, porosidad, resistencia para aguas carbónicas o ligeramente ácidas, se emplea la piedra pómez en la fabricación de filtros (Estadística de Comercio Exterior Minera España 2000). Adicionalmente, la piedra pómez, presenta polímeros inorgánicos, también conocidos como geo polímeros (Gonzales *et al.*, 2012).

Sobre otros usos de la piedra pómez, se empleó en un biofiltro para ver cuáles son los cambios en la remoción de material orgánico, empleando piedra pómez con levadura en pesos distintos, consiguiéndose un promedio de remoción del material orgánico DBO de 3437mgO<sub>2</sub>/l con 250 gr de levadura y 750 gr. de piedra pómez (Izquierdo, 2016). En otro rubro, se demostró el empleo de piedra pómez en mampostería en los procesos constructivos no estructurales, permitiendo su baja densidad realizarlos a pie de obra, con ello se reduce el empleo de otros recursos empleados en los procesos constructivos (Crespo, 2015). También, el empleo de piedra pómez permite elaborar paneles no estructurales livianos, como lozas vigas, columnas, con una correcta dosificación en reemplazo del hormigón, se llegó a resistencias a la compresión de 60kg/cm<sup>2</sup> a 180kg/cm<sup>2</sup>, obteniendo mejores beneficios por sus densidades bajas, que se reflejan en el aislamiento térmico, acústico y resistencia al fuego (Gallegos, 2015). De igual forma, se empleó también piedra pómez en la elaboración de concreto liviano con fines sísmicos, cumpliendo con los parámetros de compresión los porcentajes de 30%, 40% y 50% de piedra pómez como agregado complementario (Uscamayta y Yarahuaman (2017). Incluso, se empleó para el análisis de un filtro que permita segregarse los ácidos grasos que contienen los productos lácteos (Moreno *et al.*, 2014)

Se ha empleado la piedra pómez para la degradación de formaldehído como soporte en la investigación de un biorreactor, para probar distintas concentraciones de aguas residuales, consiguiendo eficiencias en formaldehído y DQO, por lo que se sugiere un biorreactor de película fija empacado con piedra pómez (Ebrahimi y Borghei, 2011).

Los tratamientos con piedra pómez en la acuicultura empleándose en tanques de biofiltro presenta resultados de eficiencia en el control de concentraciones de amoníaco y nitrito, mostrando características de biofiltro (Pungrasmi *et al.*, 2016).

Las aguas subterráneas y superficiales contienen manganeso con regularidad en concentraciones altas, para su proceso, al aplicar piedra pómez impregnada con hierro se muestra eficaz para eliminar el manganeso (Mn). Para la eliminación de metales pesados, la piedra pómez también es un adsorbente de buen comportamiento (Izlen *et al.*, 2017).

La piedra pómez tratada tiene resultados positivos empleado como adsorbente en el proceso de eliminación de iones de dureza del agua potable como  $\text{Ca}^{2+}$  y Mg, el bajo costo de la piedra pómez modificada con álcali, al tratar agua, la dureza total de esta, cumple con los estándares queridos para el agua potable que debe ser menor a 300mg/l de  $\text{CaCO}_3$  (297,5.mg/l) (Noori *et al.*, 2013).

Al emplearse la piedra pómez como material filtrante para el tratamiento de efluentes de lavadoras de vehículos se ha determinado los parámetros de  $\text{DBO}_5$ , DQO, aceites y grasas, consiguiéndose resultados significativos de 34,42%, 35,66%, 38,87% respectivamente, por consiguiente, se puede emplear este sistema de filtros en los pretratamientos de aguas residuales de ese tipo (Nata, 2018).

Al emplearse piedra pómez natural y modificada para la eliminación de fosforo con una concentración de 15 mg/l, evaluados con difracción de rayos X y microscopio de barrido, se muestra que presenta mayor eficiencia la piedra pómez modificada ya que presenta un rendimiento del 96%, mientras que la piedra pómez natural llega a un valor del 22% (Kamal *et al.*, 2013).

Las aguas residuales de alta resistencia por su elevado contenido orgánico sus costos de tratamiento no son económicas, incluso al implementar diseños avanzados no se logra resultados ideales con las aguas residuales de alta resistencia que los sistemas de tratamiento aeróbico, sin embargo, se encuentran en fase de desarrollo sistemas híbridos como los biorreactores de membrana (MBR), anaeróbico-aeróbico como alternativa (Hamza *et al.*, 2016).

Un adsorbente alternativo y económico para la eliminación de un agente intercalante como el bromuro de etidio (EtBr) es el empleo de piedra pómez natural recubierto de aluminio. (Heibati *et al.*, 2015).

La reutilización de las aguas residuales con fines de riego ha planteado eliminar los metales pesados como el cadmio (*Cd*) para ello se introdujo a los suelos como materia complementaria piedra pómez, y mediante un proceso adsorción por espinacas, se comprobó que los suelos con ciertos porcentajes de piedra pómez resultaron con menor acumulación de *Cd*, apareciendo consiguientemente como un elemento viable como adsorbente en suelos contaminados (Abedi, 2015).

Al evaluar el rendimiento de un filtro biológico aireado sumergido, compuesto por una cama de doble capa, que se compone de una capa superior de material cerámico y una inferior de material plástico, los resultados fueron eficientes en la  $DBO_5$  (Osorio y Hontoria, 2002). Asimismo, los ensayos de filtros para determinar la eficiencia de eliminación de sólidos totales con aplicación de piedra pómez, arena y grava. Los filtros de medios de piedra pómez proporcionaron mayores volúmenes de flujo de salida total y menos sólidos, siendo eficaces en comparación con los filtros de arena y grava. El valor promedio de velocidad de flujo de salida para este tipo de filtro fue de  $34,2 \text{ m}^3 / \text{h}$  (Kuslu, 2013), utilizando los filtros de piedra pómez, se obtienen una eficiencia de la remoción de DQO a los 57 días de funcionamiento del filtro dando un porcentaje del 154,80%, lo que equivale a 387 mg/L (Moya, 2017).

Aplicando filtros de piedra arenosa, los resultados de oxígeno disuelto se incrementó 93% de OD, se registró la disminución de 77,69% de fósforo total, para el caso de nitrógeno total hubo una disminución de hasta 42,49% (Canales, 2012), luego se utilizó como filtros en un sistema piloto de tratamiento de aguas residuales, roca volcánica que al mismo tiempo actúa como un reactor biológico, en este experimento se registró datos de DQO,  $DBO_5$ , pH, los resultados son favorables: microbiológicos. En relación a fosfatos, se redujo desde 3,4 hasta 1,1 mg/L (67,6% de remoción), la  $DBO_5$  disminuyó desde 454,4 hasta 112 mg/L (75,4% de remoción), mientras que la DQO disminuyó desde 1136 hasta 92 mg/L (91,9% de remoción) y el pH estuvo entre 7,1 a 9,2 (Canales y Canales, 2014). También, empujándose hongos del tipo levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), adheridas a un soporte de piedra pómez, en un sistema de biofiltro para agua residual domestica sin coliformes fecales, se demostró que las eficiencias en la remoción de  $DBO_5 = 73.79\%$ ,  $\text{pH} = 34.55\%$  y  $\text{ST} = 85.65\%$ . (Cornejo, 2015).

Las características de bio degradabilidad del agua residual, se realiza empleando filtros que permiten disminuir los contaminantes en el agua. Siendo la mejor eficiencia de la

DBO<sub>5</sub> de 60,68% y la DQO es 59,21% y Sólidos totales de 44,30% (Vásconez 2017). Por otro lado, la generación permanente de aguas residuales en centros de beneficio animal, representa una carga contaminante alta para el nivel freático y los productos ocasionados por estas actividades, es difícil que se mantenga por debajo de los límites máximos permisible. Se plantean diversos tipos de tratamiento como un reactor para bajar la carga orgánica, obteniendo cargas orgánicas más eficientes de 12,2 g DQOs/m<sup>2</sup>/d, con una remoción de DQOs de 98,35%, una DBO<sub>5</sub> de 97,96% y 62,11% de remoción de nitrógeno Kjeldahl total (Castillo *et al.*, 2012). Los ensayos de DQO convencionales poseen tiempos más reducidos de hasta 10 minutos (Makas, 2018). Muchos modelos en la predicción de la calidad del agua se analizan en una planta de tratamiento de aguas residuales, siendo la DBO y DQO indicadores directos de materia orgánica, en la calidad de agua la remoción de la DBO registra 25,1 mg/L y DQO de 49,4 mgO<sub>2</sub>/L (Abyaneh, 2014).

La filtración puede oxidar y descontaminar completamente las aguas residuales, en particular el rendimiento de la purificación y la descontaminación de los efluentes secundarios por el filtro de arena drenado bajo una planta, la DQO se elimina en los primeros 50 centímetros del filtro de arena. El seguimiento del nitrógeno orgánico y el amonio muestra los buenos resultados del proceso en la eliminación de la contaminación nitrogenada, la tasa de agotamiento es aproximadamente del 100% y esto desde los primeros 50 centímetros de filtración. El filtro de arena retiene las diferentes formas del fósforo por adsorción y precipitación en el horizonte superficial (Eturki *et al.*, 2011).

Existen sistemas de tratamiento como son los biológicos, siendo las características y tecnologías de tratamiento biológico de varios tipos de aguas residuales industriales, señalan que es importante controlar los olores y la minimización del exceso de lodo, porque tiene efecto en los sólidos suspendidos o la turbidez del agua (Anderson 2000), son necesarias la reducción de los sólidos totales de las aguas residuales, en plantas de tratamiento con sistemas completos ( primario, secundario y terciario ) donde la eliminación fue de 37,81% de los sólidos totales 48,33% de remoción de sólidos suspendidos totales y 70,0% de reducción (consumo) de alcalinidad (Castillo *et al.*, 2012), siendo el ión hidrógeno la sustancia más importante de los procesos metabólicos y se encuentra en los compartimentos corporales, siendo el responsable del nivel de acidez o alcalinidad. La concentración de hidrogeniones se expresa por el valor de pH, que explica la acidez o alcalinidad de una solución (Mansilla, 2013). Los parámetros de pH, sólidos

totales (SST), son necesarias para la predicción de la DBO que fue de 25.1 mg/L y DQO de 49,4 mg/L (Abyaneh 2014).

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1. Planteamiento del Problema

El incremento de la evacuación de aguas residuales verdes de los centros de beneficios de animales mayores como vacuno, ovino y porcino principalmente, sin previo tratamiento afecta los ecosistemas naturales y la salud pública. Los centros de beneficio, generan aguas residuales de dos componentes: aguas residuales verdes y aguas residuales rojas. Las tecnologías de tratamiento de aguas residuales, dentro de sus componentes presentan una serie de filtros de arena, grava, carbón y entre otros elementos, que permiten que el sistema de tratamiento, pueda disminuir la concentración de turbidez, que se manifiesta en la cantidad de partículas de sólidos suspendidos y la disminución de la materia orgánica manifestada en la demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno.

La aplicación de filtros para aguas residuales verdes, implica la separación de sangre y grasa, es un mecanismo para tratamiento de aguas residuales que posibilitan disminuir eficazmente la presencia de materia orgánica. Asimismo, económicamente es viable, debido a que es más fácil el proceso de operación, mantenimiento y no ocasiona efectos ambientales negativos a los ecosistemas naturales.

Uno de los problemas del sistema de tratamiento de aguas residuales es la gran cantidad de partículas en suspensión, se convierten en lodos que deben ser sedimentados y tratados en forma adecuada para su disposición final.

Actualmente, existen diferentes sistemas de filtros para reducir la concentración de turbidez en el tratamiento de aguas residuales, que incrementan los costos económicos en

los sistemas de tratamiento de aguas residuales y que las tecnologías tengan un tratamiento eficiente y los efectos ambientales, sociales y económicos, sean mínimos en la perturbación de los ecosistemas naturales.

Una de las alternativas viables y sostenibles, ambientales, económicas y sociales, es la aplicación de recursos naturales disponibles que se encuentran en la naturaleza y que poseen una característica potencial para la reducción de la concentración de la turbidez presentes en la evacuación de aguas residuales. Siendo el uso de la piedra pómez, una alternativa viable y sostenible para ser usado como filtros en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, con la finalidad de disminuir en forma significativa la concentración de partículas en suspensión, disminuyendo la turbidez y calidad de las aguas residuales.

La piedra pómez, como filtro posee la capacidad de retener la materia suspendida y permite pasar el agua, tiene características importantes como: porosidad, rugosidad, composición química favorable para el crecimiento de bacterias depuradoras de la materia orgánica y que son necesarias para mejorar la calidad de las aguas residuales.

En base a la descripción del problema, se planteó las siguientes interrogantes:

## **2.2. Interrogantes**

### **2.2.1. Interrogante general**

¿La aplicación de diferentes cantidades de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes de un centro de beneficio animal, permitirá eficiencia en la remoción de sólidos totales, DQO,  $\text{DBO}_5$  del agua residual en relación a los diferentes caudales y tiempos?

### **2.2.2. Interrogantes específicas**

- a) ¿La retención de sólidos suspendidos totales ( $\text{mg}/\text{L}$ ) en los filtros de concentración variada de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ), influye en su disminución en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes, provenientes de un camal de beneficio animal?
- b) ¿Los tratamientos de remoción de DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) y  $\text{DBO}_5$  ( $\text{mg}/\text{L}$ ) de las aguas residuales verdes provenientes de un camal de beneficio animal,



filtradas en concentraciones variadas de piedra pómez en relación al caudal y tiempo, influyen en su eficiencia?

