



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



REMOCIÓN DE LA SAPONINA DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA QUINUA

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. MARLENY MARITZA MAYTA CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO - PERÚ

2020



DEDICATORIA

A Dios, porque me fortaleció en el transcurrir de mi camino siendo mi soporte en todas las situaciones.

A mis padres Alejandro y Justina, porque ellos han dado razón a mi vida, por apoyarme incondicionalmente y por haber sido el principal respaldo en mi formación académica en los diferentes niveles, que ahora guían mi camino desde el cielo.

A mi hermana Esperanza, a mi hermano, por ser mi familia, darme el entusiasmo y alegría.

A Marco, por apoyarme en los momentos difíciles de mi vida e impulsar en la elaboración de este proyecto.

A mis amigos, Jessica, Yohana, Dennis, que me acompañaron en el proceso de mi formación académica.

Marleny Mayta.



AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a mis padres, con su amor y trabajo me educaron y apoyaron en toda mi formación profesional.

A la Universidad Nacional del Altiplano y Facultad de Ingeniería Química, a mis docentes por la formación profesional brindada.

Agradezco a la ing. Nancy Guerra, por todo el apoyo en este proceso de elaboración de mi proyecto, Lic. Wilber Cornejo y Ing. Rodolfo Incacari.

Agradezco a mi director de tesis Dr. Norberto Miranda, a mis jurados Dr. Myrian Pacheco, M.Sc. Salomon Ttito y M.Sc. Janette Ramos, por brindarme pautas y conocimientos necesarios para la realización de este trabajo.

Agradezco a mis amigos, compañeros de la universidad que compartí muchas anécdotas, que me brindaron su amistad y apoyo.

Marleny Mayta.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN..... 11

ABSTRACT..... 12

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO GENERAL..... 14

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES. 15

2.2. MARCO TEÓRICO..... 17

2.2.1. La quinua 17

2.2.2. La saponina. 21

2.2.3. La saponina en la quinua. 23

2.2.4. Oxidación química en aguas residuales 28

2.2.5. Proceso de oxidación avanzada 29

2.2.6. Óxido de titanio (IV) o dióxido de titanio (TiO₂)..... 31

2.2.7. Peróxido de hidrógeno (H₂O₂)..... 31

2.2.8. Sulfato ferroso (FeSO₄) 32

2.2.9. Luz ultravioleta (UV)..... 32

2.2.10.Demanda química de oxígeno..... 35

2.2.11.Transmitancia y absorbancia 36

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS



3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN	38
3.2.	MATERIALES	38
3.3.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	39
3.3.1.	Evaluación de la saponina.....	39
3.3.2.	Proceso de oxidación avanzada (POA).....	42
3.3.3.	Evaluación de la remoción de la materia orgánica.	51

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	EVALUACIÓN DE LA SAPONINA.....	52
4.2.	PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA POA.....	52
4.2.1.	Resultados del proceso de oxidación avanzada con óxido de titanio (TiO ₂).....	52
4.2.2.	Resultados del proceso de oxidación avanzada con óxido de titanio y peróxido de hidrogeno (TiO ₂ /H ₂ O ₂):.....	53
4.2.3.	Resultados del proceso de oxidación avanzada con óxido de titanio, peróxido de hidrogeno y sulfato ferroso (TiO ₂ /H ₂ O ₂ /FeSO ₄):	55
4.2.4.	Resultados del proceso de oxidación avanzada con óxido de titanio, peróxido de hidrogeno, sulfato ferroso y radiación uv (TiO ₂ /H ₂ O ₂ /FeSO ₄ /UV):	56
4.3.	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA (DQO).....	57
4.4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REMOCIÓN DE SAPONINA DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DEL DESAMARGADO DE QUINUA.....	58
4.4.1.	Remoción de saponina con óxido de titanio (TiO ₂).....	59
4.4.2.	Remoción de saponina con (tio ₂) óptimo y peróxido de hidrógeno (TiO ₂ /H ₂ O ₂).....	60
4.4.3.	Remoción de saponina con oxido óptimos (TiO ₂ /H ₂ O ₂) y sulfato ferroso (TiO ₂ /H ₂ O ₂ /FeSO ₄).....	61
4.4.4	Remoción de la saponina con oxidantes óptimos (TiO ₂ /H ₂ O ₂ /FESO ₄) y radiación ultravioleta (UV)	62
V.	CONCLUSIONES.....	69



VI.	RECOMENDACIONES	70
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	71
	ANEXOS	77

Área : Tecnologías Ambientales y Recursos Naturales

Tema : Remoción de Saponina de Aguas Residuales

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 02 de Enero del 2020.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura general de una saponina.....	21
Figura 2. Estructura de una saponina monoglicosilada: ácido 3-O-β-D-glucopiranosil oleanólico.	22
Figura 3. Estructura de una saponina triglicosilada: ácido 3,23-bis[(O-β-D-glucopiranosil) oxil] olean-12-en-28-oico-28-O-α-L-arabinopiranosil-(1→3)-β-D-glucopiranosiléster.....	22
Figura 4. Estructura de la β-amirina, esqueleto base de las saponinas identificadas en la (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>).	26
Figura 5. Esquema de un sistema de desinfección con luz ultravioleta.....	35
Figura 6. Curva de calibración para cuantificación de saponinas triterpénicas pentacíclicas.	41
Figura 7: Remoción de saponina con óxido de titanio (TiO ₂).....	53
Figura 8: Remoción de saponina con óxido de titanio y peróxido de hidrogeno (TiO ₂ /H ₂ O ₂).....	54
Figura 9. Remoción de saponina con óxido de titanio, peróxido de hidrogeno y sulfato ferroso (TiO ₂ /H ₂ O ₂ /FeSO ₄)	55
Figura 10. Remoción de saponina con óxido de titanio, peróxido de hidrogeno, sulfato ferroso y rayos ultravioleta (TiO ₂ /H ₂ O ₂ /FeSO ₄ /UV)	56
Figura 11. Porcentaje de remoción de materia orgánica con respecto a la demanda química de oxígeno con el POA (TiO ₂ /H ₂ O ₂ /FeSO ₄ /UV).	58
Figura 12. Pruebas de múltiple rangos para remoción de saponina por (TiO ₂).....	60
Figura 13. Pruebas de múltiple rangos para remoción de saponina por (H ₂ O ₂)	61
Figura 14. Pruebas de múltiples rangos para POA con (FeSO ₄) por tiempo.....	65
Figura 15. Pruebas de múltiples rangos para POA con UV por tiempo	67



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición proximal de fracciones de granos de quinua	20
Tabla 2. Efecto de la temperatura en la presencia de saponinas.....	25
Tabla 3. Pruebas de coloración para la identificación de saponinas.....	25
Tabla 4. Contenido de saponinas en variedades de quinua (<i>chenopodium quinoa willd</i>) en Perú.....	27
Tabla 5. Clasificación de procesos de oxidación avanzada	30
Tabla 6. Datos para la curva de calibración de las saponinas patrón.....	40
Tabla 7. Matriz de evaluación del POA con (TiO ₂).....	45
Tabla 8. Matriz de evaluación del POA con (TiO ₂ /H ₂ O ₂).....	47
Tabla 9. Matriz de evaluación del POA con (TiO ₂ /H ₂ O ₂ /FeSO ₄).	48
Tabla 10. Matriz de evaluación del POA con (TiO ₂ /H ₂ O ₂ /FeSO ₄ /UV).....	50
Tabla 11. Concentración de saponinas de quinua.....	52
Tabla 12. Evaluación de la remoción de saponina por POA con tratamiento de (TiO ₂)52	
Tabla 13. Evaluación de la remoción de saponina por POA con tratamiento de (TiO ₂ /H ₂ O ₂).....	54
Tabla 14. Evaluación de la remoción de saponina por POA con tratamiento de (TiO ₂ /H ₂ O ₂ /FeSO ₄).	55
Tabla 15. Evaluación de la remoción de saponina por POA con tratamiento de (TiO ₂ /H ₂ O ₂ /FeSO ₄ /UV).	56
Tabla 16. Evaluación del POA con tratamiento (TiO ₂ /H ₂ O ₂ /FeSO ₄ /UV) para remoción de la DQO.....	57
Tabla 17. Anova para remoción de saponina por POA, TiO ₂	59
Tabla 18. Anova para remoción de saponina por POA, TiO ₂	59
Tabla 19. Anova para remoción de la saponina por H ₂ O ₂	60
Tabla 20. Pruebas de múltiples rangos para remoción de saponina por H ₂ O ₂	61
Tabla 21. Anova para remoción de la saponina por FeSO ₄	61
Tabla 22. Anova para remoción de la saponina utilizando radiación ultravioleta (UV) con oxidantes óptimos (TiO ₂ /H ₂ O ₂ /FeSO ₄)	62



Tabla 23. Anova para remoción de DQO utilizando POA con (TiO ₂ /H ₂ O ₂ /FeSO ₄ /UV) para determinar el tiempo óptimo de equilibrio	62
Tabla 24. Anova para tratamiento de diferentes tiempos y POA con (TiO ₂ /H ₂ O ₂) óptimos y (FeSO ₄).....	63
Tabla 25. Pruebas de múltiple rangos para POA con FeSO ₄ por tiempo, método: 95.0 porcentaje LSD.....	64
Tabla 26. Anova para POA (TiO ₂ /H ₂ O ₂ /FeSO ₄) óptimos con UV por tiempo	65
Tabla 27. Pruebas de múltiple rangos para POA con UV por tiempo	66
Tabla 28. Resumen de la remoción de saponina de quinua de aguas residuales industriales por tratamiento de procesos de oxidación avanzada (POA)	67



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

POA	:	Proceso de Oxidación Avanzada.
UV	:	Luz Ultravioleta.
H ₂ SO ₄	:	Ácido sulfúrico QP
TiO ₂	:	Óxido de titanio QP
H ₂ O ₂	:	Peróxido de hidrogeno QP
FeSO ₄	:	Sulfato ferroso
C ₄ H ₆ O ₃	:	Anhídrido acético.
CH ₃ OH	:	Metanol
A	:	Absorbancia.
%T	:	Porcentaje de transmitancia
DQO	:	Demanda química de oxígeno
DQO _o	:	Demanda química de oxígeno inicial
DQO _f	:	Demanda química de oxígeno final
PTAR	:	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
VMA	:	Valores Máximo Admisibles
LAS	:	Los alquilbencensulfonatos lineales.
HO •	:	Radicales hidroxilo.
%R	:	Porcentaje de emoción.
mg/L	:	Miligramos por Litro.
mL	:	Mililitros
Co	:	Concentración inicial
Cf	:	Concentración final
pH	:	Potencial de Hidrogeno.
O ₃	:	Ozono
V	:	Voltio
eV	:	Electronvoltio
rpm	:	Revoluciones por minuto
C _n H _{2n} -8O ₁₈	:	Saponina
λ	:	Longitud de onda
nm	:	Nanómetros
LMP	:	Límite Máximo Permisible
ADN	:	Ácido desoxirribonucleico
CLBR	:	Cromatografía líquida de baja resolución
CLMR	:	Cromatografía líquida de media resolución
CLAR	:	Cromatografía líquida de alta resolución
DE	:	Desviación estándar
RSD	:	Desviación estándar relativa



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Juliaca, Puno; que permitió evaluar la remoción de saponina en efluentes de aguas residuales de la industria del procesamiento de desaponificado de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) utilizando procesos de oxidación avanzada y remoción de materia orgánica cuantificada por la demanda química de oxígeno. El lavado para desaponificar la quinua demanda grandes volúmenes de agua. Se experimentó a nivel de laboratorio utilizando reactores mezcladores para soluciones de agua residual con contenido de saponina, a las que se les agregó los reactivos de proceso de oxidación avanzada: remoción de la saponina con (óxido de titanio), (óxido de titanio/peróxido de hidrogeno), (óxido de titanio/peróxido de hidrogeno/sulfato ferroso) y (óxido de titanio/peróxido de hidrogeno/sulfato ferroso/rayos UV); se realizó la evaluación de la remoción del contenido de materia orgánica a partir de la cantidad de oxígeno necesaria para su completa oxidación expresado como demanda química de oxígeno. Para la evaluación de la saponina se aplicó el método espectrofotométrico en soluciones; determinándose el porcentaje de remoción para diferentes procesos de oxidación avanzada. Se evidencia que la concentración óptima de óxido de titanio (TiO_2) es de 60 mg/L que corresponde al 43.49 % de saponina; la concentración óptima de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) es de 60 mg/L, para una remoción del 97.27 % de saponina; la concentración óptima del sulfato ferroso (FeSO_4) es de 40 mg/L, para la remoción del 96.25 % de saponina; el tiempo óptimo de recirculación del flujo de agua residual con contenido de saponina, en la cámara de tratamiento de rayos ultravioleta (UV) es por 20 minutos, para una remoción del 96.13 % de saponina. En cuanto al rendimiento de la remoción de la materia orgánica cuantificado por la demanda química de oxígeno (DQO), es del 75.71%; por procesos de oxidación avanzada (POA) de: ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$).