## 2.3. Hipótesis

### 2.3.1. Hipótesis general

La aplicación de diferentes concentraciones de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes de un centro de beneficio animal, permite eficiencia en la remoción de sólidos totales, DQO,  $\text{DBO}_5$  del agua residual verde en relación a los diferentes caudales y tiempos.

### 2.3.2. Hipótesis específicas

- a) La retención de sólidos suspendidos totales ( $\text{mg}/\text{L}$ ) en los filtros de concentración variada de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ), en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes, provenientes de un camal de beneficio animal, influyen en su disminución.
- b) Los tratamientos de remoción de DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) y  $\text{DBO}_5$  ( $\text{mg}/\text{L}$ ) de las aguas residuales verdes provenientes de un camal de beneficio animal, filtradas en concentraciones variadas de piedra pómez en relación al caudal y tiempo, influyen en la eficiencia de su remoción.

## 2.4. Objetivos

### 2.4.1. Objetivo general

Determinar la aplicación de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) en diferentes concentraciones como filtro en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes de un centro de beneficio animal en la eficiencia de remoción de sólidos totales, DQO,  $\text{DBO}_5$  en relación a los diferentes caudales y tiempos de retención en los filtros.

### 2.4.2. Objetivos específicos

- a) Comparar la retención de sólidos suspendidos totales ( $\text{mg}/\text{L}$ ) en los filtros de concentración variada de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ), en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes, provenientes de un camal de beneficio animal.

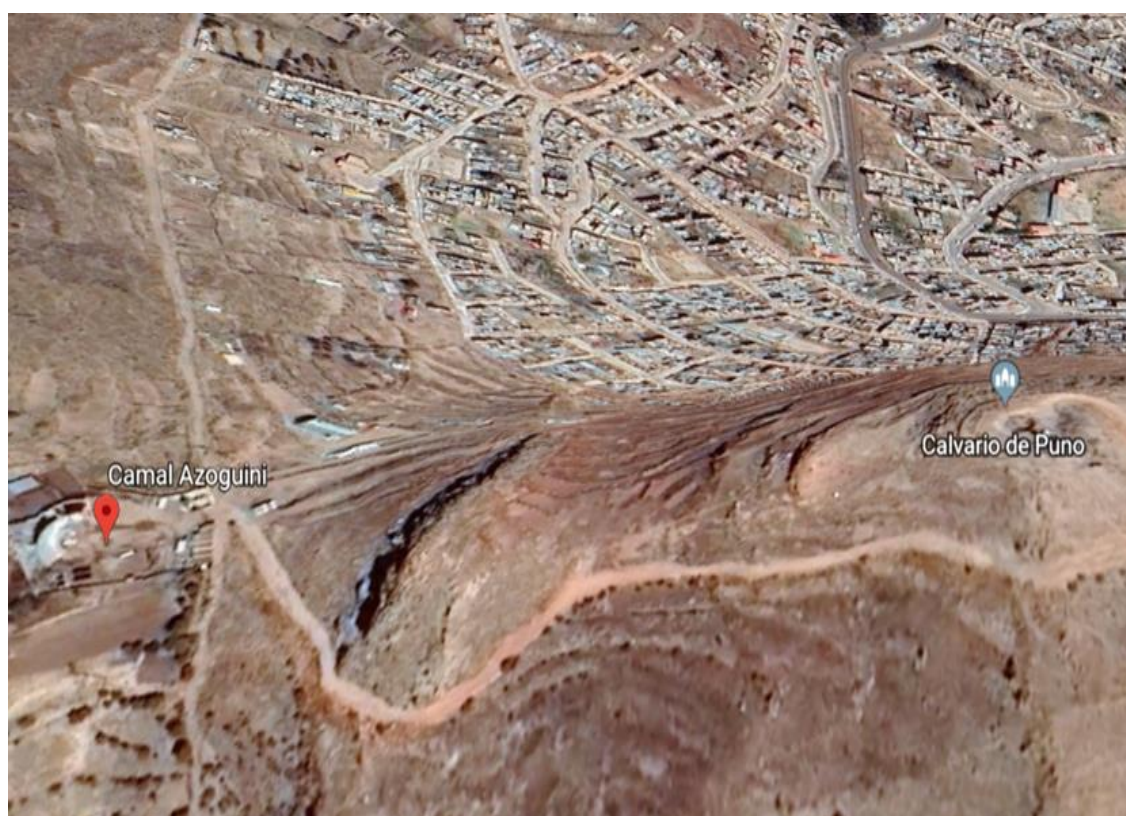
- b) Contrastar la eficiencia de los tratamientos de remoción de DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) y  $\text{DBO}_5$  ( $\text{mg/L}$ ) de las aguas residuales verdes provenientes de un camal de beneficio animal, filtradas en concentraciones variadas de piedra pómez en relación al caudal y tiempo.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Lugar de estudio

El estudio de investigación se realizó en las instalaciones del Centro de Beneficio Camal Azoguini, ubicado al noroeste de la ciudad de Puno, a una altitud de 4150 msnm. La temperatura del lugar de estudio fluctúa de 3 a 20 °C.



*Figura 1.* Ubicación del Camal Azoguini  
Fuente: Google Maps (2019)

### 3.2. Población

La cantidad diaria de ganado vacuno que se beneficia son 18 cabezas en el camal de beneficio de animales mayores de Azoguini, generando un volumen 1800 l/día de aguas residuales verdes, verificados en las celdas de acumulación.

El proceso de generación de los efluentes líquidos de camal se registra en el horario de 8:00 a 12:00 horas en forma diaria.

### 3.3. Muestra

Para cada tratamiento con piedra pómez empleada como filtro, se utilizó 35, 30 y 25 litros de agua residual verde, realizando un uso total durante la investigación de 875 litros.

Tabla 1

*Características de Piedra Pómez empleado como filtro, en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes del camal Azoguini, (noviembre 2018 a agosto 2019).*

Características	Descripción
Tipo de roca	Ígnea, volcánica, extrusiva, piroclasto poroso
Dureza	5/6 escala Mhos
Densidad	0,7g/cm <sup>3</sup>
Textura	Escorácea
Color	Blanco grisáceo
Brillo	Sedoso
Peso específico	0.90
Porosidad	71%
Diámetro de poros	Ø 0.98mm - Ø 1.64mm
Deposito	71% de pómez, 20,1% de cristales, 8,4% de líticos
Composición química	Oxido de aluminio Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 12-13% Sílice amorfa SiO <sub>2</sub> 70-72 %

Fuente: Mariño & Thouret (2018)

La cantera de donde se obtuvo la piedra Pómez se encuentra ubicada en el sector Humajalso, distrito de Carumas, Provincia de Mariscal Nieto departamento de Moquegua; se accede saliendo de Moquegua por la red vial nacional a 95 km siguiendo la ruta a Masacruz, depositadas en las coordenadas siguientes (Figura 2):

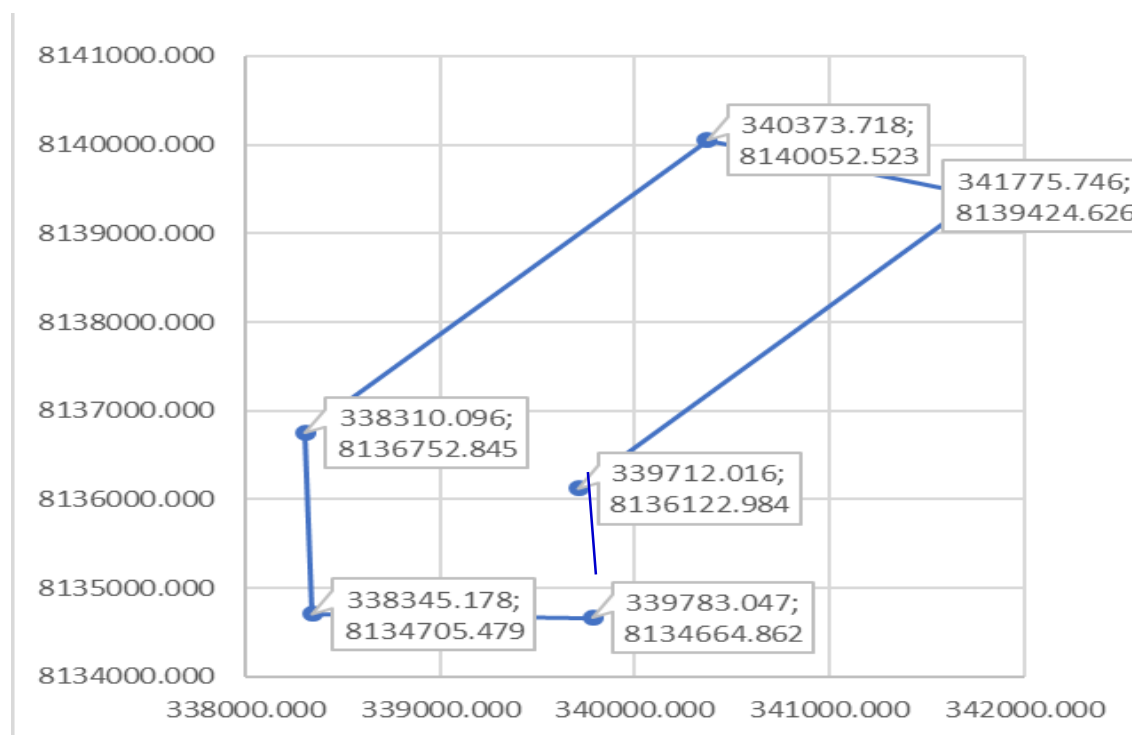


Figura 2. Ubicación de la cantera de piedra pómez

### 3.4. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

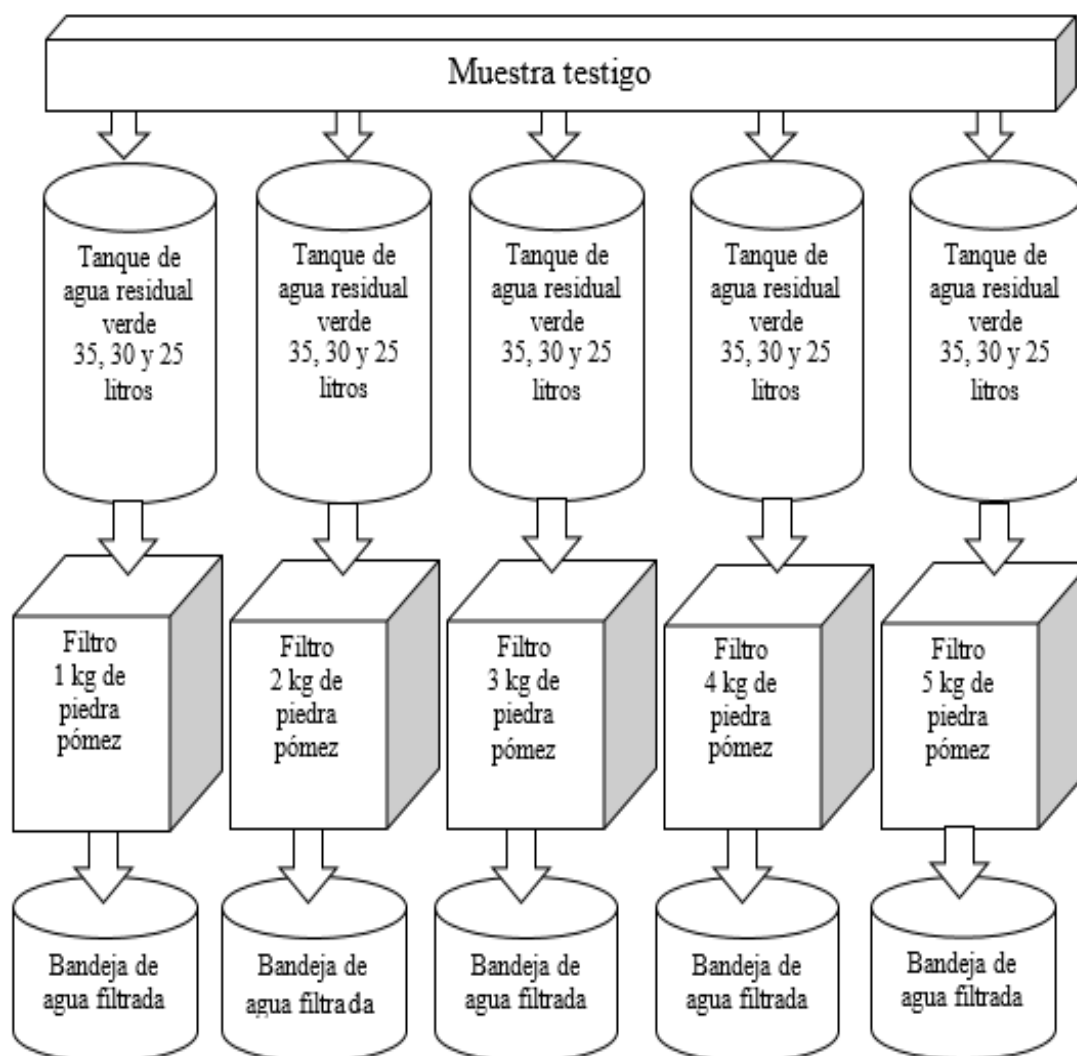
**A) Comparar la retención de sólidos suspendidos totales (mg/L) en los filtros de concentración variada de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ), en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes, provenientes de un camal de beneficio animal.**

#### 3.4.1. Diseño del experimento

##### a) Diseño del experimento

Al interior del área del Centro de beneficio de animales Azoguini, se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales verdes, que consiste en instalar cinco tanques de cilindros de PVC de 35L de capacidad y una conexión a través de un tubo PVC a un recipiente con filtros de piedra pómez, con un caudal de ingreso

1.75ml/s en un tiempo de 5h 33min 36s (Figura 3).



*Figura 3.* Diseño de investigación sobre uso de piedra pómez como filtro para el tratamiento de aguas residuales verdes de un centro de beneficio animal, para disminuir la concentración de sólidos totales y mejorar la eficiencia en la remoción de DQO, DBO<sub>5</sub> (noviembre 2018 a agosto 2019).

#### b) Uso de materiales, equipos e insumos

Para la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales verdes, se construyó un soporte de metal de 1,0 m de altura, donde se procedió a instalar cinco tanques de PVC de 35 litros de capacidad, se abasteció agua residual verde, antes de llenar el tanque, se extrajeron los elementos que contienen grasa, debido a que limita un eficiente funcionamiento de los filtros, luego, para el paso de las aguas se instaló tuberías de PVC de  $\varnothing \frac{1}{2}$ " para cada tanque que conecta al sistema de filtros con piedra pómez, previamente tamizada de  $\frac{1}{2}$  pulgada de diámetro ( $\varnothing \frac{1}{2}$ "), las piedras tamizadas se colocaron en un sistema de poza de 0,42m x 0,32m

x 0,38m los tratamientos fueron con 1,0kg, 2,0kg, 3,0kg, 4,0kg y finalmente con 5,0kg de piedra pómez, para completar las repeticiones con distintos caudales y tiempos se utilizó los mismos tanques, previa descarga y limpieza de los mismos; la muestra testigo se tomó antes del sistema de tratamiento.

Al final de cada tratamiento se recogió las muestras de cada sistema para analizar la concentración de sólidos suspendidos totales (mg/L) en frascos esterilizados. Para los análisis, las muestras fueron enviadas al laboratorio de ensayos acreditado por la dirección de acreditación del Instituto Nacional de Calidad INACAL con registro N° LE-050 y los mega laboratorios de la UNA Puno. También se tomó una muestra antes de iniciar los tratamientos, a esta se le denomina testigo.

### c) **Variables que se analizaron**

Las variables que se analizaron para este objetivo son:

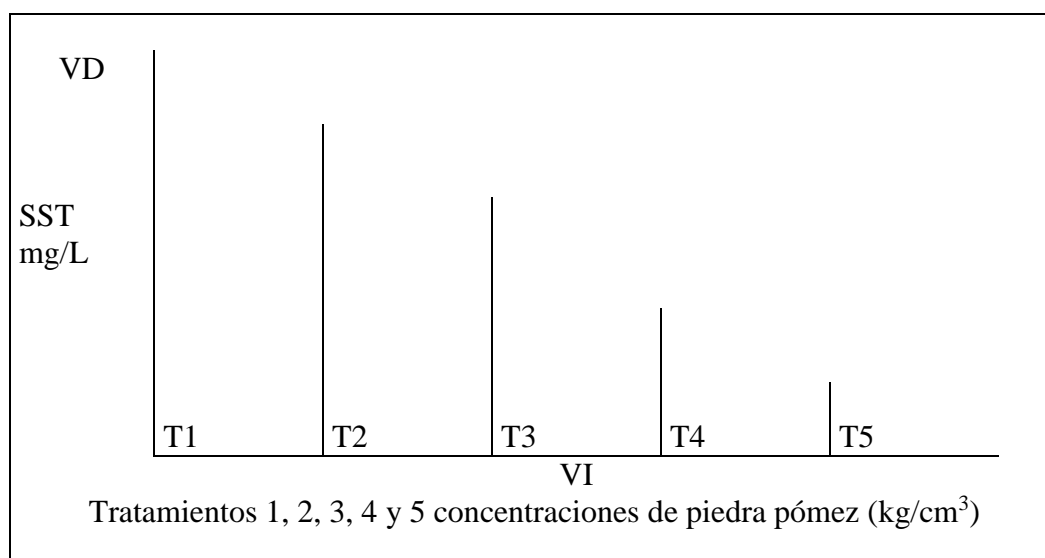
#### **Variable independiente**

Tratamientos de diferentes concentraciones de piedra pómez.

Son variables fijadas, decididas, asignadas y manipuladas por el investigador, se considera como causa, cuyo resultado se manifiesta en el efecto como variable dependiente, la que no puede ser manipulada. (Canales, 2011),

#### **Variable dependiente**

Disminución de la concentración de sólidos suspendidos totales (mg/L), tiempo de filtración (horas).



*Figura 4.* Diseño de investigación sobre tratamiento de aguas residuales verdes del centro de beneficio animal Azoguini, tratadas con filtro de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ), noviembre 2018 a agosto 2019).

#### d) Aplicación estadística

Para aceptar o rechazar la hipótesis planteada, se aplicó la prueba estadística de ANDEVA simple con un alfa de 0,05 de límite de confianza a través de la aplicación del programa INFOSTAT 2018 con licencia.

El objetivo fue determinar diferencias de la disminución de la concentración de sólidos suspendidos totales ( $\text{mg}/\text{L}$ ) entre las cantidades de piedra pómez, se aplicó la prueba de REGRESIÓN para realizar una predicción de la concentración de sólidos suspendidos totales, considerando los 05 tratamientos, CORRELACIÓN para medir el grado de asociación entre el tiempo de retención (horas) y disminución de sólidos suspendidos totales ( $\text{mg}/\text{L}$ ).



Tabla 2

*Diseño ANDEVA para el análisis bioestadístico, en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes con piedra pómez del camal Azoguini, (noviembre 2018 a agosto 2019).*

Repeticiones (j)	Tratamientos (i)				
	1	2	3	---	t
1	$Y_{11}$	$Y_{21}$	$Y_{31}$	---	$Y_{t1}$
2	$Y_{12}$	$Y_{22}$	$Y_{32}$	---	$Y_{t2}$
3	$Y_{13}$	$Y_{23}$	$Y_{33}$	---	$Y_{t3}$
.	.	.	.		.
.	.	.	.		.
.	.	.	.		.
r	$Y_{1r}$	$Y_{2r}$	$Y_{3r}$	---	$Y_{tr}$
<b>Total (+)</b>	$Y_{1.}$	$Y_{2.}$	$Y_{3.}$	---	$Y_{t.}$ $Y_{..}$
<b>Total (n)</b>	$n_{1.}$	$n_{2.}$	$n_{3.}$	--	$n_{t.}$ $n_{..}$

Fuente: slideshare.net

**B) Contrastar la eficiencia de los tratamientos de remoción de DQO (mg O<sub>2</sub>/L) y DBO<sub>5</sub> (mg/L) de las aguas residuales verdes provenientes de un camal de beneficio animal, filtradas en concentraciones variadas de piedra pómez en relación al caudal y tiempo.**

**a) Uso de materiales, equipos e insumos**

Se utilizó el mismo experimento detallado en el primer objetivo.

Al final de cada tratamiento se recogió las muestras en frascos esterilizados para luego enviar dichas muestras al laboratorio acreditado por la dirección de acreditación del Instituto Nacional de Calidad INACAL con registro N° LE-05°, y mega laboratorios de la UNA Puno, para analizar la eficiencia de remoción de DQO (mg O<sub>2</sub>/L) y DBO<sub>5</sub> (mg/L). También se tomó una muestra antes de iniciar los tratamientos, a esta se le denomina testigo.

## b) Variables que se analizaron

Las variables que se analizaron para este objetivo fueron:

### Variable independiente

Tratamientos de diferentes concentraciones de piedra pómez.

### Variable dependiente

Eficiencia en la remoción de DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) y  $\text{DBO}_5$  ( $\text{mg/L}$ )

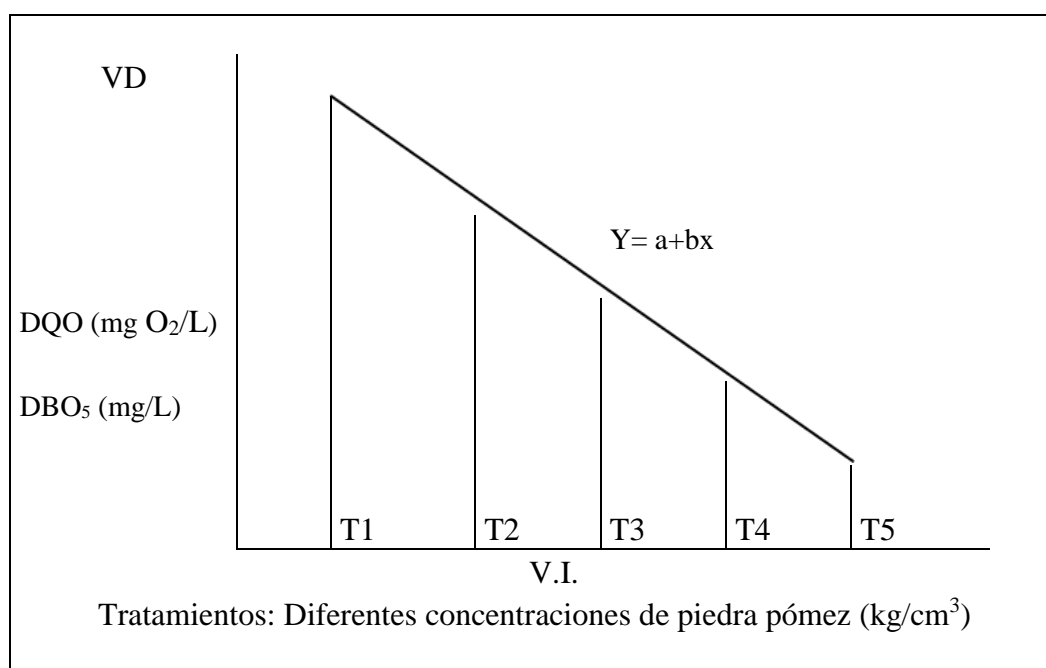


Figura 5. Diseño de investigación sobre tratamiento de aguas residuales verdes del centro de beneficio animal Azoguini, tratadas con filtro de piedra pómez ( $\text{kg/cm}^3$ ), (noviembre 2018 a agosto 2019).

## c) Aplicación estadística

Para comprobar la hipótesis, se aplicó la prueba paramétrica de REGRESION LINEAL para relacionar la disminución de DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ),  $\text{DBO}_5$  ( $\text{mg/L}$ ) y los niveles de tratamientos. ANDEVA para determinar diferencias entre las concentraciones, disminución de DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) y  $\text{DBO}_5$  ( $\text{mg/L}$ ). CORRELACIÓN para medir el grado de asociación y eficiencia de remoción de DQO y  $\text{DBO}_5$ .

Los análisis se realizaron con un alfa de 0,05 de límites de confianza a través de la aplicación del programa INFOSAT 2018.

### Estimación de la ecuación de Regresión Simple

$Y' = a + bX$ , donde:

- $Y'$  es el valor estimado de  $Y$  para distintos  $X$ .
- $a$  es la intersección o el valor estimado de  $Y$  cuando  $X=0$
- $b$  es la pendiente de la línea, o el cambio promedio de  $Y'$  para cada cambio en una unidad de  $X$
- el principio de mínimos cuadrados es usado para obtener  $a$  y  $b$  :

$$b = \frac{n(\sum Y) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{n(\sum Y)}{n} - b \frac{(\sum X)}{n}$$

Donde:

$X$ = Representa la variable independiente, que es fijado por el investigador (Figura 10), para este caso son los tratamientos de concentraciones de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ).

$Y$  = Representa la cantidad de eficiencia de remoción de DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **4.1. Comparar la retención de sólidos suspendidos totales (mg/L) en los filtros de concentración variada de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ), en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes, provenientes de un camal de beneficio animal.**

De acuerdo a los resultados del laboratorio de ensayos Laboratorio Analítico del Sur, acreditado por la dirección de acreditación del Instituto Nacional de Calidad INACAL con registro N° LE-050, y mega laboratorios de la UNA Puno, los tratamientos con distintas cantidades de piedra pómez muestran un valor mínimo de 2458 mg/L y valor máximo de 3660 mg/L, el ingreso del flujo de agua residual verde se dio a 1.75ml/s de 5 tanques de 35L de aguas residuales verdes en 5h33'36'', 5 tanques de 30L de aguas residuales verdes en 4h45'36'', 5 tanques de 25L de aguas residuales verdes en 3h58'12''.

Considerando el resultado de la muestra testigo de 4672mg/L, con los tratamientos efectuados los SST con su valor mínimo se redujo a 2458 mg/L lo que representa el 47.4%, y con el valor máximo 3660 mg/L que representa 21.7%, se denota que el tratamiento T5 con  $5\text{kg}/\text{cm}^3$  de piedra pómez con 35L en un tiempo de 5h33'36'' nuestra mayor eficiencia (Tabla 3).