Palabras Clave: Saponina, oxidantes, remoción, toxicidad, agua residual.



ABSTRACT

The present work on the contamination of water by quinoa saponin, product of the washing of quinoa for its industrialization, was carried out in the city of Juliaca, Puno, to evaluate the removal of saponin in wastewater effluents from the processing industry of the deponification of quinoa using advanced oxidation processes and removal of organic matter quantified by the chemical oxygen demand. Washing to de-quantify quinoa demands large volumes of water. It was experimented at the laboratory level using mixing reactors for wastewater solutions with saponin content, to which the advanced oxidation process reagents will be added: saponin removal with (titanium oxide), (titanium oxide/peroxide) hydrogen), (titanium oxide/hydrogen peroxide/ferrous sulfate) and (titanium oxide/hydrogen peroxide/ferrous sulfate/UV rays); The evaluation of the removal of the organic matter content from the amount of oxygen necessary for complete oxidation was performed with the results of chemical oxygen demand emitted by the external laboratory. For the evaluation of saponin, the spectrophotometric method in solutions was applied; the percentage of removal was calculated. It is evident that the optimal concentration of TiO_2 titanium oxide is 60 mg/L corresponds to 43.49%. The results of the optimal concentration of hydrogen peroxide H_2O_2 is 60 mg/L; for a 97.27% saponin removal. The results shown show that the optimal concentration of ferrous sulfate FeSO_4 is 40 mg/L; for the removal of 96.25% saponin. It is evidenced that the optimal recirculation time of the flow of residual water with saponin content, by the ultraviolet (UV) treatment chamber is for 20 minutes, for a 96.13% saponin removal. Regarding the removal performance of organic matter quantified by the chemical oxygen demand (COD), it is 75.71%, applying advanced oxidation processes (POA) of: ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$).

Keywords: Saponin, oxidants, removal, toxicity, wastewater.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La comercialización y la industrialización de la quinua peruana a causa de su característica propia, esta debe ser escasa de su componente saponina presente en la cobertura externa (episperma) del grano de quinua que es responsable del sabor amargo e indeseable, por cuya razón se limita el consumo de la quinua en la alimentación y hacerla apta para el consumo humano; las operaciones inherentes a este proceso reciben globalmente el nombre de desaponificación, que resulta del lavado de los granos de quinua que consiste en un proceso de extracción sólido - líquido utilizando agua como solvente. Esta vía húmeda consume cantidades considerables de volumen de agua entre una relación promedio de 10:1 (10 Litros de agua por 1 Kg de quinua) y el agua utilizada en este proceso de desaponificación de la quinua ya sea a nivel artesanal o industrial son evacuadas directamente a fuentes naturales receptoras y plantas de tratamiento de agua residual. El presente trabajo de investigación se desarrolló como una alternativa viable para la remoción de la saponina de las aguas residuales del proceso de desaponificación de la quinua, tratamiento que permitió remover el contaminante saponina del agua residual; el tratamiento del agua residual es por vía de procesos de oxidación avanzada (POA) que implica la formación de (Domenech *et al.*, 2012) radicales hidroxilo ($\text{HO} \bullet$), que da lugar a la mineralización completa de los componentes de la saponina $\text{C}_n\text{H}_{2n-8}\text{O}_{18}$ y otros contaminantes presentes en el afluente del agua residual; en el trabajo se utilizó los procesos de oxidación, con óxido de titanio/peróxido de hidrogeno/sulfato ferroso/rayos UV - (TiO_2) ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$) ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4$) ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$); tratamientos que tienen las características químicas y espectrales de la producción de los radicales hidroxilo ($\text{HO} \bullet$), que reacciona con la mayoría de los componente de la materia orgánica, caracterizándose por la selectividad en la remoción de sustancias orgánicas refractantes, recalcitrantes y de color persistente; representada en la reacción química de:



Dentro de este problema marco de la contaminación del agua se debe cumplir con Normas Nacionales exigidos por la Legislación Ambiental del Perú establecidas para la calidad del agua; tenemos los valores de los Límites Máximo Permisibles (Nº 004-2017-MINAM), y los Valores Máximo Admisibles para su descarga a la red del alcantarillado



sanitario. (N°10-2019-VIVIENDA), que comprenden normas legales con criterios cada vez más estrictos para lograr una mayor y mejor calidad del agua residual para su depuración a fuentes naturales receptoras.

El presente trabajo de investigación evaluó el mejor rendimiento en la remoción del componente saponina de las aguas residuales del proceso de desaponificación de la quinua, utilizando el proceso de oxidación avanzada (POA).

1.1.OBJETIVO GENERAL

- ✓ Determinar la capacidad de remoción de la saponina en efluentes de aguas residuales del procesamiento industrial del desamargado o desaponificación de la quinua utilizando procesos de oxidación avanzada (POA).

1.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar la capacidad de remoción de saponina persistente genérica en el agua residual del procesamiento industrial del desamargado o desaponificación de la quinua, aplicando procesos de oxidación avanzada (POA) de: (TiO₂), (TiO₂/H₂O₂), (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄), (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄ /UV).
- ✓ Determinar la capacidad de remoción de materia orgánica, en agua residual de la industria del procesamiento del desamargado o desaponificación de la quinua, cuantificado por la demanda química de oxígeno (DQO), mediante procesos de oxidación avanzada (POA) de: (TiO₂), (TiO₂/H₂O₂), (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄), (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄/UV).



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES.

(Mujica, 2012), Indica que se logró determinar concentraciones de saponina sólida en las muestras analizadas las cuales varían desde 0,06% en el cultivar Morocho Huamanga hasta 0,81 % en el cultivar Kancolla de Mañazo. De igual manera se logró determinar concentraciones de saponina líquida en las muestras analizadas, las cuales varían desde 0,015 ppm en el cultivar choclito hasta 0,1675 ppm en el cultivar Ccoyto.

(González *et al.*, 1998), indican que los detergentes sintéticos tienen propiedades limpiadoras orgánicas y no forman fácilmente sales solubles con metales, tales como el calcio y magnesio, característica surfactante de los detergentes que se deben a su estructura anfifílica ósea con grupos sulfonatos de buena afinidad al agua (iónico) y otra parte formada por una cadena hidrocarbonada insoluble en agua (no polar). Los alquilbencensulfonatos lineales (LAS) son los más importantes tensoactivos o surfactantes sintéticos empleados en los detergentes domésticos que producen espumas. La saponina posee una cadena extensa por lo que es calificado como sustancia toxica en el agua.

Se ha evaluado el contenido de saponina por el método del índice de espuma de 10 plantas tomadas al azar de las 100 entradas de quinua refrescadas e igualmente se complementaron en estas mismas plantas con la evaluación de rendimiento de grano y broza, las cuales tuvieron una enorme variación, por lo que nos da la posibilidad de realizar trabajos de mejoramiento genético para el contenido de saponina así como para rendimiento de grano (Céspedes *et al.*, 2014).

(Zarate, 2016) En su trabajo de investigación de extracción de saponina, en solución sólido-líquido, encontró que el mayor rendimiento de extracción presenta el afrecho de la quinua “chullpi” debido a su alto porcentaje de saponina, la cual sobresale con un rendimiento del 22,2 %; Para el análisis químico de la saponina por método espectroscopia, se tomó muestras de afrecho de quinua 2.5 g disuelto en 100 ml de etanol al 50 % V/V y analizó por método espectrofotométrico, a una longitud de onda de 343 nm.



(Tabor & Barber, 1996), explican que los componentes LAS presentan una toxicidad en el agua de 0.1 a 100 mg/L y en el sedimento de 200 mg/Kg; se encontró la concentración tóxica efectiva para algas de aguas frescas en invertebrados y peces. Concentraciones similares pueden ocurrir con las saponinas disueltas en el agua.

(Oyama *et al.*, 2004), En su trabajo de tesis Universitario, empleó el método de fotocatalisis heterogénea con TiO_2 para degradar la concentración residual de un detergente comercial con contenido de surfactante aniónico y agentes blanqueadores en aguas residuales. En condiciones de dispersión acuosa del fotocatalizador con presencia de aireación e irradiación solar directa, se obtuvieron la remoción global del 86% de la concentración residual del detergente comercial con contenido de surfactante aniónico y agentes blanqueadores, utilizando 6 g/L de TiO_2 , para un flujo del agua residual de 4,91 L/min, a un pH de 4,9 para una valoración de reacción de primer orden.

La degradación de las moléculas de “LAS” de la saponina, logra alcanzar sólo el 37% con el sistema TiO_2/UV . La adición de H_2O_2 a la solución mejora notablemente el porcentaje de degradación, alcanzando un 82%. Esto es debido al incremento de radicales hidroxilo en la solución (Visitación, 2004).

Un sistema de UV/TiO_2 en un reactor batch para la fotodegradación de un detergente comercial con 11% de material activo y una concentración inicial total de DQO de 840 mg/L, procesado a una longitud de onda de luz UV de 332 nm, el autor, variando la concentración de TiO_2 de 20 a 40 mg/L demostró que el mejor resultado de remoción se encontró con una concentración óptima de 35 mg/L UV/TiO_2 (Mendoza, 2019).

Para la fotodegradación de detergente aniónico presente en aguas residuales de lavandería, emplearon dos sistemas de fotocatalisis: $\text{UV}/\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$ y $\text{UV}/\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2$; así mismo se evaluaron algunas variables de proceso como concentración de TiO_2 , concentración de H_2O_2 , pH y tiempo de proceso, en el que lograron mejores resultados con el sistema $\text{UV}/\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2$ que con el sistema $\text{UV}/\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$. Las eficiencias alcanzadas en las dos etapas del sistema fueron del 99.87 y 99.77%, respectivamente (Mendoza, 2019).

En las últimas décadas las tecnologías de oxidación avanzada se han consolidado como una alternativa eficiente en la destrucción de sustancias tóxicas, incluyendo las orgánicas, inorgánicas, metales o patógenos. En general en el tratamiento de aguas las



tecnologías de oxidación avanzada se utilizan cuando los efluentes contaminados tienen una alta estabilidad química y/o una baja biodegradabilidad (Poyatos *et al.*, 2010).

En este sentido las tecnologías de oxidación avanzada se están consolidando como una de las más eficaces y versátiles opciones en el tratamiento de efluentes contaminados, especialmente los de origen industrial (Pliego *et al.*, 2012).

Históricamente la contaminación antropogénica de las aguas se ha tratado con métodos convencionales como los procesos biológicos, floculación-precipitación, cloración o adsorción en carbón activo, por citar algunas tecnologías de uso común. Sin embargo, en ciertas ocasiones este tipo de tecnologías no son eficaces bien sea por la alta toxicidad del efluente a tratar o porque con las tecnologías disponibles no es posible alcanzar los requerimientos de vertido requeridos. Cada vez es más común la presencia de compuestos persistentes en el agua de consumo, aguas superficiales o en los efluentes de las depuradoras (Ikehata *et al.*, 2008).

2.2. MARCO TEÓRICO.

2.2.1. LA QUINUA

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) es una planta que ha alcanzado un valioso reconocimiento por ser una fuente de alimentos altamente nutritivos, así como una especie rica en saponinas triterpénicas contenidas, principalmente, en la cáscara de las semillas (Ahumada *et al.*, 2016).

Constituye un aporte de nuestra cultura para todo el mundo, según estudiosos, este cultivo viene cobrando cada vez mayor importancia por su diversidad y utilidad en países con fragilidad de sus ecosistemas, sumando a sus bondades nutricionales que satisface las necesidades de alimentación básica (seguridad alimentaria) del productor, además generando ingresos económicos por la venta de sus excedentes de producción (León, 2003).

El consumo del grano de quinua implica la remoción de la cáscara a fin de reducir su sabor amargo, la ingesta de niveles residuales de saponinas y la obtención de un subproducto rico en las mismas (Ahumada *et al.*, 2016).