Tabla 3  
Resultados de retención de SST de aguas residuales verdes con tratamiento de piedra pómez del Camal Azoguini, (noviembre 2018 a agosto 2019).

Caudal l/s	Tiempo h	Tratamiento de diferentes concentraciones kg/cm <sup>3</sup> de piedra Pómez										SST
		T1	%	T2	%	T3	%	T4	%	T5	%	
35	5.33'36''	3388	27,5	2844	39,1	2740	41,4	2458	47,4	2592	44,5	
30	4.45'36''	3660	21,7	3350	28,3	3120	33,2	3050	34,7	2980	36,2	
25	3.58'12''	3360	28,1	3240	30,7	3080	34,1	3010	35,6	2820	39,6	

TO Testigo = 4672 kg/cm<sup>3</sup>

Se registra diferencia entre la concentración de solidos suspendidos totales suspendidos SST (mg/L) y los tratamientos con concentraciones diferentes de piedra pómez, esta diferencia se manifiesta en disminución de la concentración de SST respecto a la nuestra testigo, en relación a los diferentes tratamientos de piedra pómez (kg/cm<sup>3</sup>), (p= 0.0442), esto quiere decir que es significativo, donde, por lo menos uno de los tratamientos difiere estadísticamente de los demás. Luego realizado la prueba de comparación múltiple se denota que el mayor aporte en el estudio es el tratamiento T5 y T4, existiendo diferencia entre el tratamiento T5 con los tratamientos T3, T2 y T1 (Figura 6). Entonces la hipótesis planteada es válida.

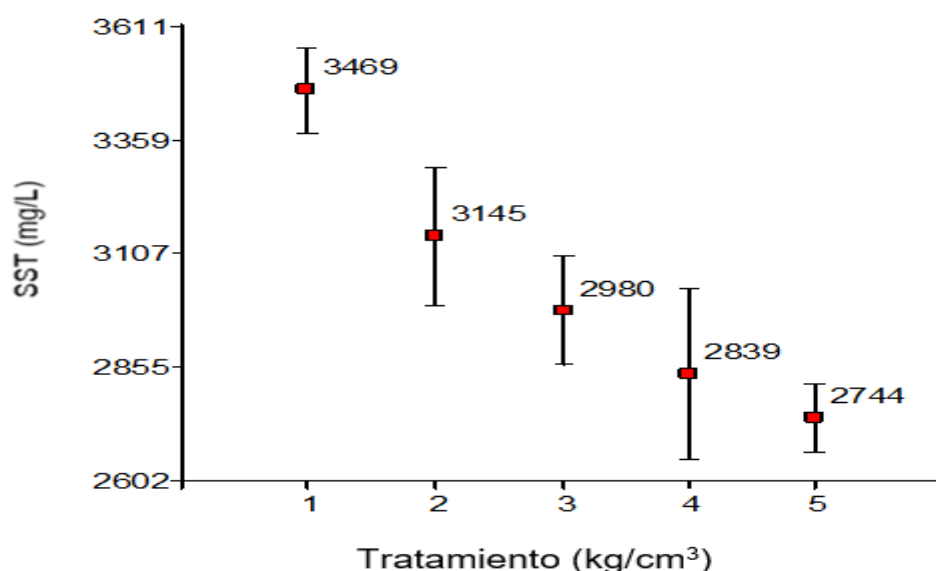


Figura 6. Comparación de la disminución de sólidos suspendidos totales (mg/L) en relación a la concentración de piedra pómez (kg/cm<sup>3</sup>) en el tratamiento de aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto 2019).

Sobre el particular, Beltrán *et al.* (2015) los niveles de contaminación por aguas residuales presentan una baja transparencia. Además, Cornejo (2015) precisa que las investigaciones referentes al tema señalan que es necesario la reducción de sólidos suspendidos totales suspendidos con sistemas de tratamiento completos, llegando a eliminarse entre 37.81% y 48.33%. Además, Díaz *et al.* (2015), el problema de las aguas residuales, afectan el medio ambiente, por su contenido de materia orgánica y por eso deben ser tratados empleando tratamientos físicos, biológicos. Comparando con otras investigaciones se denota que los resultados alcanzados con los tratamientos con piedra pómez disminuyen las concentraciones de SST, lográndose eliminar entre 47.4% y 21.7% de SST, por consiguiente, en la investigación se ha demostrado que existe retención en el tratamiento de SST. Los resultados de la comparación con la muestra testigo de 4672mg/L, con los tratamientos efectuados con su valor mínimo se redujo a 2458 mg/L y con el valor máximo 3660 mg/L que representan el 47.4% y 21.7% respectivamente.

Respecto a la estadística, la concentración de sólidos suspendidos totales (mg/L) y los caudales, no se registra diferencia, ( $p=0.2154$ ), sin embargo, existe una diferencia numérica, esto implica que con un caudal de 35 litros, existe una mejor disminución de SST (mg/L) en relación a los caudales de 30 y 25 litros de agua residual verde respectivamente (Figura 7).

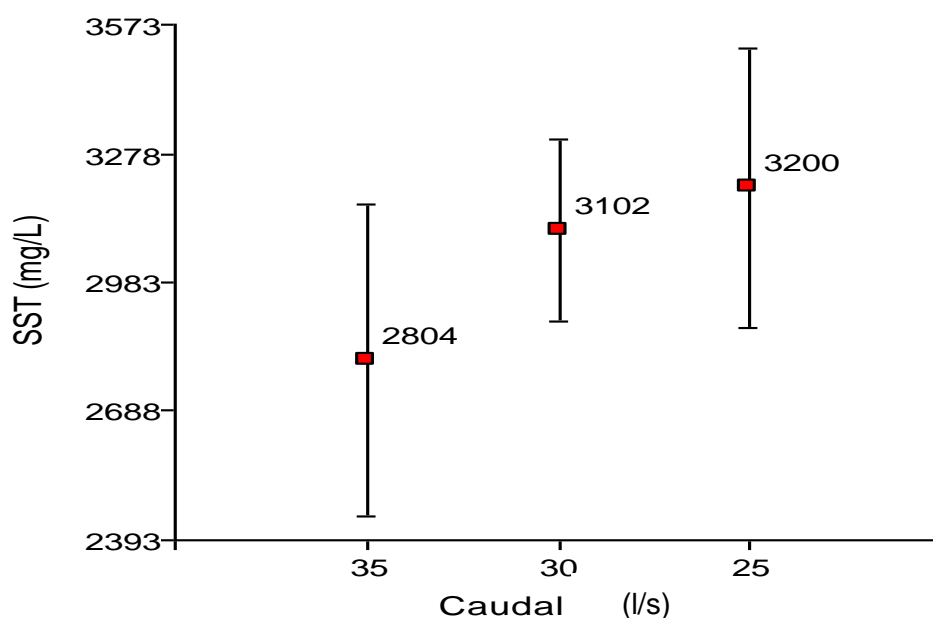
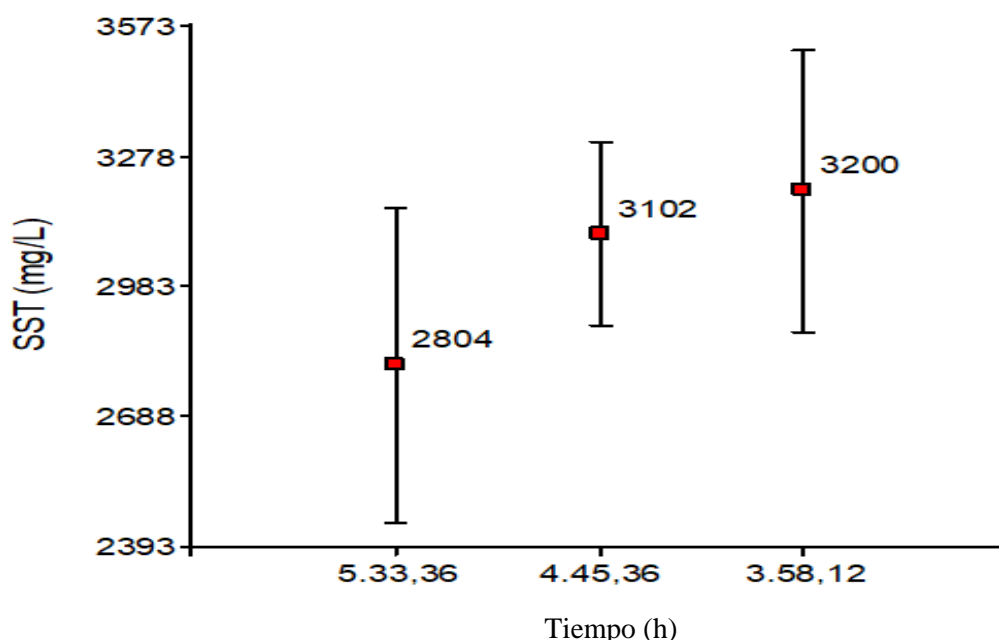


Figura 7. Figura de contraste no muestra diferencia en la concentración de sólidos suspendidos totales (mg/L) en relación al caudal en el tratamiento de aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto 2019).

En consecuencia, Abyaneh (2014) sostiene que los valores conseguidos de los sólidos totales SST son necesarios como parámetros para la predicción de la demanda química de oxígeno. Por otro lado, sobre el particular, Anderson (2000), manifiesta que es vital para otros tipos de tratamiento donde el exceso de lodos tiene efecto en la turbidez del agua por ende en los sólidos totales. Por consiguiente, se denota que es válido los resultados conseguidos con un caudal de 35 l/s.

Respecto a la concentración de solidos suspendidos totales (mg/L) y los diferentes tiempos de retención, no se registra diferencia, ( $p=0.2154$ ).

La estadística sobre la concentración de solidos suspendidos totales (mg/L) y los diferentes tiempos, refiere que no se registra diferencia ( $p=0.2154$ ), su coeficiente de variación es 0.10645911, sin embargo, existe una diferencia numérica, esto implica que con un tiempo 5h33'36'', existe una mejor disminución de la concentración de SST (mg/L) en relación a los tiempos de 4h45'36'' y 3h58'12'' respectivamente (Figura 8).



*Figura 8.* Disminución de los promedios de sólidos suspendidos totales (mg/L) en relación al tiempo la concentración de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) en el tratamiento de aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto 2019).

Según Kuslu (2013) los ensayos de filtros para determinar la eficiencia de la eliminación de sólidos suspendidos totales con aplicación de piedra pómez, arena y grava, resultan eficaces en comparación con los filtros de arena y grava. Estos resultados corroboran con la información obtenida en la presente investigación, mostrando los resultados una eficiencia de los tratamientos con piedra pómez. Esto corrobora que se ha demostrado que los tratamientos con piedra pómez disminuyen las concentraciones de SST (mg/L). En la investigación se logró eliminar entre 47.4% y 21.7% de SST, por consiguiente, en la investigación se ha demostrado que existe retención de SST en los tratamientos, reduciéndose los valores de las concentraciones.

**4.2. Contrastar la eficiencia de los tratamientos de remoción de DQO (mg O<sub>2</sub>/L) y DBO<sub>5</sub> (mg/L) de las aguas residuales verdes provenientes de un camal de beneficio animal, filtradas en concentraciones variadas de piedra pómez en relación al caudal y tiempo.**

De acuerdo a los resultados del laboratorio de ensayo, acreditado por la dirección de acreditación del Instituto Nacional de Calidad INACAL con registro N° LE-050, y los ensayos de los mega laboratorios de la UNA Puno, donde los tratamientos con distintas concentraciones de piedra pómez para la DQO muestran un valor mínimo de 1690mg O<sub>2</sub>/L y valor máximo de 2660mg O<sub>2</sub>/L, con un ingreso de caudal de 1.75ml/s de un tanque de 35litros de aguas residuales verdes en 5h 33min 36s.

Considerando el resultado de la muestra testigo de 4940mgO<sub>2</sub>/L, con los tratamientos efectuados la DQO se redujo en 65.8% con el valor máximo y 46.2% con el valor mínimo registrado en los tratamientos (Tabla 4).

Tabla 4  
*Resultados de DQO de aguas residuales verdes con tratamiento de piedra pómez del Camal Azoguini, (noviembre 2018 a agosto 2019).*

Caudal l/s	Tiempo h	Tratamiento de diferentes cantidades kg/cm <sup>3</sup> de piedra Pómez DQO									
		T1	%	T2	%	T3	%	T4	%	T5	%
35	5.33,36	2430	50.8	2170	56.1	2020	59.1	1930	60.9	1690	65.8
30	4.45,36	2645	46.5	2450	50.4	2195	55.6	1940	60.7	1820	63.2
25	3.58,12	2660	46.2	2470	50.0	2220	55.1	2040	58.7	1890	61.7
Promedios		2578	47.8	2363	52.2	2145	56.6	1970	60.1	1800	63.6
TO	Testigo = 4940 kg/cm <sup>3</sup>										



Se registra diferencia en la disminución de la concentración de DQO en relación a los diferentes tratamientos de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) puesto que de acuerdo al análisis de varianza ( $p= 0.01666$ ), considerando el resultado de la muestra inicial o testigo es de  $4940\text{mgO}_2/\text{L}$ , con los tratamientos efectuados la DQO se redujo a  $1690\text{mg O}_2/\text{L}$  en su valor mínimo lo que significa el 65.8% y  $2660\text{mg}/\text{L}$  en su valor máximo significa el 46.2%. (Tabla 2). Se denota en la investigación la disminución de DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) con los tratamientos de piedra pómez, mostrándose mayor eficiencia con los tratamientos 4 y 5 (Figura 9). Entonces la hipótesis planteada es válida.