Los nombres comunes de la quinua son: kinua, quinua, parca, quiuna (idioma quechua); supha, jopa, jupha, jiura, aara, ccallapi y vocali (aymara); suba y pasca (chibcha); quingua (mapuche); quinoa, quinua dulce, dacha, dawé (araucana); jupa, jara, jupa lukhi, candonga, licsa, quiñoa. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) se cultiva en todos los Andes, principalmente del Perú y Bolivia, desde hace más de 7.000 años por culturas preincas e incas. Históricamente la quinua se ha cultivado desde el norte de Colombia hasta el sur de Chile desde el nivel del mar hasta los 4.000 m, pero su mejor producción se consigue en el rango de 2.500-3.800 m con una precipitación pluvial anual entre 250 y 500 mm y una temperatura media de 5-14 °C. En América Latina, Bolivia es el país con mayor exportación como quinua orgánica a USA y países europeos (Mujica & Jacobsen, 2006).

✓ CARACTERÍSTICAS DE LA QUINUA.

La quinua dulce indican que el ciclo de vida osciló entre 122 y 178 días desde la siembra hasta la madurez de cosecha ()

Las condiciones asociadas a las zonas de cultivo, a sus prácticas, al tipo de semilla, etapas de poscosecha, almacenamiento, procesos de limpieza de saponinas, empaques, etc., podrían ser los factores que se ven inmersos en la calidad del producto (Bernal Bustos *et al.*, 2015).

Que crecen en los valles interandinos de 2000 a 3600 m.s.n.m., se caracterizan porque tienen gran desarrollo, pueden llegar de 2 a 2.5 m de altura, son ramificadas, su periodo vegetativo es largo, con panojas laxas, con inflorescencia amarantiforme, son tolerantes al mildiu, en este grupo tenemos a la blanca de Junín, amarilla de Marangani y rosada de Junín (León, 2003).

Crece en lugares aledaños al lago Titicaca a una altura de 3 800 m.s.n.m., estos cultivos se caracterizan por tener buena resistencia a las heladas, son bajos en tamaño, no ramificados (tienen un solo tallo y panoja terminal que es glomerulada densa), llegan a tener una altura de 1.00 a 2.00 m., con periodo vegetativo corto, se tiene quinuas precoces como: Ilpa-INIA y Salcedo-INIA, semi-tardías: blanca de Juli, tardías: como la kancolla, chewecca, tahuaco, Amarilla de Marangan (León, 2003).



Las condiciones climáticas y el suelo tienen influencias muy marcadas en la producción y productividad de la quinua. El clima está determinado por una serie de factores tales como altitud, precipitación, temperatura, latitud, vientos, iluminación, etc. Dado a su cultivo en zonas marginales de los andes altos, la quinua se enfrenta con altos riesgos ambientales como heladas, sequías prolongadas, granizo, vientos fuertes, suelos pobres y ácidos (León, 2003).

Cada vez, toma mayor importancia la producción de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en diferentes regiones del mundo, debido a que se ha buscado posicionar el cultivo como una alternativa de seguridad alimentaria. Sin embargo, esta planta presenta metabolitos como taninos y saponinas que son sustancias químicas que sirven de barreras de protección a factores bióticos y abióticos. En el caso de las saponinas, se reconocen 31 estructuras químicas, presentes en hojas, tallos, panojas, cascarilla y semillas de diferentes especies y genotipos. Al respecto, esta revisión busca describir características generales de las saponinas presentes en la quinua y su relación con el suelo y el clima. Encontrando que las edafoclimáticas propias de cada lugar, así como las características genéticas de cada variedad son determinantes en el contenido de compuestos saponínicos, estimulados principalmente por estrés de tipo hídrico y salino (García *et al.*, 2018).

Los rendimientos varían en función a la variedad, fertilidad, drenaje, tipo de suelo, manejo del cultivo en el proceso productivo, factores climáticos, nivel tecnológico, control de plagas y enfermedades, obteniéndose entre 800 Kg. /Ha. a 1400 Kg. /Há en años buenos. Sin embargo según el material genético se puede obtener rendimientos hasta de 3000 Kg. /Ha (León, 2003).

✓ LA SEMILLA DE QUINUA

El pericarpio, está formado por tres capas, pegado a la semilla y contiene saponina en un rango de 0.2% - 5.1%. El pericarpio es suave en los ecotipos chilenos y duro en los demás ecotipos. Directamente bajo del pericarpio está el episperma, una membrana delgada que cubre al embrión. El embrión esta formado por los dos cotiledones y la radícula envuelve al perisperma en forma de anillo. El perisperma presenta la sustancia de reserva y contiene pequeños granos de almidón. Su color es siempre blanco (León, 2003).

Existe renovado interés por las semillas de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*). Nuevas investigaciones han reafirmado la cantidad, calidad de sus componentes químicos y nuevos fitoquímicos se han descubierto; también han demostrado la capacidad de adaptación de las plantas a diversos entornos y la mejoría en las semillas del valor de algunos constituyentes químicos y de las propiedades antioxidantes. Diversas formas de combinación de la quinua con otras especies vegetales han mejorado las propiedades nutritivas particulares especiales de los alimentos mediante el desarrollo de nuevos productos y existe considerable desarrollo e innovación tecnológica que ha dado valor agregado a la quinua (Pereira et al., 2014).

La quinua es una especie tetraploide, constituido por 36 cromosomas somáticas, esta constituido por 4 genómios, con un número básico de 9 cromosomas ($4n = 4 \times 9 = 36$). El color de las plantas de quinua es un carácter de herencia simple; en cambio el color de los granos es por la acción de agentes complementarios, siendo el color blanco un carácter recesivo (León, 2003).

A nivel industrial, las semillas de quinua se procesan con el propósito de reducir su sabor amargo y ser empleadas en la fabricación de diversos productos alimenticios. Los agricultores de quinua, por tradición, han realizado la remoción de este grupo de compuestos por medio de lavados sucesivos con agua o a través de abrasión mecánica, dando lugar a la generación de volúmenes considerables de residuos sólidos y a la contaminación de las aguas naturales (Ahumada et al., 2016).

Tabla 1. Composición proximal de fracciones de granos de quinua

Componente	Grano integral	Grano molido	Afrecho	Embrión	Perisperma
Proteína	12.9	13.3	6.1	23.5	7.2
Lípidos	6.5	6.7	3.9	10.2	5.0
Azúcares	63.7	64.6	54.2	43.1	78.2
Fibra dietética	13.9	12.7	26.6	18.9	8.5
FDS	4.3	4.4	2.1	7.5	2.2
FDI	9.6	8.3	24.5	11.4	6.3
Cenizas	3.0	2.7	9.2	4.3	1.1

Fuente: (Pereira et al., 2014)

2.2.2. LA SAPONINA.

El término saponina se deriva de la palabra Latina *sapo*, que significa “jabón”, lo que refleja su disposición para formar espumas estables parecidas al jabón en soluciones acuosas. El rol biológico de las saponinas no es comprendido completamente, pero generalmente son consideradas como parte del sistema de defensa de las plantas contra patógenos y herbívoros, especialmente debido a su sabor amargo. Las saponinas consisten de aglicona y azúcar, cada uno representando aproximadamente el 50% del peso total de la molécula (Bazile *et al.*, 2014).

✓ ESTRUCTURA DE LA SAPONINA

Las saponinas son metabolitos secundarios que constituyen una gran familia de compuestos estructuralmente constituidos por un anillo terpenoide o esteroidal, conocidos como aglicona o sapogenina, sustituidos por oligosacáridos a través de enlaces glucosídicos que les confieren un carácter anfifílico (ver figura 1).

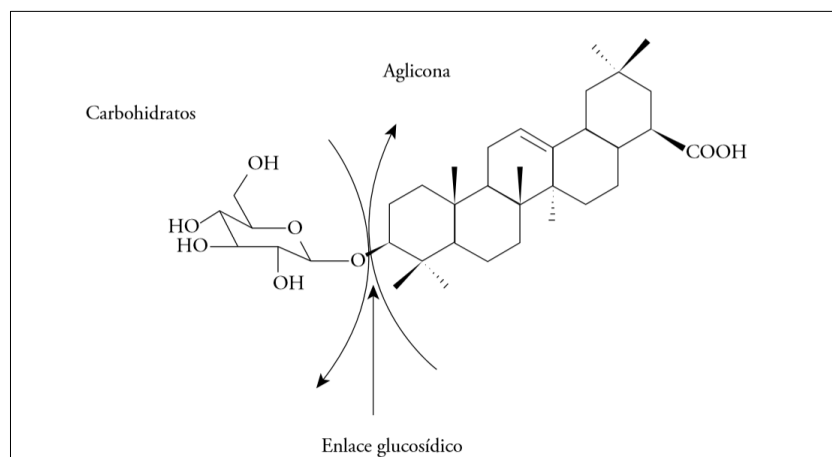


Figura 1. Estructura general de una saponina.

Se indica el enlace glucosídico entre la aglicona y un glucósido

Fuente: (Heng *et al.*, 2006)

De acuerdo con el número de sustituciones, se pueden encontrar agliconas mono, di o triglicosiladas, también denominadas mono, di o tridesmosídicas. Las monodesmosídicas tienen un oligosacárido unido al C-3; las bidesmosídicas tienen dos cadenas de carbohidratos, uno de ellos unido mediante un enlace éter al C-3, y el otro unido a través de un enlace éster al C-28, en el caso de las saponinas triterpénicas; y las

tridesmosídicas que contienen tres cadenas de azúcares (ver las figuras 2, 3)
(Kuljanabhadgavad & Wink, 2009).

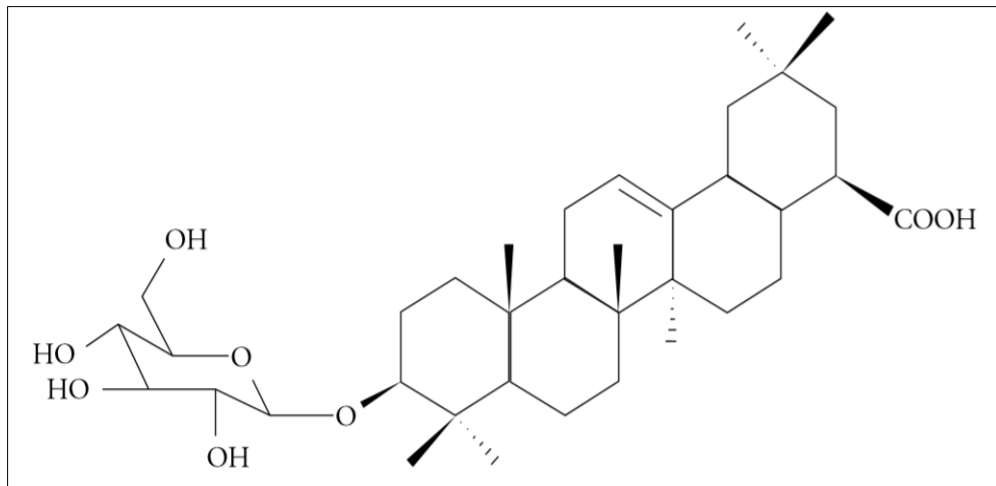


Figura 2. Estructura de una saponina monoglicosilada: ácido 3-O-β-D-glucopiranosil oleanólico.

Fuente: (Kuljanabhadgavad & Wink, 2009)

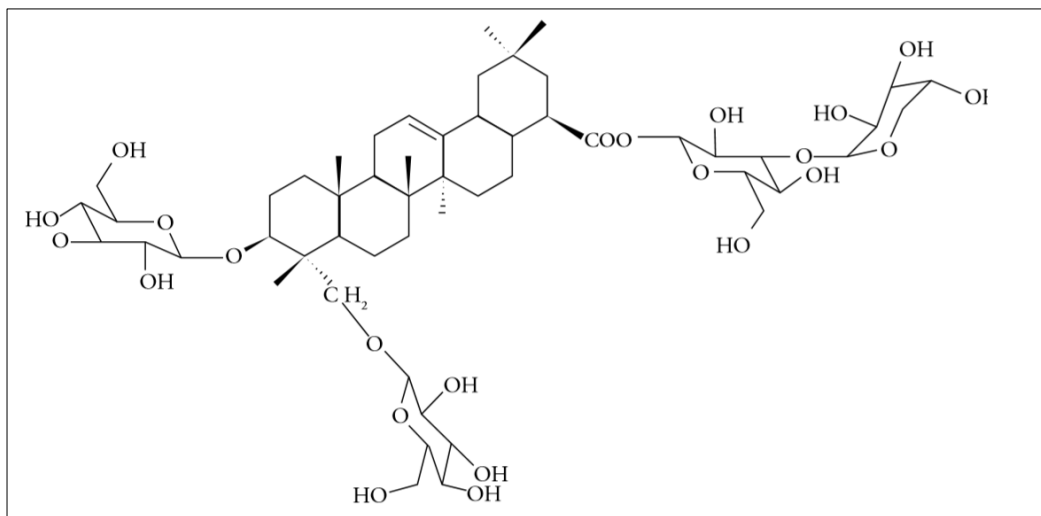


Figura 3. Estructura de una saponina triglicosilada: ácido 3,23-bis[(O-β-D-glucopiranosil) oxi] olean-12-en-28-oico-28-O-α-L-arabinopiranosil-(1→3)-β-D-glucopiranosiléster.

Fuente: (Kuljanabhadgavad & Wink, 2009)

Los oligosacáridos enlazados principalmente son pentosas, hexosas o ácidos urónicos (Guclu & Mazza, 2007).

Las saponinas no resisten cambios bruscos de pH, valores muy ácidos o básicos generan la ruptura de los enlaces O-glucosídicos (ver figura 3). Esta característica es útil y empleada en metodologías para su cuantificación y elucidación estructural (Diab *et al.*,



2012). Con respecto a su estabilidad térmica, las saponinas resisten temperaturas superiores a 150 °C e inferiores a 400 °C, temperatura a la cual se inicia el proceso de carbonización de la molécula, posibilitando la implementación de procesos de extracción convencionales que usualmente son favorecidos por el uso de calor. Las saponinas ofrecen también una alta actividad superficial debido a la combinación estructural de un grupo polar (azúcar) y uno no polar (esteroide o triterpeno), propiedad que permite su uso como un detergente natural, agente estabilizante y emulsificador en productos de limpieza y cosméticos (Chen *et al.*, 2010).

2.2.3. LA SAPONINA EN LA QUINUA.

LA SAPONINA Y SU TOXICIDAD

(Tapia, 2000), La saponina y otros compuestos (sustancias precursoras de saponinas, ácidos grasos oxidados, sales minerales de magnesio, oxalatos, etc.) presentes en las coberturas externas (episperma) del grano de quinua, son los responsables del sabor amargo e indeseable del grano, por cuya razón, limitan el consumo de quinua en la alimentación humana y obstaculizan el desarrollo agroindustrial.

(Mujica *et al.*, 2006), Las saponinas son sustancias con la capacidad de formar espuma cuando son extraídas con agua; las saponinas se consideran una familia de metabolitos secundarios y se lograron identificar cuatro subgrupos: el primero son las saponinas triterpénicas, las segundas son las saponinas esteroidales, las terceras saponinas esteroidales alcalinas y el último son las saponinas de organismos marinos. Las saponinas del primer grupo se encuentran ampliamente distribuidas en el subreino de las dicotiledóneas. Uno de los principales problemas con los que se enfrentaron los productores de este grano, fue la presencia de saponinas en la cáscara del grano maduro, ya que estos glucósidos son ligeramente tóxicos y de un sabor fuertemente amargo. Por hidrólisis de las saponinas se obtienen las saponinas esteroidales, de gran interés para la industria farmacéutica por ser precursores en la síntesis de hormonas y corticoides.

(Andrade, 1999) indica que fue posible la recuperación de saponinas en el afrecho de quinua Real de Bolivia, que se obtiene como subproducto de la desaponificación por vía seca o abrasión; así mismo, se determinó que el mejor sistema de extracción es el de batch clásico con agitación – agua – quinua, porque tiene la ventaja de recuperar el 30,4% de los sólidos, si bien tiene la desventaja de presentar mayor dificultad en la etapa de



filtración. Se comprobó que el efecto de la temperatura es despreciable porque un aumento de la temperatura de extracción no genera un extracto más rico en saponinas, esto se aplica por la alta solubilidad de las saponinas. Para extracciones a nivel de laboratorio se recomienda usar un porcentaje de afrecho de quinua en agua de 20%, porque a mayor concentración de muestra es muy espesa dificultando la filtración lo que se traduce en menor cantidad de extracto final.

(Miranda, 2004), indica que los resultados presentados, para análisis químico de la saponina contenido en la quinua, ofrece mayor facilidad y precisión en su determinación por espectrofotometría y el análisis químico de saponina en muestra de quinua se debe determinar a una longitud de onda de 355 nm, prueba que fue determinado en base a solución de saponina estándar Q.P. de la Merck (2.5 g saponina/100 mL de agua), la variedad Kancolla con alto contenido de saponina, cuya longitud de onda evaluado corresponde a 354.200 nm; mientras que la variedad Wuintulla, relativamente con bajo contenido de saponina, su longitud de onda evaluado corresponde a 356 nm; en ambos casos estos tamaños de muestra son ideales ya que su determinación son próximas a la longitud de onda de la solución estándar de saponina 355 nm. Se recomienda que, para el análisis químico de la saponina por método espectrofotométrico, se debe tomar muestras de quinua entre 2.5 g a 5.0 g disuelto en 100 mL de agua y someter a operación de agitación por 30 minutos a 60 °C para extraer la saponina y determinar su contenido a una longitud de onda de 355 nm.

(Quispe *et al.*, 2013), La implementación de modelos matemáticos para describir la cinética del proceso de lixiviación de las saponinas desde las semillas de quinua con una proporción de quinua: agua (1:10), agitación constante entre 15 y 120 minutos y a temperaturas entre 20 y 60 °C, han mostrado que la mayoría de las saponinas se remueven en la primera media hora y su concentración tiende a un valor asintótico, sin importar la temperatura del agua, siendo la velocidad de lixiviación significativamente mayor a 60 °C, y después de 120 minutos a 20 °C.

Las pequeñas semillas de quinua están recubiertas de una delgada membrana o pericarpio que contiene hasta un 4% de saponina, sustancia sumamente amarga y que produce abundante espuma al agitar la semilla en agua. Las saponinas (Lat. Sapo onie = Jabón), son glucósidos o acetales asimétricos mixtos, se localiza en muchas especies vegetales como quillay (Quillaje saponaria) y saponaria (*Saponaria officinalis*), esta

última, rica en saponina y en el pasado fue materia prima para producir jabones (Morris & Bogán, 1994).

(Mujica & Jacobsen, 2006), plantea que la quinua no solo tiene adecuado valor nutritivo en cantidad y calidad, sino, posee factores anti nutricionales como taninos, inhibidores de proteasas, ácidos fítico y saponina, estas sustancias secundarias, son limitantes para consumo en la alimentación y la agroindustria. La distribución cuantitativa y cualitativa de glucósidos es variable en las distintas partes de una planta, en quinua, la saponina se localiza en la episperma o cáscara del grano, considerado factor anti nutricional por el sabor amargo y su capacidad hemolítica. Físicamente, posee cuerpo amorfo (cristales), su color varía de pardo claro, blanco opaco a incoloro.

Tabla 2. Efecto de la temperatura en la presencia de saponinas.

País	Variiedad	Temperatura	Contenido de Saponina
Chile	Regalona	20° C	0.52 mg/L
		30° C	0.62 mg/L
Perú	INIA Salcedo	25° C	0.1680%
			0.0890%
Perú	Blanca de Junín	13° C	0.0150%
		13° C	0.0210%

Fuente:(García *et al.*, 2018).

La reacción de Liebermann-Burchard es positiva para saponinas triterpénicas pentacíclicas, resultando en un color rosado-púrpura producto de la formación de un compuesto cromóforo.

Tabla 3. Pruebas de coloración para la identificación de saponinas

Reacción	Coloración	Resultado
Rosell	Rojo - Violáceo	Presencia de saponinas
Liebermann-Burchard	Rosada - Púrpura	Presencia de saponinas triterpénicas pentacíclicas

Fuente: (Rojas & Tapia, 2011)

✓ SAPONINAS EN LA PLANTA DE QUINUA.

La literatura reporta la presencia de al menos 30 saponinas triterpénicas distribuidas en todas las partes de la planta, tales como hojas, flores, frutos, semillas y la

cáscara de las semillas (Kuljanabhadgavad & Wink, 2009) (Mroczek, 2015) (Gupta *et al.*, 1989). Estructuralmente, son compuestos derivados de la β -amirina (ver figura 4).

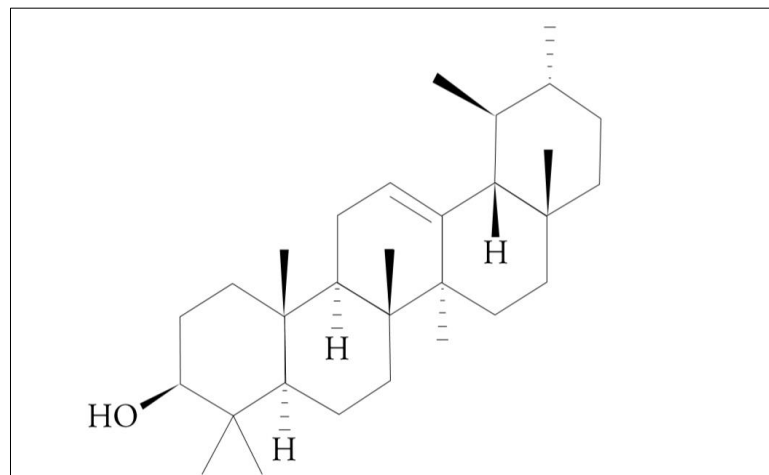


Figura 4. Estructura de la β -amirina, esqueleto base de las saponinas identificadas en la *Chenopodium quinoa*.
Fuente: (Kuljanabhadgavad & Wink, 2009)

Consisten en una mezcla compleja de glucósidos triterpénicos derivados del ácido oleanólico, hederagenina, ácido fitolacagénico, ácido deoxifitolacagénico, ácido serjanico, y ácido 3 β ,23,30-trihidroxi olean-12-eno-28-oico, con los grupos hidroxilo y carboxilato en el C-3 y C-28, respectivamente (Kuljanabhadgavad & Wink, 2009) (Cuadrado *et al.*, 1995). Los enlaces glucosídicos se forman con la arabinosa, la glucosa, la galactosa, la xilosa, el ácido glucurónico y la ramnosa (excepto de metilpentosa) (Madl *et al.*, 2006). Su aislamiento e identificación implicó llevar a cabo procesos de extracción a través de técnicas convencionales como percolación, maceración, reflujo y Soxhlet; separación con técnicas cromatográficas tales como cromatografía líquida de baja, media y alta resolución (CLBR, CLMR, CLAR), a través de distintas modalidades: filtración en gel, intercambio iónico, adsorción en fase normal y reversa, así como elucidación estructural con métodos analíticos como espectrometría de masas por impacto electrónico (EI-MS), y resonancia magnética nuclear (RMN ^{13}C , ^1H , ^{13}C DEPT, uni y bidimensional).

Tabla 4. Contenido de saponinas en variedades de quinua (*chenopodium quinoa Willd*) en Perú.

Origen	Variedad	Contenido	Genotipo
Perú	Hualhuas	Bajo	-
	Amarilla de Marangani	Alto	-
	Witulla	Medio/Alto	-
	Tahuaco	Alto	-
	Blanca de Juli	Medio	-
	Blanca y Rosada de Junin	Bajo	-
	Cheweka	Bajo	-
	Kancolla	Alto	-
	Kancolla	5.6-7.5	Amarga

Fuente: (Fuentes, 2008)

✓ TOXICOLOGIA DE LA SAPONINA.

Las especies vegetales poseen en sus tejidos sustancias tóxicas, por cuya razón las sustancias secundarias como, glúcidos y otro, son mecanismos químicos de defensa contra depredadores y pueden otorgarle propiedades alomónicas (benefician a la planta) o kairomónicas (benefician al consumidor de la planta). Generalmente, la saponina tiene efecto alomónico contra herbívoros. En humanos la saponina es tóxica, altera la permeabilidad de las paredes celulares de eritrocitos y produce hemólisis, afecta el nivel de colesterol en el hígado y sangre (Cheeke, 1999), además son irritantes, estornutarios y eméticos, sin hipocolesterolémicos y posibles secuelas preventivas contra el cáncer coli. Determinó que la ingesta de saponina en soluciones de uno y dos gramos produjo una disminución significativa en los niveles séricos de colesterol y afines en personas normocolesterolémicos e hipercolesterolémicos (Aguilar, 1999).

El efecto tóxico de la saponina en animales está en discusión, sin embargo, para peces es muy tóxico. El sabor amargo resultante del glucósido es una limitante para consumo humano, por cuya razón, es necesaria determinar la ingesta diaria admisible (IDA) de saponina, es decir, la cantidad de saponina que una persona pueda ingerir en su alimentación durante toda la vida sin riesgo, considerando que los factores que afectan las saponinas son múltiples y no necesariamente tóxicos. Los niveles de saponina aceptados para consumo humano varían entre 0.06 y 0.12 % y el límite máximo en granos cocidos es 0.1 % (Nieto & Soria, 1997).