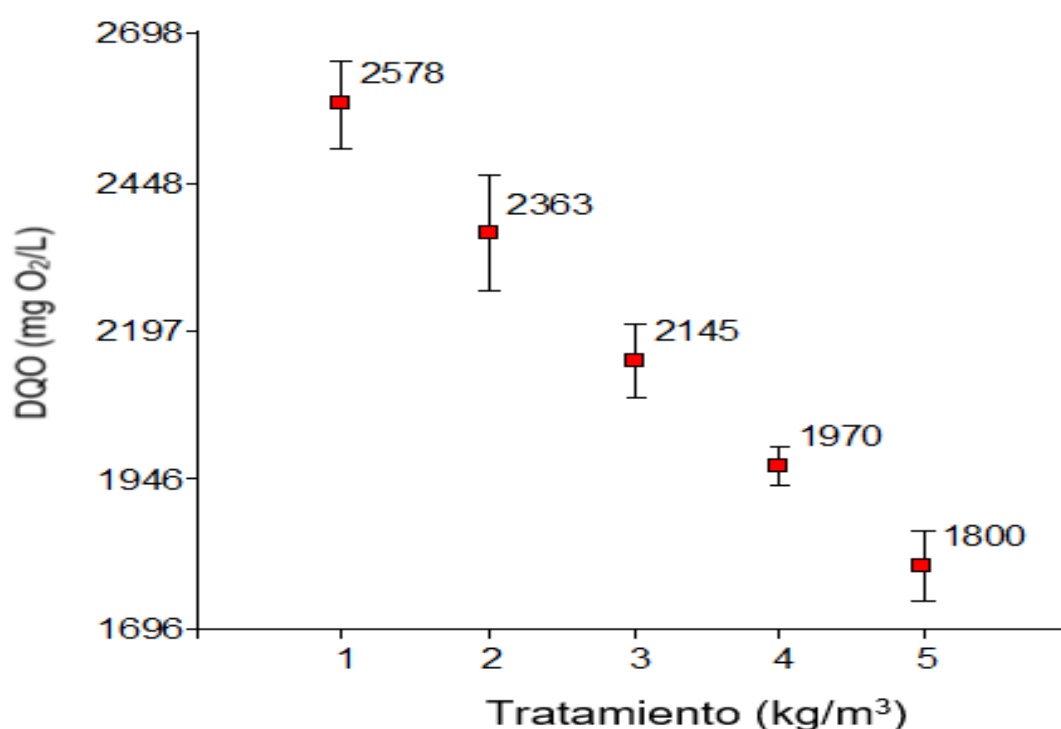


Figura 9. Disminución de demanda química de oxígeno ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) en relación a los tratamientos con piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) en las aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto 2019).

Sobre el empleo de filtro, Moya (2017) precisa que utilizando piedra pómez, se obtiene una eficiencia de la remoción de DQO. Contribuye sobre el tema, Vásquez (2017), y dice que las características de baja degradabilidad del agua residual, se realiza empleando filtros que permiten disminuir los contaminantes en el agua. Siendo la mejor eficiencia la DQO 59.21%. La investigación demuestra que hay diferencia en las concentraciones de DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ), demostrándose que existe eficiencia empleando filtros de piedra pómez

en la remoción de las concentraciones, consiguiéndose resultados de hasta 65.8% de eficiencia, por consiguiente, la hipótesis planteada es válida.

Existe una relación de la disminución de DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) de aguas residuales verdes en relación a los tratamientos con piedra pómez ( $R^2 = 0,88$ ;  $Y = 2756,33 + (-1195,0)x$ ), esto implica que a mayor concentración de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) para tratar aguas residuales existe una mayor disminución de DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) (Figura 10). Entonces la hipótesis planteada es válida.

La pendiente en este caso mide los cambios suscitados en Y, provocados por un cambio unitario en X, es decir al variar las unidades de los tratamientos con piedra pómez varían los resultados de DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ), la recta es negativa porque las concentraciones de DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) disminuyen con los tratamientos.

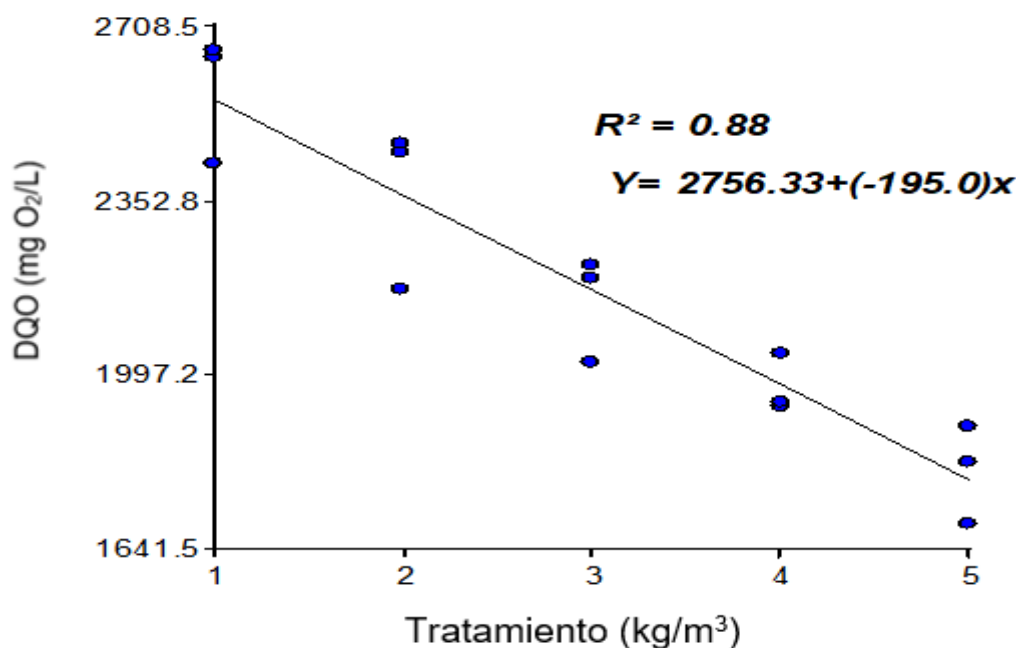


Figura 10. Comparación de la disminución de la demanda química de oxígeno ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) en relación a los tratamientos de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) en el tratamiento de aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto, 2019)

Sobre el empleo de piedra pómez para DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ). Llamuca & Vinicio, (2018) dicen al emplearse la piedra pómez como material filtrante para el tratamiento de efluentes de lavadoras de vehículos se ha determinado el parámetro de DQO, consiguiéndose resultados significativos de 34,42%, 35,66%, 38,87% respectivamente, por consiguiente, se puede emplear este sistema de filtros en los pretratamientos de aguas residuales de ese

tipo. Por otro lado, Kamal *et al.* (2013) señalan que al emplearse piedra pómez natural y modificada para la eliminación de fosforo con una concentración de 15 mg/L, evaluados con difracción de rayos X y microscopio de barrido, muestra mayor eficiencia la piedra pómez modificada ya que presenta un rendimiento del 96%, mientras que la piedra pómez natural llega a un valor del 22%. Además, Eturki *et al.*, (2011), señala que, la filtración puede oxidar y descontaminar completamente las aguas residuales, en particular el rendimiento de la purificación y la descontaminación de los efluentes secundarios por el filtro de arena drenado bajo una planta, la DQO se elimina en los primeros 50 centímetros del filtro de arena. En las aguas residuales verdes provenientes del camal de beneficio de animales Azoguini, se ha demostrado que a mayor concentración de piedra pómez mayor eficiencia de disminución de DQO. Esto corrobora que los resultados obtenidos con tratamientos con piedra pómez disminuye hasta 65.8% en las concentraciones de DQO, por consiguiente, la hipótesis planteada es válida.

Respecto a la concentración de demanda química de oxígeno DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) y los diferentes tiempos de retención, no se registra diferencia, ( $p=0.4317$ ).

La estadística sobre la concentración de demanda química de oxígeno DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) y los diferentes tiempos, no registra diferencia ( $p=0.4317$ ), sin embargo, existe una diferencia numérica, esto implica que con un tiempo 5h 33min 36s, existe mejor disminución de la concentración de DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) en relación a los tiempos de 4h45'36'' y 3h58'12'' respectivamente, esta disminución no es significativa (Figura 11).

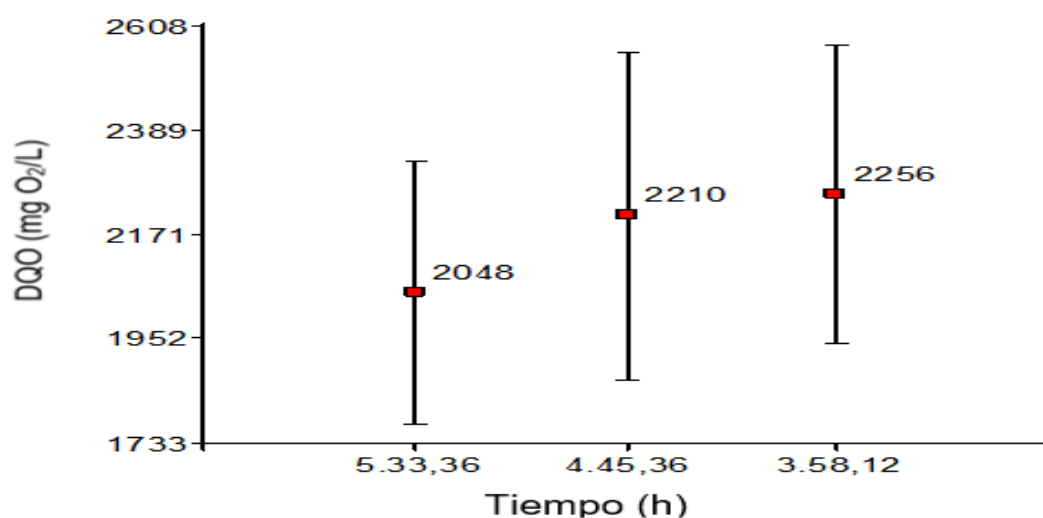


Figura 11. Comparación de la disminución de la demanda química de oxígeno ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) en relación a los tratamientos de piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) en el tratamiento de aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto 2019)

Sobre la piedra pómez para DQO (mg O<sub>2</sub>/L), Ebrahimi & Borghei (2011) se ha empleado la piedra pómez para la degradación de formaldehído como soporte en la investigación de un biorreactor, para probar distintas concentraciones de aguas residuales, consiguiendo eficiencias en formaldehído y DQO. También, Pungrasmi *et al.*, (2016), precisa que los tratamientos empleándose piedra pómez en tanques de biofiltro en la acuicultura presenta resultados de eficiencia en el control de concentraciones de amoníaco y nitrito, mostrando características de biofiltro. La investigación realizada se demuestra disminución en las concentraciones de DQO (mg O<sub>2</sub>/L) en 65.8% y 46.2%, con lo que se demuestra que el empleo de piedra pómez es viable.

La demanda biológica de oxígeno DBO<sub>5</sub> (mg/L) comparando con el resultado de la muestra testigo es 2950mg/L, con los tratamientos efectuados la DBO<sub>5</sub> se redujo a una concentración de 1750 mg/L en su valor máximo lo que significa el 40.7% y en su valor mínimo se redujo a 700mg/L lo que significa el 76.3%, se registra mejores resultados con los tratamientos T4 y T5 (Tabla 5).

Tabla 5  
*Análisis de DBO<sub>5</sub> de aguas residuales verdes con tratamiento de piedra pómez del Camal Azoguini, (noviembre 2018 a agosto 2019).*

Caudal l/s	Tiempo h	Tratamiento de diferentes cantidades kg/m <sup>3</sup> de piedra Pómez DBO <sub>5</sub>									
		T1	%	T2	%	T3	%	T4	%	T5	%
35	5.33,36	1250	57.6	800	72.9	800	72.9	700	76.3	700	76.3
30	4.45,36	1590	46.1	1270	56.9	1170	60.3	930	68.5	910	69.2
25	3.58,12	1750	40.7	1740	41.0	1710	42.0	1540	47.8	790	73.2
Promedios		1530	48.1	1270	56.9	1227	58.4	1057	64.2	800	72.9
TO Testigo = 2950 kg/cm <sup>3</sup>											

Respecto a la concentración de demanda biológica de oxígeno DBO<sub>5</sub> (mg/L) y los diferentes tratamientos, no se registra diferencia, (p=0.1867), sin embargo, existe una diferencia numérica, esto implica que con un tratamiento (cantidad) de piedra pómez de 5kg/cm<sup>3</sup>, existe una mejor disminución de la concentración de DBO<sub>5</sub> (mg/L) en el tratamiento T5 en relación a los tratamientos T4, T3, T3 y T1 (Figura 12).