Transferencia de masa en partículas sólidas

Cuando partículas sólidas se suspenden en un líquido, tal como un tanque agitado, se obtiene una mínima estimación del coeficiente de transferencia k_c utilizando la velocidad terminal de la partícula en el líquido mediante la correlación que se muestra en la Ec. (2). Es importante tener en claro que el coeficiente real de transferencia es mucho mayor que el estimado teóricamente, debido a que la frecuente aceleración y desaceleración de las partículas aumentan la velocidad media de deslizamiento y porque pequeños remolinos en el líquido turbulento penetran cerca de la superficie de la partícula e incrementa la velocidad local de transferencia de materia (Hines & Maddox, 1987).

$$V \frac{dC}{dt} = k_c A (C_{sat} - C) \quad (2)$$

Luego de separar variables en la Ec. (2) e integrar, se obtiene la relación Ec.(3):

$$\ln \left[\frac{C_{sat}}{C_{sat}-C} \right] = \frac{k_c * A * t}{V} \quad (3)$$

Donde:

V: Volumen del reactor, [L].

$\frac{dC}{dt}$: Variación de la concentración con respecto al tiempo.

k_c : Coeficiente de transferencia de masa, [m/s].

A: Área de transferencia de masa, [m²].

C_{sat}: Concentración de saturación del ácido benzoico, [mol/L].

C: Concentración de la Saponina en la solución, [mol/L].

De la ecuación (2.) se determina la concentración (C) de la saponina, al ser operado y extraído en un reactor de tanque agitado.

2.2.4. OXIDACIÓN QUÍMICA EN AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales o las aguas subterráneas contaminadas contienen con frecuencia sustancias orgánicas no biodegradables. Ejemplo tenemos las aguas cloradas, estas sustancias se pueden oxidar químicamente logrando así su eliminación. En una oxidación participan siempre dos componentes: La sustancia a oxidar y el oxidante. El oxidante capta electrones, reduciéndose, mientras que la sustancia a oxidar cede los electrones. La oxidación de sustancias orgánicas tiene lugar por etapas, con formación de



productos intermedios. En caso de una oxidación completa en los productos finales inorgánicos, agua y dióxido de carbono.

Los POA encuentran su aplicación principal en el tratamiento terciario, siendo el objetivo de estos procesos eliminar compuestos difícilmente biodegradables e incluso disminuir la contaminación microbiológica. Las tecnologías de POA tienen la capacidad de oxidar una gran variedad de contaminantes, pudiendo llegar a la mineralización si el proceso se prolonga lo suficiente o quedándose en estados de oxidación intermedios que permitan un acoplamiento con otros métodos de depuración como pueden ser los procesos biológicos (Bes *et al.*, 2016).

2.2.5. PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA

Los Procesos de Oxidación Avanzada (POAs “Advanced Oxidation Processes”) son procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. El concepto fue inicialmente establecido por (Glaze *et al.*, 1987), quienes definieron los POAs como los procesos que involucran la generación y uso de especies transitorias poderosas, fundamentalmente el radical hidroxilo ($\text{HO}\cdot$). Este radical puede ser generado por medios fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, y posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica.

Algunos POAs, como la fotocatalisis heterogénea, la radiólisis y otras técnicas avanzadas, recurren además a reductores químicos que permiten realizar transformaciones en contaminantes tóxicos poco susceptibles a la oxidación, como iones metálicos o compuestos halogenados (Domenech *et al.*, 2012).

✓ MÉTODOS DE OXIDACIÓN AVANZADA

En los últimos años se ha producido una rápida evolución de la investigación encaminada a la protección del medio ambiente, debido a la contaminación producida por compuestos tóxicos provenientes de la actividad industrial principalmente, y por la aparición de nuevas exigencias sociales, políticas y legislativas en la mayoría de los países desarrollados, por lo que se han buscado métodos eficientes que ayuden en la eliminación de los contaminantes medioambientales. Las investigaciones se han orientado hacia los métodos de destrucción química, que reciben el nombre de Procesos Avanzados de Oxidación (PAOs). Estos métodos hacen uso de diferentes sistemas reactivos, como la catálisis y la fotoquímica, que se basan en el diseño y construcción de sistemas para el aprovechamiento de la radiación UV o luz visible, de reactores fotoquímicos y métodos

de preparación de nuevos fotocatalizadores, operando usualmente a presión y temperatura ambiente (Andreozzi *et al.*, 1999).

Existen cuatro grupos principales de procesos de oxidación avanzada: Fenton y foto-Fenton, Ozonólisis, Fotocatálisis y Sonólisis. En todos ellos se da la formación in situ de radicales, principalmente el radical hidroxilo; debido a las ventajas que presenta este radical (Vogelpohl, 2007) .

✓ CLASIFICACIÓN DE LOS POAS

Los POAs se clasifican en procesos fotoquímicos y no fotoquímicos, en función de la utilización o no de radiaciones luminosas en el proceso. En la Tabla 5 se indican algunos de los más utilizados actualmente (Terán, 2016).

Tabla 5. Clasificación de procesos de oxidación avanzada

Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
✓ Ozonización en medio alcalino (O_3/OH^-)	✓ Oxidación en agua sub y supercrítica.
✓ Ozonización con peróxido de hidrógeno (O_3/H_2O_2).	✓ Fotólisis de agua en ultravioleta de vacío (UVV).
✓ Procesos Fenton (Fe^{2+}/H_2O_2)	✓ UV/ H_2O_2 .
✓ Oxidación electroquímica.	✓ UV/ O_3
✓ Radiólisis y tratamiento con haces de electrones	✓ Foto-Fenton y relacionados
✓ Plasma no térmico	✓ Fotocatálisis heterogénea
✓ Descarga electrohidráulica y ultrasonidos	✓ Fotocatálisis homogénea

Fuente: (Terán, 2016).

Una de las razones que han hecho que los POAs sean objeto de un interés cada vez mayor, es la posibilidad de utilizar energía solar como fuente de fotones, con el consiguiente ahorro energético y las ventajas medioambientales que ello supone. Por lo tanto, tienen un mayor interés los POAs fotoquímicos (Terán, 2016).



2.2.6. ÓXIDO DE TITANIO (IV) O DIÓXIDO DE TITANIO (TiO₂)

El dióxido de titanio (TiO₂) se encuentra en tres formas cristalinas: anatasa, rutilo y broquita, siendo los dos primeros los más comunes y la anatasa la más efectiva en el tratamiento de aguas residuales. La distancia energética entre bandas (E_{gb}) para la anatasa es de 3.5 eV, posee una mayor superficie activa y mayor adsorción de sustancias debido a que su formación se ve cinéticamente favorecida a temperaturas menor a 600°C. La forma comercial del TiO₂ es producida por la compañía Alemana, y recibe el nombre de P-25. El dióxido de titanio (TiO₂) también conocido como Anatasa (Una de las cinco formas de minerales del óxido conductor), posee una forma cristalina con las mejores propiedades fotocatalíticas y fotoconductoras y con una mayor capacidad de fotoadsorción. Este es anfótero y posee un punto isoeléctrico variable, dependiendo del método de síntesis utilizado para la obtención del mismo. Entre las ventajas más relevantes de utilizar este catalizador como agente semiconductor y foto sensibilizador (Morrison, 1980) son:

- ✓ Activado con radiación menor a 387,5 nm
- ✓ Es económico
- ✓ Foto estable
- ✓ Altamente estable en medios no muy ácidos.

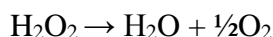
(Morrison, 1980)(Morris & Bogán, 1994)

2.2.7. PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (H₂O₂)

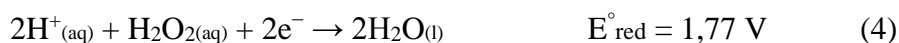
El peróxido de hidrógeno (H₂O₂), también conocido como agua oxigenada, dioxigen o dioxidano, es un compuesto químico con características de un líquido altamente polar, fuertemente enlazado con el hidrógeno tal como el agua, que por lo general se presenta como un líquido ligeramente más viscoso que ésta. Es conocido por ser un poderoso oxidante. A temperatura ambiente es un líquido incoloro con olor penetrante e incluso desagradable y sabor amargo. Pequeñas cantidades de peróxido de hidrógeno gaseoso se encuentran naturalmente en el aire. El peróxido de hidrógeno es muy inestable y se descompone lentamente en oxígeno y agua con liberación de gran cantidad de calor. Su velocidad de descomposición puede aumentar mucho en presencia de catalizadores. Aunque no es inflamable, es un agente oxidante potente que puede

causar combustión espontánea cuando entra en contacto con materia orgánica o algunos metales, como el cobre, la plata o el bronce (Shu, 2006).

El peróxido de hidrogeno es considerado un producto químico limpio por no dejar elementos y residuos persistentes en el medio ambiente después de su uso. Esa característica deriva del mismo, está continuamente sometido a reacción espontánea de auto-descomposición (Vargas, 2015):



El peróxido de hidrógeno es capaz de actuar ya sea como agente oxidante o como reductor. Las ecuaciones que se muestran a continuación presentan las semirreacciones en medio ácido:



En solución básica, los potenciales correspondientes al electrodo estándar, son de 0,87 V para la reducción del peróxido de hidrógeno y de 0,08 V para su oxidación.

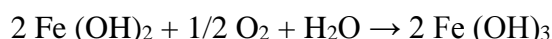
2.2.8. SULFATO FERROSO (FeSO_4)

El sulfato ferroso usado en el tratamiento de agua es un polvo de color verde muy soluble y tiene una masa volumétrica aparente próxima a 900 kg/m^3 . Su contenido en hierro es de aproximadamente 19%. Por su naturaleza ácida, el pH de una solución al 10% es de 2,8 aproximadamente. Por esta razón, para su almacenamiento y preparación se usa material plástico (Barrenechea, 2000), reacciones del sulfato ferroso:

Con la alcalinidad del agua



En aguas aeradas, el hidróxido ferroso formado se oxida a hidróxido férrico



2.2.9. LUZ ULTRAVIOLETA (UV)

Se denomina radiación ultravioleta o radiación UV a la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 10000 nm ($4 \times 10^{-7} \text{ m}$) y los 689075 nm ($1,5 \times 10^{-8} \text{ m}$). Su nombre proviene de que su



rango empieza desde longitudes de onda más cortas de lo que los humanos identificamos como el color violeta, pero dicha luz o longitud de onda, es invisible al ojo humano al estar por encima del espectro visible. Esta radiación es parte integrante de los rayos solares y produce varios efectos en la salud al ser una radiación entre no-ionizante e ionizante (Wright & Cairns, 1996).

La luz ultravioleta (UV) es una alternativa establecida y cada vez más popular frente al uso de productos químicos para la desinfección de agua potable, aguas residuales y aguas industriales de varias calidades. Los sistemas de desinfección UV pueden ser diseñados para una amplia gama de aplicaciones siempre que se preste la debida atención a la calidad del agua que se está desinfectando y a los objetivos de desinfección buscados (Wright & Cairns, 1996).

El mecanismo de desinfección se basa en un fenómeno físico por el cual las ondas cortas de la radiación ultravioleta inciden sobre el material genético (ADN) de los microorganismos y los virus, y los destruye en corto tiempo, sin producir cambios físicos o químicos notables en el agua tratada.

Como se ha expresado, la luz ultravioleta tiene la capacidad de tratar el agua sin producir cambios físicos o químicos considerables en el agua tratada. No se conoce que haya efectos directos adversos sobre la salud de los consumidores de agua desinfectada con luz ultravioleta. En el proceso de desinfección no se le agrega ninguna sustancia al agua, por lo que no hay riesgos de formación de SPD y la luz ultravioleta no altera el sabor ni el olor del agua tratada. A la dosificación y frecuencia utilizada para la desinfección, no se conoce que exista la formación de derivados. La sobredosis de luz ultravioleta tampoco resulta en ningún efecto nocivo. No obstante, el operador del equipo de desinfección con luz ultravioleta debe usar anteojos y ropa protectora para evitar exponerse a la radiación de alta energía, característica de la luz ultravioleta (Wright & Cairns, 1996).

✓ TIPOS DE LUZ ULTRAVIOLETA

Luz UV A: la onda más larga de las ultravioletas, de 400 a 315 nanómetros, se conoce como UVA y su energía por fotón es de 3,10-3,94 eV.