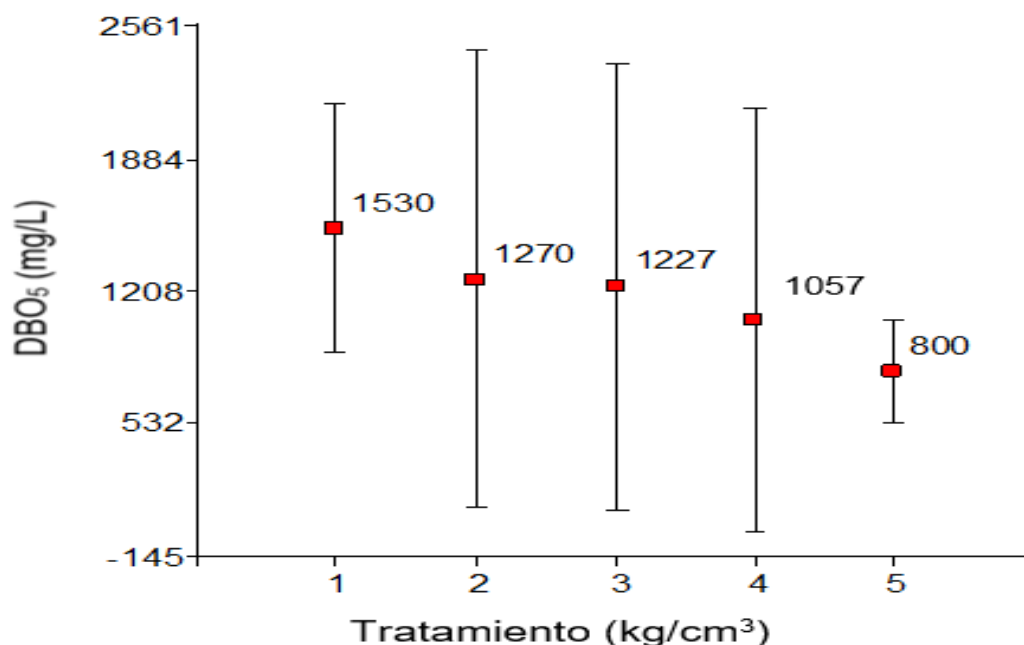


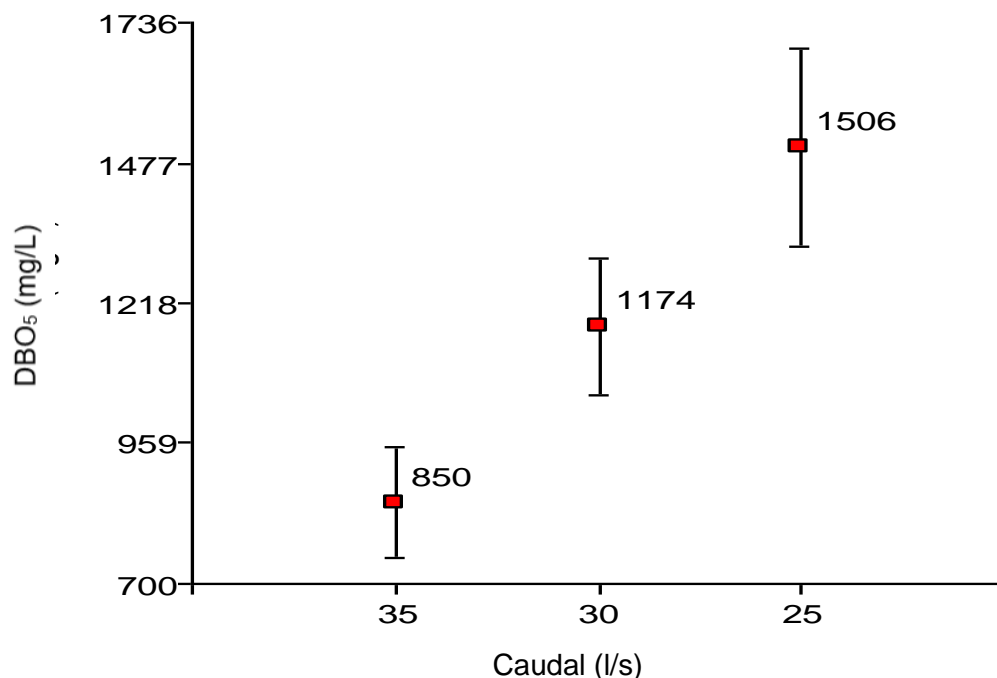
Figura 12. Comparación de la demanda biológica de oxígeno (mg/L) en relación al tratamiento con de piedra pómez (kg/cm<sup>3</sup>) en el tratamiento de aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto 2019)

Sobre la DBO<sub>5</sub>, Rodríguez (1998) señala que la demanda biológica de oxígeno DBO<sub>5</sub> mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos en la transformación de la materia orgánica en CO<sub>2</sub>. Asimismo, Mañunga *et al.*, (2016) asevera que la demanda química de oxígeno DQO no puede ser menor que la DBO, ya que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica. En la investigación realizada con las aguas residuales verdes provenientes del camal de beneficio de animales Azoguini se corrobora, la DQO muestra mayores valores que la DBO<sub>5</sub> en todos los tratamientos realizados, sus promedios son: T1 = DQO 2578mgO<sub>2</sub>/L, DBO<sub>5</sub> 1530mg/L; T2 = DQO 2362mg O<sub>2</sub>/L, DBO<sub>5</sub> 1270mg/L; T3 = DQO 2145mgO<sub>2</sub>/L, DBO<sub>5</sub> 1227mg/L; T4 = DQO 1970mgO<sub>2</sub>/L, DBO<sub>5</sub> 1057mg/L; T5 = DQO 1800mg O<sub>2</sub>/L, DBO<sub>5</sub> 800 mg/L.

Se registra diferencia entre la concentración de demanda biológica de oxígeno DBO<sub>5</sub> (mg/L) y los tratamientos con piedra pómez con diferentes caudales ( $p=0.0432$ ).

Esta diferencia se manifiesta en la disminución de la concentración de DBO<sub>5</sub> respecto al caudal, en relación a los diferentes tratamientos con piedra pómez (kg/cm<sup>3</sup>), ( $p= 0.0432$ ), esto quiere decir que es significativo, por lo menos uno de los tratamientos difiere estadísticamente de los demás. Luego realizado la prueba de comparación múltiple se

denota que el mayor aporte en el estudio es el tratamiento con 35L y el menor es el tratamiento con 25L (Figura 13). por tanto, se demuestra que la hipótesis planteada es válida.



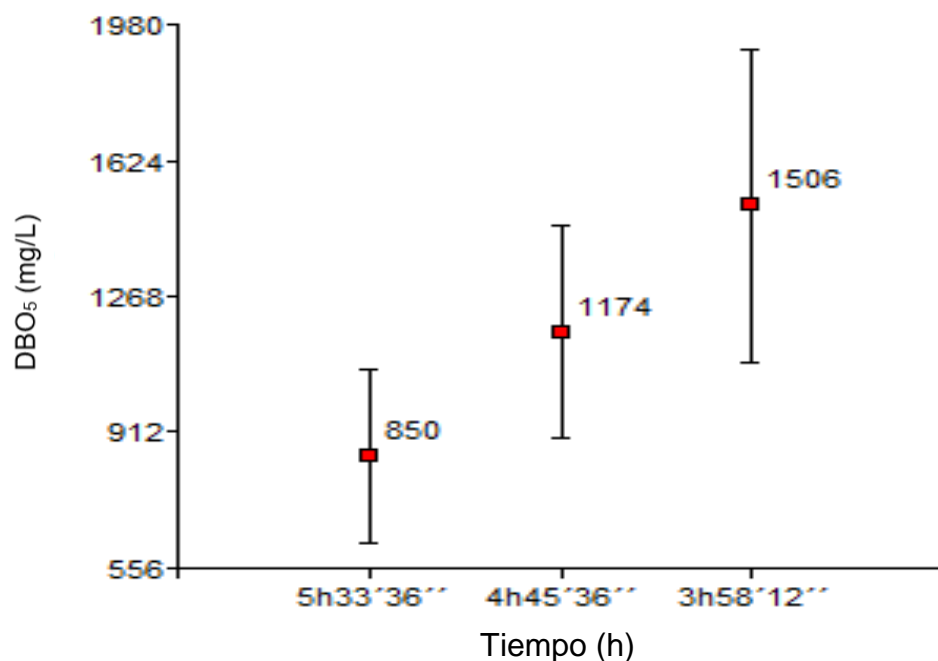
*Figura 13.* Diferencia de disminución de demanda biológica de oxígeno (mg/L) en relación al caudal en el tratamiento de aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto 2019)

Canales & Canales (2014) dice se utilizó como filtros en un sistema piloto de tratamiento de aguas residuales, roca volcánica que al mismo tiempo actúa como un reactor biológico, en este experimento se registró datos de DBO<sub>5</sub>, los resultados fueron favorables, la DBO<sub>5</sub> disminuyó de 454.4 hasta 112 mg/L (75.4% de remoción). En la investigación realizada se corrobora los resultados, donde la DBO<sub>5</sub> se redujo entre 1330 mg/L (54.9%) a 620mg/L (79.0%), con una muestra testigo de 2950mr/L.

Se registra diferencia entre la concentración de demanda biológica de oxígeno DBO<sub>5</sub> (mg/L) y los tratamientos con piedra pómez con diferentes Tiempos ( $p=0.0432$ ).

Esta diferencia se manifiesta en disminución de la concentración de DBO<sub>5</sub> respecto al Tiempo, en relación a los diferentes tratamientos con piedra pómez ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ), ( $p=0.0432$ ), esto quiere decir que es significativo, por lo menos uno de los tratamientos difiere estadísticamente de los demás. Luego realizado la prueba de comparación múltiple se denota que el mayor aporte en el estudio es el tratamiento con 5h33'36'' y el menor es el tratamiento con 3h58'12'' (Figura 14). Por tanto, se demuestra que la hipótesis planteada

es válida.



*Figura 14.* Diferencia de disminución de demanda biológica de oxígeno (mg/L) en relación al tiempo en el tratamiento de aguas residuales verdes proveniente del camal de beneficio de animales Azoguini, Puno (noviembre 2018 a agosto 2019)

Considerando los aspectos señalados en el desarrollo, podemos concluir que mediante la presente investigación se demuestra que los tratamientos con piedra pómez disminuyen la concentración de las aguas residuales verdes respecto a los sólidos totales suspendidos, demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno, de las aguas residuales verdes provenientes del camal de beneficio de animales Azoguini, por consiguiente se puede decir que disminuyen los SST hasta en 47.4% (2458 mg/L), la DQO hasta 65.8% (1690 mgO<sub>2</sub>/L) y la DBO<sub>5</sub> hasta 76.3% (700 mg/L). Si bien con estos resultados no se alcanza los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de la actividad agroindustrial tales como planta de camales y plantas de benéfico, incluyendo los mataderos de acuerdo a la norma peruana, estas son: SST=300mg/L, DQO=500mgO<sub>2</sub>/L, DBO<sub>5</sub>=250mgO<sub>2</sub>/L; se ha demostrado mediante la presente investigación que los tratamientos con concentración de piedra pómez aportan en la disminución de sus concentraciones, por consiguiente, se demuestra que a mayor cantidad de piedra pómez mayor eficiencia, pudiendo emplearse como un pretratamiento.

Sobre el pH, si bien no es el objetivo de la presente investigación, Hidalgo (2013), señala,

que en el ganado vacuno su ambiente ruminal influye en el desarrollo de los microorganismos, ya que los metabolitos se desarrollan en ambientes con microorganismos con pH entre 6,2 a 7,0. Además, Catrileo (2014) precisa, los vacunos presentan microorganismos en su proceso digestivo, los que devienen en un rumen con acidez neutro, soliendo variar muy poco en el valor de pH 7; al verificar los resultados de la investigación realizada en el camal de beneficio de animales Azoguini, se tiene que la muestra testigo registró un pH de 6.56; luego de los tratamientos realizados la variación del pH fluctúa de 6,67 a 7,4 con una diferencia de 0,73 no resultando significativo.