Luz UV B: siendo de naturaleza media, su longitud va de los 315 a 280 nanómetros, alcanzando su energía por fotón entre 3,94-4,43 eV.



Luz UV C: es la onda corta, con un aproximado de 280 a 100 nanómetros y la energía por fotón de esta alcanza los 4,43-12,40 eV.

UV cercano: conocido como NUV, su energía por fotón es de 3,10 -4,13 eV y su longitud puede oscilar entre los 400 a 300 nanómetros.

UV medio: con una longitud de 300 a 200 nanómetros y energía por fotón comprendido entre 4,13-6,20 eV, se abrevia como MUV.

UV lejano: tiene una longitud de 200 a 122 nanómetros, se conoce como FUV y su energía por fotón está entre 6,20-10,16 eV. Línea Lyman-alpha: es una onda oscilante entre los 122 y 121 nanómetros, con una energía por fotón de 10,16-10,25 eV.

UV vacío: abreviado como VUV, es una de las ondas más pequeñas, de 200 a 10 nanómetros y una energía por fotón de 6,20-124 eV.

UV extremo: es el más corto, con una longitud de 121 a 10 nanómetros y energía por fotón de 10,25-124 eV. Se conoce como EUV.

✓ DOSIFICACIÓN DE LA LUZ ULTRAVIOLETA

La siguiente fórmula muestra la manera de calcular la dosificación de luz UV (Pietrobon Tarrán):

Dosificación = Intensidad x Tiempo de retención

Donde:

Dosificación, intensidad medida en microwatt-segundos por centímetro cuadrado ($\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$).

El tiempo es medido en segundos (s).

Equivalencias: $1,000 (\mu\text{Ws}/\text{cm}^2) = 1 \text{ mWs}/\text{cm}^2 = 1\text{mJ}/\text{cm}^2$ (mWs = miliwatt-segundos; mJ = milijoules)

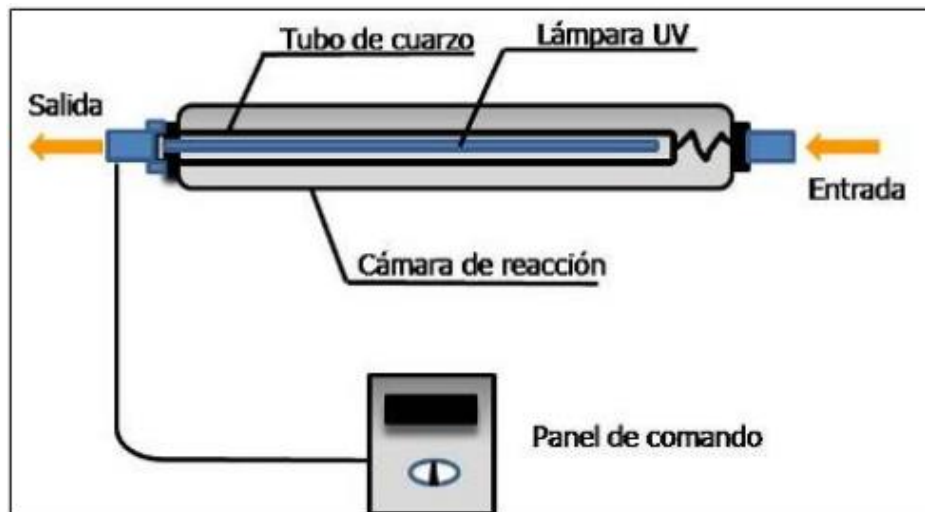


Figura 5. Esquema de un sistema de desinfección con luz ultravioleta.

Fuente: (Pietrobon, 2012)

2.2.10. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro químico, que representa una medida de toda la materia orgánica e inorgánica presente en disolución y/o suspendida que puede ser químicamente oxidada, por la acción de agentes oxidantes, bajo condiciones ácidas y se mide como miligramos de “oxígeno” equivalentes a la fracción orgánica disuelta y/o suspendida por litro de disolución (agua residual) (Ramírez *et al.*, 2008)

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, que son oxidables en condiciones operatorias definidas. La medida corresponde a una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, ya sea su origen orgánico o inorgánico. La determinación de DQO debe realizarse rápidamente después de la toma de muestras, para evitar la oxidación natural. En caso contrario, la muestra podría conservarse un cierto tiempo si se acidifica con ácido sulfúrico hasta $\text{pH} = 2-3$. Sin embargo, esta opción deja de ser fiable en presencia de cloruros (Fernández & Curt, 2011).

Las aguas superficiales son, altamente susceptibles a la contaminación; siendo el vertedero tradicional a lo largo de toda la historia de la industria y las poblaciones. En el caso de los contaminantes residuos que demandan oxígeno, afectan a las corrientes de agua como a las aguas estancadas. La materia orgánica requiere oxígeno para ser

degradada en un curso de agua. El alto contenido orgánico favorece el crecimiento de bacterias y hongos. El oxígeno utilizado para la oxidación de la materia orgánica, consume el oxígeno utilizado para el desarrollo de la fauna y flora acuática. Entre los efectos al ecosistema, se encuentra el cambio en la calidad del agua, y la posible elevación del pH, provocando la desaparición de peces y plantas (Ramírez & Durán , 2008).

La DQO es un parámetro importante y lo suficientemente rápido para determinar el grado de contaminación del agua y puede ser empleada para estimar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. Mediante este parámetro se realiza un seguimiento monitorio y se puede dar un seguimiento en línea de la calidad del agua residual en tratamiento. Algunos métodos instrumentales de análisis de DQO (Ramírez *et al.*, 2008):

- ✓ Ensayo de oxidación al permanganato (reflujo abierto).
- ✓ Método normalizado de oxidación al dicromato (reflujo abierto).
- ✓ Método normalizado de oxidación al dicromato (reflujo cerrado titulométrico).
- ✓ Método normalizado de oxidación al dicromato (reflujo cerrado colorimétrico).
- ✓ Ensayos de evaluación rápida de DQO (reflujo cerrado).
- ✓ Métodos instrumentales para la determinación de DQO.

2.2.11. TRANSMITANCIA Y ABSORBANCIA

La transmitancia y la absorbancia se miden en un instrumento llamado espectrofotómetro, la solución del analito se debe contener en algún recipiente transparente, tubo o celda. Para compensar estos efectos, la potencia del haz transmitido por la solución del analito es comparada comúnmente con la potencia del haz transmitido por una celda idéntica que contiene solamente solvente. Una absorbancia experimental que se aproxima mucho a la absorbancia verdadera se obtiene con la ecuación (Brunatti & Martín, 2011).

La transmitancia (T) de una sustancia en solución es la relación entre la cantidad de luz transmitida que llega al detector una vez que ha atravesado la muestra, I_t , y la cantidad de luz que incidió sobre ella, I_o , y se representa normalmente en tanto por ciento:
$$\% T = I_t / I_o \times 100$$
 La transmitancia nos da una medida física de la relación de intensidad



incidente y transmitida al pasar por la muestra. La relación entre %T y la concentración no es lineal, pero asume una relación logarítmica inversa (Bárcena *et al.*, 1984).

La absorbancia (A) es un concepto más relacionado con la muestra puesto que nos indica la cantidad de luz absorbida por la misma, y se define como el logaritmo de $1/T$, en consecuencia: $A = \log 1/T = -\log T = -\log I_t/I_o$. Cuando la intensidad incidente y transmitida son iguales ($I_o = I_t$), la transmitancia es del 100% e indica que la muestra no absorbe a una determinada longitud de onda, y entonces A vale $\log 1 = 0$, (Bárcena *et al.*, 1984).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El desarrollo de la investigación se realizó en el laboratorio de Control de Calidad de Aguas, de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional Del Altiplano (UNA-Puno), ubicada en el Distrito de Puno, Provincia Puno de la Región Puno y en el Laboratorio de Aguas Residuales de la EPS SEDA JULIACA S.A., ubicado en la ciudad Juliaca, Provincia de San Román, Región Puno.

3.2. MATERIALES

Equipos:

- ✓ Reactores para proceso POA (afluente–efluente) material: acrílico, bomba de (1/2) Hp de potencia
- ✓ Potenciómetro (medidor de pH y mv) marca OAKTON-pH2700 y CO150-HACH COMPANY.
- ✓ Agitadores magnéticos con control de rpm y temperatura US152
- ✓ Balanza analítica marca Mettler AJ100
- ✓ Balanza analítica marca SCIENSTECH SL600-7322
- ✓ Espectrofotómetro *Thermo Scientific GENESYS 10S*
- ✓ Turbidímetro HACH COMPANY-BOX, 389, LOVE LAND. COLO. U.S.A.
- ✓ Lámpara de UV 400 W (G16 T5 PHILIPS tubo)

Materiales:

- ✓ Fiolas: 100, 500 y 1000 mL
- ✓ Probetas, 10, 15, 25 y 50 mL
- ✓ Vaso de precipitados de 200 mL
- ✓ Matraz Erlenmeyer de 250 mL
- ✓ Pipetas, 10 y 50 mL
- ✓ Tubos de ensayo nessler de 10 mL
- ✓ Papel filtro W 10



Reactivos:

- ✓ Ácido sulfúrico H_2SO_4 QP
- ✓ Óxido de titanio TiO_2 QP
- ✓ Sulfato ferroso $FeSO_4$ QP
- ✓ Peróxido de hidrogeno H_2O_2 QP, concentración de 30 volúmenes.
- ✓ Anhídrido acético $C_4H_6O_3$, QP
- ✓ Metanol CH_3OH , al 70%

3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

Para la degradación de la saponina de aguas residuales de la industrialización de la quinua, se aplicó la metodología experimental a nivel de laboratorio, utilizando reactores de tanque agitado acondicionados de mezcladores mecánicos para un volumen de 20 litros de efluentes industriales de aguas residuales con concentración de saponina, a las que se les agregó los reactivos de oxidación para los procesos de:

- ✓ Evaluación de la Saponina.
- ✓ Proceso (TiO_2), (TiO_2/H_2O_2), ($TiO_2/H_2O_2/FeSO_4$) y ($TiO_2/H_2O_2/FeSO_4/UV$).
- ✓ Evaluación de la remoción de la materia orgánica (DQO).
- ✓ Análisis estadístico.

3.3.1. EVALUACIÓN DE LA SAPONINA.

La curva estándar se preparó utilizando reactivo de saponina estándar Q.P. Merck. Calbiochem, en diferentes concentraciones, de 0.03; 0.05; 0.075 y 0.100 mg/mL; y se transfieren a tubos Nessler 2 mL de muestra de saponina; al cuál se le añadió 3 mL del reactivo (mezcla de anhídrido acético y ácido sulfúrico en una proporción de 1:5) y 1 mL de metanol. Esperando un tiempo de desarrollo por 15 minutos (Rojas & Tapia. 2011), Obteniéndose un color rojo oscuro, muestra preparada que se lleva a lectura en el equipo espectrofotómetro a una longitud de onda (λ) de 355 nanómetros (nm), (Miranda, Z. 2004); obteniendo las lecturas de Transmitancia (%T) y estas llevar a absorbancia (A), promedio y con estos valores se construye la curva estándar concentración (mg/L) (vs) Absorbancia (A), tal como se muestra en la figura 6.

Desarrollo de la curva estándar para determinación de saponina.**Tabla 6. Datos para la curva de calibración de las saponinas patrón**

[mg/mL]	Absorbancia leída	Promedio absorbancia leída	DE	RSD
0.03	0.024	0.025	± 0.001	0.75%
	0.025			
	0.025			
	0.025			
0.05	0.026	0.112	± 0.001	0.75%
	0.111			
	0.112			
	0.113			
0.075	0.111	0.202	± 0.001	0.26%
	0.203			
	0.201			
	0.202			
0.10	0.201	0.321	± 0.001	0.26%
	0.201			
	0.321			
	0.322			
0.10	0.320	0.321	± 0.001	0.26%
	0.321			
	0.321			
	0.320			

Fuente: Elaboración Propia.

La figura N° 06 muestra la curva de calibración obtenida por regresión lineal, la cual permite establecer la ecuación experimental Ec. (1), para la cuantificación de saponinas: $y = 4,182x - 0,1009$. Se obtuvo un coeficiente de correlación lineal simple (R) de 0,998 que muestra una asociación lineal significativa entre ambas variables (absorbancia “y”; concentración “x”); que son determinaciones similares al de (Rojas & Tapia, 2011); la longitud de onda para la lectura por espectrofotometría fue de 355 (nm) nanómetros.

En la figura N° 06 se observa la curva estándar para cuantificar saponina en muestras de soluciones acuosas, cuya ecuación lineal es de:

$$y = 4.182 (x) - 0.1009 \quad (1)$$

$$R = 0.9988$$

Donde:

x = mg/L Concentración de saponina en la muestra

y = Absorbancia de espectrofotometría.

R = Correlación lineal

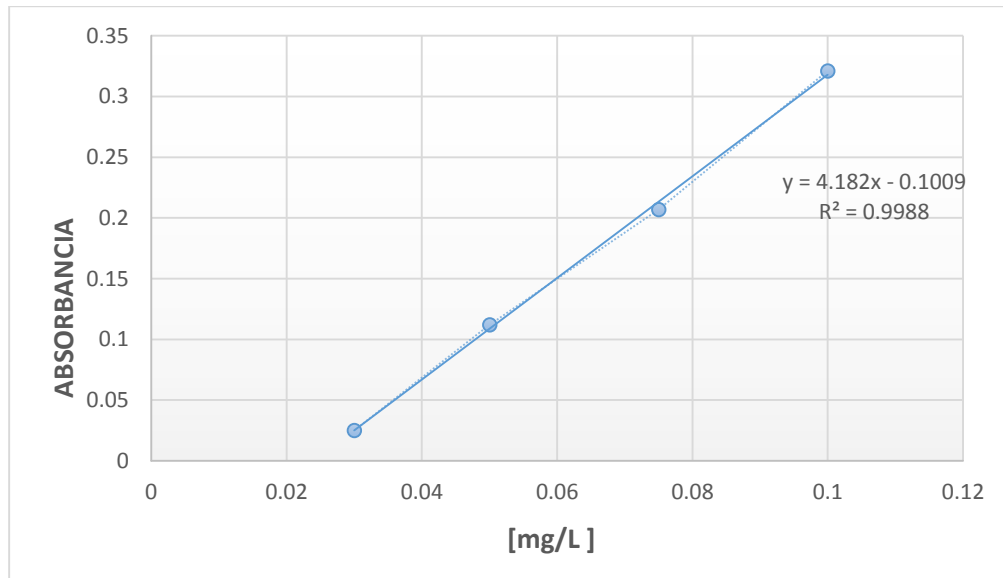


Figura 6. Curva de calibración para cuantificación de saponinas triterpénicas pentacíclicas.

Fuente: Elaboración propia

✓ **Preparación de la muestra.**

Se procedió a lavar las semillas de quinua mediante el método extracción sólido-líquido en proporción de 10 kg con 100 litros de agua potable, el tiempo de lavado fue de 30 minutos, que consiste en la separación del pericarpio (capa externa del grano) donde se concentra la saponina. A continuación, se separaron el grano de quinua de los residuos líquidos saponificados por medio de una filtración a través de una malla.

✓ **Identificación de saponina sin tratamiento en el agua residual**

Se tomó una muestra homogenizada del efluente industrial de agua residual con contenido de saponina, el que se colocó en un tubo de nessler a una fracción de 2 mL de muestra de saponina; al cuál se le añadió 3 mL del reactivo (mezcla de anhídrido acético y ácido sulfúrico en una proporción de 1:5) y 1 mL de metanol. Esperando un tiempo de desarrollo por 15 minutos (Rojas & Tapia. 2011), Obteniéndose un color rojo oscuro, muestra preparada que se lleva a lectura en el equipo espectrofotómetro a una longitud de

onda (λ) de 355 nanómetros (nm); obteniendo los resultados de Transmitancia (%T) y estas llevar a absorbancia (A).

Determinaciones:

- ✓ Se obtiene el porcentaje de transmitancia (%T) en el equipo espectrofotómetro.

$$\%T = 0.2$$

- ✓ Determinación de la Absorbancia según la Ec. (6).

$$A = -\log (\%T/100) \quad (6)$$

$$A = -\log (0.2/100)$$

$$A = 2.70$$

- ✓ Se determina la concentración de saponina, según la Ec. (1) de la curva estándar de la determinación de saponina.

$$C_0 = x$$

$$x = (y + 0.1009) /4.182 \quad (1)$$

Donde:

x: concentración de saponina (mg/L)

y: Absorbancia leída, de la saponina

$$x = (2.70 + 0.1009) /4.182$$

$$x = 0.67 \text{ mg/L.}$$

Concentración de saponina en el agua residual = 0.67 mg/L.

Se tiene resultados similares en el trabajo de investigación realizado por (Zarate, 2016), Extracción sólido-líquido de la saponina de quinua (*chenopodium quinoa willd*).

3.3.2. PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA (POA)

Para alcanzar los objetivos trazados en el presente trabajo de investigación se siguió cuatro procesos de oxidación, y cada proceso de oxidación en ocho muestras de



aguas residuales y cada una de estas es tratado con diferentes concentraciones del oxidante respectivo, con el objetivo de obtener el mayor porcentaje de remoción de saponina (%R) de la muestra del agua residual del proceso de desaponificado de quinua:

El diseño factorial 2^k es particularmente útil en la primera fase del trabajo experimental.

$$N = 2^k$$

Dónde:

K = número de variables

N = número de experimentos

$N = 2^3 = 8$ número de muestras.

a. Oxidación con óxido de titanio (TiO_2).

El proceso de oxidación se realizó con tratamiento de TiO_2 , con diferentes concentraciones en ocho muestras cada uno con 100 mL de agua residual de saponina, y de esta se selecciona la muestra tratada que contenga el mayor porcentaje de remoción de saponina (%R), el que corresponderá a la concentración del oxidante, óxido de titanio (TiO_2) de mayor remoción de saponina.

Para determinar la concentración óptima de óxido de titanio (TiO_2) para la absorción de saponina:

- ✓ Se realizó el ensayo tomando 08 muestras de 100 mL de agua residual industrial con contenido de saponina extraído de la quinua, en Matraces Erlenmeyer.
- ✓ Se agregó a la muestra diferentes concentraciones de óxido de titanio TiO_2 , tal como se expone en la tabla 6; a temperatura de control 15°C .
- ✓ Se llevó a agitación una velocidad de 100 rpm, por 20 minutos.
- ✓ Luego se procede con la filtración.



- ✓ Se colocó en un tubo de nessler una fracción de 2 mL de la muestra, a la cual se añadió 3 mL del reactivo (mezcla de anhídrido acético y ácido sulfúrico en una proporción de 1:5) y 1 mL de metanol y se dejó reaccionar por 15 minutos.
- ✓ Se realiza la lectura de la muestra en el equipo espectrofotómetro a una longitud de onda (λ) de 355 nanómetros (nm), obteniendo los resultados de % Transmitancia (%T).
- ✓ Se calcula la Absorbancia.

$$A = -\log (\%T/100) \quad (7)$$

$$A = y$$

- ✓ Se calcula la concentración de saponina, según la ecuación (1) de la curva estándar.

Donde (x) es la concentración final (Cf) de la saponina y (y) es la absorbancia después del tratamiento con Oxido de Titanio TiO_2

$$C_f = x$$

$$x = (y + 0.1009) / 4.182 \quad (1)$$

$$x = \text{mg/L}$$

- ✓ Se calcula el porcentaje de remoción según la (Ec.8).

$$\% R = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} * 100 \quad (8)$$

Donde:

%R: % de remoción de la saponina

C_0 : concentración inicial de la saponina sin tratamiento

C_f : concentración final de la saponina después del tratamiento.

Para su evaluación en la tabla 7, se tiene la matriz de tratamiento.

Tabla 7. Matriz de evaluación del POA con TiO₂.

N°	TiO ₂ (mg/L)	%T	A	C ₀ (mg/L)	C _f (mg/L)	%R
1	5			0.67		
2	10			0.67		
3	20			0.67		
4	40			0.67		
5	60			0.67		
6	80			0.67		
7	100			0.67		
8	120			0.67		

(Elaboración Propia, 2019)

b. Oxidación con óxido de titanio y peróxido de hidrógeno (TiO₂/ H₂O₂).

En esta etapa, el proceso de oxidación se realiza utilizando la concentración de TiO₂ selecto obtenido en el proceso anterior 60 mg/L; el que es evaluado como la mejor concentración para la remoción de la saponina. Para el proceso de oxidación con óxido de titanio y peróxido de hidrógeno (TiO₂/ H₂O₂), se toman ocho muestras de agua residual de saponina, cada uno de 100 mL; a los cuales se les adiciona diferentes volúmenes del oxidante peróxido de hidrógeno, de concentración de 30 volúmenes, más la concentración selecta de TiO₂, los cuales fueron sometidos a agitación a 100 rpm por un tiempo 20 minutos, de este proceso de oxidación se selecciona la muestra tratada que contenga el mayor porcentaje de remoción de saponina (%R) procesado por los oxidantes, óxido de titanio y peróxido de hidrógeno (TiO₂/ H₂O₂).

Para determinar la cantidad óptima del oxidante peróxido de hidrogeno (H₂O₂) para la remoción de saponina por el POA se desarrolló el siguiente proceso:

- ✓ Se tomó 08 muestras en Matraces Erlenmeyer cada uno de volumen de 100 mL de agua residual industrial producto del lavado de quinua con contenido de saponina.
- ✓ Se agregó a las muestras, óxido de titanio TiO₂, de concentración óptima determinada en la prueba anterior de 60 mg/L, a una temperatura de control de 15° C.



- ✓ Luego se agregó a las muestras diferentes volúmenes de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) de concentración de 30 volúmenes.
- ✓ Se llevó a agitación por 20 minutos a una velocidad de 100 rpm.
- ✓ Seguidamente se procede con la filtración.
- ✓ Se colocó en un tubo de ensayo nessler una fracción de 2 mL de la muestra, a la cual se añadió 3 mL del reactivo (mezcla de anhídrido acético y ácido sulfúrico en una proporción de 1:5) y 1 mL de metanol, el cual se dejó reaccionar por 15 minutos.
- ✓ Pasado el tiempo de reacción se lectura las muestras en el equipo espectrofotómetro a una longitud de onda (λ) de 355 nanómetros (nm), obteniendo los resultados de % Transmitancia (%T).
- ✓ Se determina la Absorbancia.

$$A = -\log (\%T/100)$$

- ✓ Se determina la concentración de saponina, según la ecuación (1).

$$C_f = x$$

$$x = (y + 0.1009) / 4.182$$

- ✓ Se calcula el porcentaje de remoción.

$$\% R = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} * 100$$

Para su evaluación en la tabla 8, se tiene la matriz de tratamiento.

Tabla 8. Matriz de evaluación Del POA con (TiO₂/H₂O₂).

N°	H ₂ O ₂ (mL)	TiO ₂ (mg/L)	%T	A	C ₀ (mg/L)	C _f (mg/L)	%R
1	3	Selecto			0.67		
2	6	Selecto			0.67		
3	9	Selecto			0.67		
4	12	Selecto			0.67		
5	15	Selecto			0.67		
6	18	Selecto			0.67		
7	21	Selecto			0.67		
8	24	Selecto			0.67		

(Elaboración Propia, 2019)

c. Oxidación con óxido de titanio-peróxido de hidrógeno-sulfato ferroso (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄).

En esta etapa, el proceso de oxidación se realiza utilizando la concentración selecta de (TiO₂/H₂O₂) 60 mg/L y 18 mL respectivamente, obtenidos en el proceso anterior, evaluado como la concentración de mejor tratamiento para la remoción de la saponina. Para este tratamiento se toma ocho muestras de agua residual de saponina cada uno de 100 mL, para el mejor tratamiento la remoción de la saponina;, a los cuales se les adiciona diferentes concentraciones del oxidante sulfato ferroso (FeSO₄) más la concentración selecto de TiO₂/H₂O₂, del proceso anterior, a los cuales se les somete a agitación a 100 rpm por un tiempo 20 minutos, finalizado el tratamiento se selecciona la muestra tratada que contenga el mayor porcentaje de remoción de saponina (%R) procesado por los oxidantes, oxido de titanio, peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso, (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄).