## CONCLUSIONES

- La concentración de sólidos suspendidos totales en las aguas residuales provenientes del camal de beneficio de animales Azoguini Puno, en su muestra testigo registró un valor de 4672 mg/L, después de haber realizado la investigación, la concentración de sólidos totales suspendidos disminuyó hasta 2458 mg/L, los que equivales al 47.4%, por consiguiente, resulta significativo la retención de sólidos suspendidos totales respecto a los tratamientos con piedra pómez.
- El empleo de concentraciones mayores de piedra pómez en los tratamientos de remoción de DQO, demuestra que existe una mayor eficiencia de la demanda química de oxígeno DQO mg O<sub>2</sub>/L en las aguas residuales verdes provenientes del camal de beneficio de animales Azoguini Puno; se muestra una disminución significativa de 4940 mg O<sub>2</sub>/L que es la muestra testigo a 1690 mg O<sub>2</sub>/L de DQO, significando el 65.8%. este resultado significativo se registra en el tratamiento T5 con 5.0kg/cm<sup>3</sup> de piedra pómez, en un tiempo de 5h33'36" para un caudal de 35litros.
- Los tratamientos con mayores concentraciones de piedra pómez (kg/cm<sup>3</sup>), demuestra que existe una eficiencia de remoción de la demanda biológica de oxígeno (mg/L) en las aguas residuales verdes provenientes del camal de beneficio de animales Azoguini Puno, mostrando una disminución significativa de 2950 mg/L que es la muestra testigo a 700 mg/L de DBO<sub>5</sub>, en el tratamiento con 5.0kg/cm<sup>3</sup> de piedra pómez, en un tiempo de 5h33'36" para un caudal de 35L, lo que equivale a una eficiencia de 76.3%.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda mayores estudios, para la implementación de la aplicación de piedra pómez como filtro en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes en el centro de beneficio animal camal Azoguini Puno, determinar el periodo de uso de la piedra pómez, como una alternativa viable para disminuir las concentraciones de sólidos suspendidos totales suspendidos, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, para iniciar otros tratamientos con concentraciones ya morigeradas
- La tendencia de la mayor eficiencia en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes en el centro de beneficio animal camal Azoguini, muestran mejores resultados al aplicar mayores concentraciones de filtro de piedra pómez, por lo que es recomendable para una mayor disminución de concentraciones emplear tratamientos con concentraciones mayores de piedra pómez, para ello es necesario realizar mayores estudios a escala de laboratorio para determinar el periodo de uso y rendimiento del filtro, sin embargo existen investigaciones que señalan el tiempo máximo de retención de aguas residuales debe ser 15 horas.
- Para próximas investigaciones, se recomienda emplear mayores tiempos de retención de las aguas residuales verdes en las concentraciones de piedra pómez para el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes en el centro de beneficio animal camal Azoguini, de esta manera se podrá conocer su mayor eficiencia y rendimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abedi-Koupai, J., Mollaei, R. & Eslamian, S. S. (2015). The effect of pumice on reduction of cadmium uptake by spinach irrigated with wastewater. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 15(4), 208-214. doi:10.1016/j.ecohyd.2015.05.001
- Abyaneh, H. Z. (2014). Evaluation of multivariate linear regression and artificial neural networks in prediction of water quality parameters. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), 1–8. doi.org/10.1186/2052-336X-12-40
- Arce, J. L., Cruz-Fuentes, D., Ramírez-Luna, A., Herrera-Huerta, I. A. & Girón-García, P. (2018). Pómez Bosque de Tlalpan, producto de una erupción de gran magnitud en el margen suroeste de la cuenca de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 34 (3), 274-288.
- Anderson, G. K. (2000). Developments in biological treatment of industrial wastewaters. *Tsinghua Science and Technology*, 5(3), 246–251. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6083295>
- Beltrán Farfán, D. F., Palomino, Calli, R. P., Moreno Terrazas, E. G., Peralta, C. G. & Montesinos Tubée, D. B. (2015). Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca Calidad de agua de la bahía interior de Puno, Water quality of the inner Puno Bay, Titicaca Lake, during summer 2011. *Rev. Peru. Biol*, 22(223), 335–340. doi.org/10.15381/rpb.v22i3.11440
- Canales, G. & Canales, A. (2014). Tratamiento de aguas residuales domésticas a través del diseño e implementación de un módulo (planta piloto) en el Distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa. *Revista de Investigaciones*, 5(4), 16–32. doi.org/10.1097/01.CCM.0000146002.38054.70  
10.1097/01.CCM.0000146137.32072.F7

- Canales, A. (2012). Diseño experimental de tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio. *Revista Investigaciones*, 1(2), 39–51.
- Canales, A. (2011). *Bioestadística: Herramienta para la investigación*. Puno, Perú: Corporación Meru Puno.
- Castillo, E., Rojas, B., Méndez, A., Rodríguez, O. & Pat, R. (2012). Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso de Contactador Biológico Rotacional. *Ingeniería*, 16(2), 83–91
- Catrileo, A. (2014). Uso de pajas de cereales en alimentación de vacunos. *Infomativo INIA*, (82), 141-155
- Cohen, Y. (2015). Biofiltration - The treatment of fluids by microorganisms immobilized into the filter bedding material: a review. *Bioresour. Technol.*, 77(3), 257-274.
- Cornejo, D. (2015). *Determinación de la eficiencia de remoción de la DBO de agua residual domestica mediante la utilización de un biofiltro de piedra pómez*. (Tesis Facultad de Ingeniería Química). Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.
- Cornelis, K., Cornelius, S. & Hurlbut, J. R. (2003) Manual de mineralogía. (Cuarta ed.). Barcelona: Reverte S.A..
- Crespo, S. (2015). *Construcción de mampostería de bloque de pómez, mediante la prefabricación de macro elementos modulares*. (Tesis de Maestría en Construcciones). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Díaz, A., Veliz Lorenzo, E. & Bataller Venta, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 46(15202), 1–10.
- Ebrahimi, S. & Borghei, M. (2011) Biodegradación de formaldehído utilizando un biorreactor aeróbico de lecho inmovilizado con piedra pómez como soporte. *Sharif University of Technology Scientia Iranica*. 18(6), 1372–1376. doi.org/10.1016/j.scient.2011.01.001
- ECURED. (2014). *Piedra Pómez*. Ecuador. Retrieved from [https://www.ecured.cu/Piedra\\_p%C3%B3mez](https://www.ecured.cu/Piedra_p%C3%B3mez)
- Estadística de Comercio Exterior Minería (2000). Agencia Tributaria, Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales. España.
- Eturki, S., Makni, H., boukchina, R. & Dhia, H. B. (2011). Study of the Purification Performance of Sand Filter Drained in a Complementary Treatment of Urban Wastewater under Soil and Climatic Conditions of the Southern Tunisia. *Journal of Water Resource and Protection*, 03(07), 487–494.

doi.org/10.4236/jwarp.2011.37058

- Galindo, A., Toncel, E. & Rincón, N. (2016). Evaluación de un filtro biológico como unidad de post-tratamiento de aguas residuales utilizando conchas marinas como material de soporte Evaluation of a biological filter as post-treatment wastewater unit using sea shells as support material. *Revista ION*, 29(2), 39–50
- Gallegos, A. (2015). *Diseño de la mezcla de hormigón alivianado usando piedra pómez de la Latacunga. Aplicación a la fabricación de paneles prefabricados no estructurales*. (Tesis del Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción). Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador.
- González, C. P., Montaña, A. A. & Castro, D. C. (enero - abril 2012). Obtención y caracterización de geo polímeros sintetizados a partir de ceniza volante y piedra pómez, utilizados para el desarrollo y mejoramiento del concreto. *El Hombre y la Máquina*, (38), 59-65.
- Hamza, R., Iorhemen, O. & Tay, J. (2016). Advances in biological systems for the treatment of high-strength. Avances en sistemas biológicos para el tratamiento de aguas residuales de alta resistencia. *Journal of Water Process Engineering*. 10, 128-142. doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.02.008
- Heibati, B., Yetilmezsoy, K., Zazouli, M., Rodriguez-Couto, S., Tyagi, I., Agarwal, S. & Gupta, V. (2015). Adsorption of ethidium bromide (EtBr) from aqueous solutions by natural pumice and aluminium-coated pumice. *Journal of Molecular Liquids*. 213, 41-47. doi.org/10.1016/j.molliq.2015.08.063
- Hidalgo, V. (2013). Formulación de alimentos balanceados para engorde de ganado vacuno. *AGROBANCO*, 4-30. Retrieved from <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/018-i-ganado.pdf>
- Izlen, D. & Meric, S. (2016). A Review on pumice water and wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment*, 57(39), 1-11, 18131-18143. doi.org/10.1080/19443994.2015.1124348
- Izlen, D. & Meric, S. (2017). Manganese adsorption by iron impregnated pumice composite. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, (522), 279 – 286. doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.03.004
- Izquierdo, T. (2016). *Efecto de un biofiltro de piedra pómez en la remoción del material orgánico del efluente agroindustrial Casa grande*. (Tesis facultad de ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.

- Kamal, A., Abdeltif, A., Hossein, K., Reza, P. & Mansur, Z. (2013). Retention of phosphorous ions on natural and engineered waste pumice: Characterization, equilibrium, competing ions, regeneration, kinetic, equilibrium and thermodynamic study. *Applied Surface Science*. (284), 419-431. doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.07.114
- Kuslu, Y. (2013). A comparison study on the removal of suspended solids from irrigation water with pumice and sand-gravel media filters in the laboratory scale. *Desalination and Water Treatment*, 51(10-12), 2047–2054. doi.org/10.1080/19443994.2013.734492
- Maldonado, I., Rodríguez A. & Cajiao A. (2017). Treatment landfill leachate in filters anaerobic upflow of two phases (DI – FAFS). *Revista Ingeniería UC*, 24(1), 91–104
- Makas, A. (2018). *Flow Injection Analysis of industrial water samples*. (Master thesis)- Lancaster University, Lancaster, United Kingdom.
- Mansilla, G. (2013). Potencial de hidrogeniones pH. *Revista de Actualización Clínica*, 40(40), 2076-2082
- Mañunga, T., Rodríguez J. & Torres, P. (2016). Tratamiento de agua residual doméstica sin clarificación primaria en un sistema de lodos activados en la modalidad de estabilización por contacto. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 30(2), 246-260
- Mariño, J. & Thouret, J. (2018). Geología, historia eruptiva y evaluación de peligros del volcán Ticsani (Sur del Perú). *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 95, 7-31.
- Moreno Alcalde, S., Ruiz-Roso, B., Pérez-Olleros, L. & Belmonte Cortés, S. (2014). Contenido de ácidos grasos trans en alimentos comercializados en la Comunidad de Madrid (España). *Nutrición Hospitalaria*, 29(1), 180-186. doi.org/10.3305/nh.2014.29.1.6980
- Moya, T. (2017). *Análisis de la piedra pómez utilizada como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de productos lácteos "Píllaro" ubicada en el cantón Píllaro provincia de Tungurahua*. (Tesis de la Facultad de ingeniería civil y mecánica). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Nata, J. (2018). *Análisis de piedra como filtro de tratamiento de aguas residuales de una lavadora y lubricadora de autos "City Wash", ubicada en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua*. (Tesis de grado). Universidad Técnica de Ambato,

- Ambato, Ecuador. Retrieved from  
[repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27678](https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27678)
- Noori, M., Zarrabi, M., Kazemianb, H., Amranec, A., Yaghmaian, K. & Reza H. (2013). Removal of hardness agents, calcium and magnesium, by natural and alkaline modified pumice stones in single and binary systems. *Applied Surface Science*. 274, 295–305. doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.03.042
- Osorio, F. y Hontoria, E. (2002). Wastewater treatment with a double-layer submerged biological aerated filter, using waste materials as biofilm support. *Journal of Environmental Management*, 65(1), 79–84. doi.org/10.1006/jema.2001.0530
- Pungrasmi, W., Phinitthanaphaka, P. & Powtongsook, S. (2016). Nitrogen removal from a recirculating aquaculture system using a pumice bottom substrate nitrification-denitrification tank. *Ecological Engineering Journal*, 95, 357–363. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.094
- Uscamayta, E. & Yarahuaman, A. (2017). *Evaluación comparativa de la respuesta sísmica de la edificación de aulas generales, laboratorios y otros, UAC de concreto armado convencional; con respecto a la respuesta sísmica de la misma edificación simulada de concreto liviano utilizando piedra pómez de la provincia de Canchis*. (Tesis de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura). Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.
- Vásconez, V. (2017). *Análisis de la piedra pómez como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del centro de faenamiento Ocaña del Cantón Quero*. (Tesis de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Zagal, E. y Sadzawka A. (2007). Protocolo de Métodos de Análisis para suelos y lodos. *SAG Servicio Agrícola y Ganadero. Chile*, 1–103. Retrieved from [www.sag.cl/sites/default/files.pdf](http://www.sag.cl/sites/default/files.pdf)

**WEBGRAFÍA**

- es.slideshare.net Esquema de diseño ANOVA  
<https://es.slideshare.net/982606868/dca-y-bca>
- www.google.com.pe Estadísticas: Regresión y correlación
- www.fao.org/3/X6845S/X6845S02.htm
- Google MAPS (2019). Ubicación del camal Azoguini  
<https://www.google.com.pe/maps/place/Camal+Azoguini/@-15.8313245,-70.0380108,177m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x915d69a490f85da5:0x3cca8fb528953086!8m2!3d-15.8315573!4d-70.0379565?hl=es-419>





**ANEXOS**

Anexo 1. Informe de ensayos de laboratorio - 01



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00101

Fecha de emisión : 13/03/2019

Página 1 de 3

Señoras : ARQUIMIDES LEON VARGAS LUQUE  
 Dirección : JR. JOSE OLAYA 126 - PUNO  
 Atención : ARQUIMIDES LEON VARGAS LUQUE  
 Proyecto : APLICACIÓN DE PIEDRA POMEZ COMO FILTRO EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UN CENTRO DE BENEFICIO ANIMAL - PUNO

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : ARQUIMIDES L. VARGAS LUQUE  
 Registro de muestreo : 071-19  
 Procedimiento Aplicado : Muestreo por el cliente  
 Fecha de recepción : 02/03/2019  
 Fecha de ensayo : 02/03/2019  
 Nro de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000139	0	Agua Residual - Agua Residual Industrial	AZOGUINI / PUNO / PUNO / PUNO	CAMAL AZOGUINI	01/03/2019	14:10

(c) datos proporcionados por el cliente

Condiciones de recepción de la muestra  
 Cooler refrigerado

Observación  
 -

*(Firma)*  
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 Omar A. Juárez Soto  
 Gerente de Operaciones  
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114408

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.  
 \*\*«Valor numérico» = Límite de detección del método, «Valor Numérico» = Límite de cuantificación del método.  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú  
 Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 5865



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro IFLC 380

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00101

Fecha de emisión : 13/03/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*147	808	858	860
		ST mg/L	pH Unidad de pH	T °C	DBO-5 mg/L
AG19000139	0	4672	6,56	18,5	2950,0 4940

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

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

<sup>147</sup><Valor numérico> = Límite de detección del método, <sup>808</sup><Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

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

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú  
 Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 5866



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro I.F.L. - 888

**INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00101**

Fecha de emisión : 13/03/2019

Página 3 de 3

**MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS**

Código	Título	Rango
847	Sólidos Totales en agua por gravimetría SMEWW 22 ed Part 2540 B Total Solids Dried at 103-105 °C	[ 8 - 1050 ] mg/L
808	Determinación de pH en aguas SMEWW 22 th Ed 4500-H pH Part B Electrometric Method (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ 0 - 14 ] Unidades de pH
859	Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno en aguas DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed (5g Método Iodo métrico Azida Sodio) (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ 0.5 - 20000 ] mg/L
860	Ensayo de demanda química de oxígeno en aguas DQO SMEWW 22 th Ed 5220-COD Part D, Closed reflux, Colorimetric Method (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ 2 - 10000 ] mg O2/L

\* : Límite de detección      b : Límite de cuantificación

*(Firma)*  
 Laboratorio Analítico del Sur E.I.R.L.  
 Omar A. Juárez Soto  
 Gerente de Operaciones  
 M. Sc. Ingeniería Química OP 114428

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

\*«Valor numérico» = Límite de detección del método, "«Valor Numérico»" = Límite de cuantificación del método.

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

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú  
 Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 5867

Anexo 2. Informe de ensayos de laboratorio - 02



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N.º LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00102

Fecha de emisión : 13/03/2019

Página 1 de 3

Señores : ARQUIMIDES LEON VARGAS LUQUE  
 Dirección : JR. JOSE OLAYA 126 - PUNO  
 Atención : ARQUIMIDES LEON VARGAS LUQUE  
 Proyecto : APLICACION DE PIEDRA POMEZ COMO FILTRO EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UN CENTRO DE BENEFICIO ANIMAL - PUNO

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : ARQUIMEDES L. VARGAS LUQUE  
 Registro de muestreo : 072-19  
 Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 02/03/2019  
 Fecha de ensayo : 02/03/2019  
 Nro de muestras : 5

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000140	1	Agua Residual - Agua Residual Industrial	AZOGUINI, PUNO, PUNO, PUNO	CAMAL AZOGUINI	01/03/2019	14:25
AG19000141	2	Agua Residual - Agua Residual Industrial	AZOGUINI, PUNO, PUNO, PUNO	CAMAL AZOGUINI	01/03/2019	14:44
AG19000142	3	Agua Residual - Agua Residual Industrial	AZOGUINI, PUNO, PUNO, PUNO	CAMAL AZOGUINI	01/03/2019	15:05
AG19000143	4	Agua Residual - Agua Residual Industrial	AZOGUINI, PUNO, PUNO, PUNO	CAMAL AZOGUINI	01/03/2019	15:25
AG19000144	5	Agua Residual - Agua Residual Industrial	AZOGUINI, PUNO, PUNO, PUNO	CAMAL AZOGUINI	01/03/2019	15:45

(c) : datos proporcionados por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra  
 Cooler refrigerado

Observación

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

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

\*«Valor numérico» = Límite de detección del método, "«Valor Numérico» = Límite de cuantificación del método.

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

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

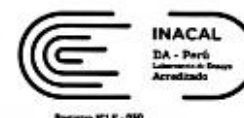
Parque Industrial Rio Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú  
 Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 5868



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00102

Fecha de emisión : 13/03/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	847	808		859	860
		ST	pH	T	DBO-5	DQO
		mg/L	Unidad de pH	°C	mg/L	mg O2/L
AG19000140	1	3388	6,68	18,4	1250,0	2430
AG19000141	2	2844	6,67	18,3	800,0	2170
AG19000142	3	2740	6,94	18,4	800,0	2020
AG19000143	4	2468	6,86	18,4	700,0	1930
AG19000144	5	2592	6,67	18,4	700,0	1690

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

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

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

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

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú  
 Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 5869



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

**INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00102**

Fecha de emisión : 13/03/2019

Página 3 de 3

**MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS**

Código	Título	Rango
*847	Sólidos Totales en agua por gravimetría. SMEWW. 22 st Ed. Part.2540 B. Total Solids Dried at 103-105 °C	[* 8 - 1000] mg/L
808	Determinación de pH en aguas SMEWW. 22 th Ed.4500-H pH Part.B. Electrometric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 0 - 14] Unidad de pH
859	Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno en aguas DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part.5210 B. 22nd Ed (5g Método Iodo métrico Azida Sódio). (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 0.5 - 20000] mg/L
880	Ensayo de demanda química de oxígeno en aguas DQO SMEWW. 22 th Ed.5220-COD Part.D. Closed reflux, Colorimetric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 2 - 10000] mg O2/L

\* : Límite de detección      † : Límite de cuantificación

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

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

\*«Valor numérico» = Límite de detección del método, †«Valor Numérico» = Límite de cuantificación del método.

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

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú  
 Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 5870

Anexo 3. Informe de ensayos de laboratorio - 03



**Universidad Nacional del Altiplano - Puno**  
**Vicerrectorado de Investigación**  
 Megalaboratorio de Investigación Ambiental-Suelos y Aguas, Minerales  
 Espectroscopia ICP - Microscopia Electrónica de Rayos X



**INFORME DE ANÁLISIS Nº 005-2019**

**ASUNTO ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO: CAMAL AZOQUINI**

**PROCEDENCIA** : Puno, Camal Azoguini  
**LUGAR** : Camal Azoguini  
**INTERESADO** : Arquímedes León Vargas Luque  
 Inv. Aplicación de piedra pómez como filtro en el proceso de tratamiento de aguas residuales de un centro de beneficio animal – Puno.

**MOTIVO** : Ensayos físico químicos DBO5, DQO, SST, pH, T\*,  
**MUESTREO** : 12/06/19  
**ANÁLISIS** : 13/06/19 – 18/06/19  
**MUESTRA TOMADA** : Por el interesado y ha sido aceptada en laboratorio en cinco frascos de vidrio de 1.50L. (hr. 14:30)

**INFORME DE ENSAYOS**

Muestra	T °C	PH Unidad de pH	SST mg/L	DQO mg/L	DBO5 mg/L
1	14.0	6.7	3660	2645	1590
2	13.7	6.9	3350	2450	1270
3	14.5	7.4	3120	2195	1170
4	14.8	7.2	3050	1940	930
5	14.4	7.3	2980	1820	910

**MÉTODOS DE ENSAYO:**

Los resultados obtenidos de la muestra son válidos con las NTP: ECA y Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (4th edition -1975- 20th edition 2005) APHA-AWWA-WPCF

**NOTA:**

- El presente Informe de Ensayos, sólo es válido únicamente para la Muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido suministrado por el cliente, el laboratorio, no se responsabiliza a las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- Este Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del producto.

Puno, 01 agosto 2019



*[Firma]*  
 Ing. Nere Ortiz Colchero  
 CIP. Nº 212650

Ciudad Universitaria - Teléfono (051) 599430 Anexo 31102





Universidad Nacional del Altiplano - Puno  
 Vicerrectorado de Investigación  
 Megalaboratorio de Investigación Ambiental-Suelos y Aguas, Minerales  
 Espectroscopia ICP - Microscopia Electrónica de Rayos X



**INFORME DE ANÁLISIS N° 006-2019**

**ASUNTO ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO: CAMAL AZOGUINI**

**PROCEDENCIA** : Puno, Camal Azoguini  
**LUGAR** : Camal Azoguini  
**INTERESADO** : Arquímedes León Vargas Luque  
 Inv. Aplicación de piedra pómez como filtro en el proceso de tratamiento de aguas residuales de un centro de beneficio animal – Puno.

**MOTIVO** : Ensayos físico químicos DBO5, DQO, SST, pH, T°.  
**MUESTREO** : 04/07/19  
**ANÁLISIS** : 05/07/19 – 10/07/19  
**MUESTRA TOMADA** : Por el interesado y ha sido aceptada en laboratorio en cinco frascos de vidrio de 1.50L. (hr. 10:15)

**INFORME DE ENSAYOS**

Muestra	T °C	PH Unidad de pH	SST mg/L	DQO mg O2/L	DBO5 mg/L
1	9.00	7.4	3360	2660	1750
2	8.58	7.4	3240	2470	1740
3	7.58	7.3	3080	2220	1710
4	7.90	7.4	3010	2040	1540
5	8.30	7.4	2820	1890	790

**MÉTODOS DE ENSAYO:**

• Con resultados obtenidos de la muestra con validación con las NTP, EPA y Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 18th edition (1975-2006 edition-2005 APHA-AWWA-WPCF

**NOTA:**

- El presente Informe de Ensayos, sólo es válido únicamente para la Muestra analizada.
- No deben referirse a la Muestra otros parámetros que no están consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente, el laboratorio, no es responsable si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- Este Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del producto.

Puno, 01 agosto 2019



*[Firma]*  
**Ing. Nora Ortiz Calcha**  
 CP. N° 212080

Ciudad Universitaria - Teléfono (051) 599430 Anexo 31102

**Anexo 4.** Resultados de ensayos de laboratorio de SST, DQO y DBO<sub>5</sub>

Tabla 6

*Resumen de Análisis de SST de aguas residuales verdes con tratamiento de piedra pómez del Camal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)*

Repeticiones	1kg.		2kg.		3kg.		4kg.		5kg.	
	SST	pH	SST	pH	SST	pH	SST	pH	SST	pH
T0	<b>4672</b>	<b>6.56</b>								
1	3388	6.68	2844	6.67	2740	6.94	2458	6.86	2592	6.67
2	3660	6.7	3350	6.9	3120	7.4	3050	7.2	2980	7.3
3	3360	7.4	3240	7.4	3080	7.3	3010	7.4	2820	7.4
Promedios	3469	6.93	3145	6.99	2980	7.21	2839	7.15	2744	7.12

T0 = Tratamiento inicial

Tabla 7

*Análisis de DQO y DBO<sub>5</sub> de aguas residuales verdes con tratamiento de piedra pómez del Camal Azoguini, (noviembre 2018 a agosto 2019)*

Repeticiones	1kg.		2kg.		3kg.		4kg.		5kg.	
	DQO	DBO <sub>5</sub>	DQO	DBO <sub>5</sub>	DQO	DBO <sub>5</sub>	DQO	DBO <sub>5</sub>	DQO	DBO <sub>5</sub>
<b>T0</b>	<b>4940</b>	<b>2950</b>								
1	2430	1250	2170	800	2020	800	1930	700	1690	700
2	2645	1250	2450	1270	2195	1170	1940	930	1820	910
3	2660	1590	2470	1740	2220	1710	2040	1540	1890	790
Promedios	2578	1530	2363	1270	2145	1227	1970	1057	1800	800

T0 = Tratamiento inicial

**Anexo 5.** Evidencias fotográficas

*Figura 15.* Proceso de instalación del sistema de tratamiento de aguas residuales verdes del centro de beneficio animal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)



*Figura 16.* Instalación de tanques para el agua residual verde del centro de beneficio animal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)



*Figura 17.* Instalación concluida del sistema de tratamiento de aguas residuales verdes del centro de beneficio animal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)



*Figura 18.* Preparación de poza de sedimentación Camal Azoguini, para la obtención de muestras de las aguas verdes del centro de beneficio animal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)



*Figura 19.* Operación del sistema de sedimentación del centro de beneficio animal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)



*Figura 20.* Preparación de los filtros de piedra pómez, en el laboratorio de mecánica de suelos y rocas de la EPIG - UNAP



*Figura 21.* Mallas empleadas para la selección granulométrica de la piedra pómez, en el laboratorio de mecánica de suelos y rocas de la EPIG - UNAP



*Figura 22.* Pesado de piedra pómez para las distintas repeticiones, en el laboratorio de mecánica de suelos y rocas de la EPI- UNAP



Figura 23. Rotulado de las muestras de tratamientos de aguaresiduales verdes en el centro de beneficio animal Azoguini, para el envío al laboratorio de ensayo acreditado por la dirección del INACAL (noviembre 2018 a agosto 2019)





*Figura 24.* Reducción visual de los SST, tratamiento 01: T0 con T1, T2, T3, T4 y T5, de las aguas residuales verdes, del centro de beneficio animal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)



*Figura 25.* Reducción visual de los SST, tratamiento 02: T0 con T1, T2, T3, T4 y T5, de las aguas residuales verdes, del centro de beneficio animal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)



*Figura 26.* Comparación visual de los SST, tratamiento 03: T0 con T1, T2, T3, T4 y T5, de las aguas residuales verdes, del centro de beneficio animal Azoguini (noviembre 2018 a agosto 2019)



*Figura 27.* Traslado de muestras de aguas residuales verdes del centro de beneficio animal Azoguini al laboratorio de ensayo acreditado por la dirección del INACAL (noviembre 2018 a agosto 2019)



*Figura 28.* Traslado de muestras de aguas residuales verdes del centro de beneficio animal Azoguini al laboratorio de ensayo acreditado por la dirección del INACAL (noviembre 2018 a agosto 2019)