Para determinar la concentración óptima de sulfato ferroso FeSO₄ para la remoción de saponina se realizó el proceso de:

- ✓ Para la evaluación se toman en Matraz Erlenmeyer, 08 muestras de 100 mL de agua residual con contenido de saponina, extraído del lavado de quinua
- ✓ Se agregó a las muestras óxido de titanio TiO₂ y peróxido de hidrogeno H₂O₂ de concentración optima, determinada en las pruebas anteriores



- ✓ Posteriormente se agrega sulfato ferroso FeSO_4 en diferentes concentraciones, para determinar la cantidad necesaria optima de este oxidante.
- ✓ Se llevó a agitación por 20 minutos una velocidad de 100 rpm.
- ✓ Luego se procede con la filtración de las muestras tratadas.
- ✓ En seguida se colocó en un tubo de ensayo nessler, una fracción de 2 mL de la muestra, a cuál se añadió 3 mL del reactivo (mezcla de anhídrido acético y ácido sulfúrico en una proporción de 1:5) y 1 ml de metanol, y se dejó reaccionar por 15 minutos.
- ✓ Se lectura la muestra en el equipo espectrofotómetro a una longitud de onda (λ) de 355 nanómetros (nm), obteniendo los resultados de % Transmitancia.
- ✓ Se determina la Absorbancia
- ✓ $A = -\log (\%T/100)$
- ✓ Se calcula la concentración de saponina, según la ecuación (1) de la curva estándar.

$$C_f = x$$

$$x = (y + 0.1009) / 4.182$$

- ✓ Seguidamente se determina el porcentaje de remoción de la saponina

$$\% R = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} * 100$$

Para su evaluación en la tabla 09, se tiene la matriz de tratamiento.

Tabla 9. Matriz de evaluación del POA con ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4$).

N°	FeSO_4 (mg/L)	H_2O_2 (mL)	TiO_2 (mg/L)	%T	A	C_0 (mg/L)	C_f (mg/L)	%R
1	15	Selecto	Selecto			0.67		
2	20	Selecto	Selecto			0.67		
3	25	Selecto	Selecto			0.67		
4	30	Selecto	Selecto			0.67		
5	35	Selecto	Selecto			0.67		
6	40	Selecto	Selecto			0.67		
7	45	Selecto	Selecto			0.67		
8	50	Selecto	Selecto			0.67		

(Elaboración Propia, 2019)



d. Oxidación con óxido de titanio-peróxido de hidrógeno-sulfato ferroso-rayos ultravioleta ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$).

En esta etapa, el proceso de oxidación se realiza utilizando las concentraciones selectas de ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4$) 60 mg/L, 18 mL y 40 mg/L respectivamente obtenidos en el proceso anterior, evaluado el de mejor tratamiento para la remoción (%R) de la saponina. Para este proceso se prepara una muestra de agua residual de saponina de quinua, en un volumen de 20 Litros a los cuales se les adiciona las concentraciones selectas de ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4$) obtenidos en el proceso anterior; a esta disolución se le somete a flujo continuo con recirculación de la muestra de agua residual por un tiempo de 40 minutos, en el equipo de cámara de esterilización de luz ultravioleta de longitud de onda de 355 nanómetros, de este flujo continuo se toma 08 muestras de 100 mL, cada 5 minutos para el análisis de saponina. De este proceso se selecciona la muestra tratada que contenga el mayor porcentaje de remoción de saponina (%R) procesado por los oxidantes, oxido de titanio, peróxido de hidrógeno, sulfato ferroso y rayos UV, ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$).

Para determinar el tiempo óptimo se desarrolló el proceso de reacción en función de la luz UV, para determinar el tiempo óptimo en equilibrio para remoción de la saponina:

- ✓ Se procedió a lavar 2 Kg de semillas de quinua con 20 litros de agua potable mediante frotación; proceso industrial realizado para el desaponificado de la quinua.
- ✓ Se adicionó las cantidades óptimas determinadas en los procesos que nos anteceden para el óxido de titanio (TiO_2), peróxido de hidrogeno (H_2O_2) y sulfato ferroso (FeSO_4), a la muestra de 20 litros de agua residual desaponificado de la quinua.
- ✓ Seguidamente se inicia la recirculación en flujo continuo del agua residual, con un caudal de 2 litros por minuto (2 L/min), por el lapso de 20 minutos, en el equipo de la cámara de esterilización de luz ultravioleta; del cual se

toma 08 muestras de 100 mL, cada 5 minutos para el análisis de saponina y de la DQO.

- ✓ Las determinaciones de la saponina, se realizaron por los métodos descritos anteriormente.
- ✓ Se determinan el % de transmitancia (%T) y la absorbancia (A)

$$A = -\log (\%T/100)$$

$$A = -\log (0.2/100)$$

$$A = 2.70$$

- ✓ Posteriormente determinar la concentración de saponina, según la ecuación de la curva estándar.

$$x = (y + 0.1009) / 4.182$$

Donde: (x) es la concentración final (Cf) de la saponina y (y) es la absorbancia después del tratamiento con $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$.

- ✓ Seguidamente se determina el porcentaje de remoción de la saponina (% R).

$$\% R = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} * 100$$

Para su evaluación se tiene en la tabla 10 la matriz de tratamiento.

Tabla 10. Matriz de evaluación del POA con $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$.

N°	t (min) UV	FeSO ₄ (mg/L)	H ₂ O ₂ (mL)	TiO ₂ (mg/L)	%T	A	C ₀ (mg/L)	C _f (mg/L)	%R
1	5	Selecto	Selecto	Selecto			0.67		
2	10	Selecto	Selecto	Selecto			0.67		
3	15	Selecto	Selecto	Selecto			0.67		
4	20	Selecto	Selecto	Selecto			0.67		
5	25	Selecto	Selecto	Selecto			0.67		
6	30	Selecto	Selecto	Selecto			0.67		
7	35	Selecto	Selecto	Selecto			0.67		
8	40	Selecto	Selecto	Selecto			0.67		

(Elaboración Propia, 2019)



3.3.3. EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA.

Para el desarrollo del segundo objetivo específico planteado, determinar el rendimiento de la remoción de materia orgánica persistente en el agua residual del procesamiento de des amargado o desaponificación de la quinua. Se consideró evaluar con resultados obtenidos de un laboratorio externo, para lo cual se consideró:

- ✓ Para determinar el contenido de materia orgánica a partir de la cantidad de oxígeno necesaria para su completa oxidación; se toma una muestra inicial de agua residual de la desaponificación de la quinua sin tratamiento de POA.
- ✓ Se toma 08 muestras finales con tratamiento de oxidación avanzada (POA) de la remoción de materia orgánica, de concentraciones óptimas, determinados en el proceso de tratamiento con óxido de titanio, peróxido de hidrogeno, sulfato ferroso y radiación UV; ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$).
- ✓ Se realizó la cadena de custodia para las muestras, y se transportó a una temperatura de 4°C aproximadamente.
- ✓ las muestras fueron analizadas por el laboratorio de control de calidad de aguas residuales de la EPS. SEDA JULIACA S.A.
- ✓ Con los resultados de demanda química de oxígeno emitidos por el laboratorio externo, se realiza la evaluación de la remoción del contenido de materia orgánica a partir de la cantidad de oxígeno necesaria para su completa oxidación.
- ✓ Se determina el porcentaje de remoción de materia orgánica, considerando la demanda química de oxígeno.

$$\% R = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} * 100$$

$$\% R = \frac{(12300 - 3550)}{12300} * 100$$

$$\%R = 71.14$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EVALUACIÓN DE LA SAPONINA.

La semilla de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) fue obtenida de los centros de cultivos del distrito de Cabanillas, Provincia de San Román, Región Puno, quinua de la variedad Kancolla, que es considerado de alta concentración en el contenido de saponina, (Mujica *et al.*, 2006). Para la identificación de saponina del pericarpio de la quinua se realizó mediante reacciones de coloración, la reacción fue positiva, obteniendo el color rojo oscuro.

En la Tabla 11, se observa la determinación de la concentración inicial de saponina mg/L; evaluado mediante análisis espectrofotométrico, determinando su absorbancia y evaluada según la ecuación de la curva estándar determinado en el punto 2.2.3. saponina en la quinua.

Tabla 11. Concentración de saponinas de quinua.

N°	%T	A	C ₀ (mg/L)
01	0.2	2.70	0.67

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

4.2. PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA POA.

4.2.1. RESULTADOS DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA CON ÓXIDO DE TITANIO (TiO₂).

Los resultados del tratamiento con TiO₂ se muestran en la Tabla 12 y Figura 7.

Tabla 12. Evaluación de la remoción de saponina por POA con tratamiento de (TiO₂)

N°	TiO ₂ (mg/L)	%T	A	C ₀ (mg/L)	C _r (mg/L)	%R
1	5	0.40	2.40	0.67	0.60	10.45
2	10	0.35	2.46	0.67	0.61	08.70
3	20	0.42	2.38	0.67	0.59	11.53
4	40	0.90	2.05	0.67	0.51	23.35
5	60	3.30	1.48	0.67	0.38	43.49
6	80	2.10	1.68	0.67	0.43	36.49
7	100	2.80	1.55	0.67	0.40	40.95
8	120	1.90	1.72	0.67	0.44	34.93

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

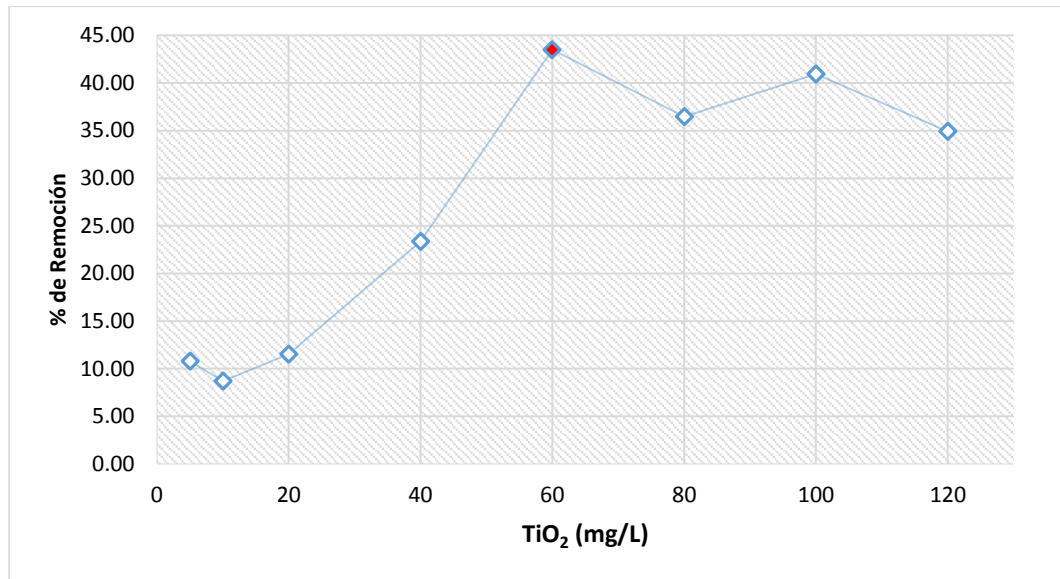


Figura 7: Remoción de saponina con óxido de titanio (TiO₂)

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

Los resultados de la evaluación del proceso de oxidación avanzada (POA) con TiO₂ se muestran en la tabla 13 y Figura 7, y se evidencian que la concentración óptima de óxido de titanio TiO₂ es de 60 mg/L; para la remoción de saponina al 43.49 %. Estos resultados son comparados con (Visitación, 2004), que degrada las moléculas de LAS de detergentes, logrando alcanzar sólo el 37% con el sistema TiO₂/UV. (Mendoza, 2019) En la fotodegradación de un detergente comercial, variando la concentración de TiO₂ de 20 hasta 40 mg/L demostró que el mejor resultado se encontró con una concentración óptima de 35 mg/L. UV /TiO₂.

4.2.2. RESULTADOS DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA CON ÓXIDO DE TITANIO Y PERÓXIDO DE HIDROGENO (TiO₂/H₂O₂):

Los resultados mostrados en la Tabla 13 y Figura 8, evidencian que la concentración óptima de peróxido de hidrogeno H₂O₂ es de 60 mg/L; para una remoción del 97.27 % de saponina.

Tabla 13. Evaluación de la remoción de saponina por POA con tratamiento de (TiO₂/H₂O₂)

N°	H ₂ O ₂ (mL)	TiO ₂ (mg/L)	%T	A	C ₀ (mg/L)	C _f (mg/L)	%R
1	3	60	70.30	0.15	0.67	0.061	90.93
2	6	60	81.20	0.09	0.67	0.046	93.16
3	9	60	92.30	0.03	0.67	0.032	95.15
4	12	60	95.20	0.02	0.67	0.029	95.63
5	15	60	98.50	0.01	0.67	0.026	96.16
6	18	60	99.20	0.00	0.67	0.025	96.27
7	21	60	89.60	0.05	0.67	0.036	94.69
8	24	60	95.70	0.02	0.67	0.029	95.71

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

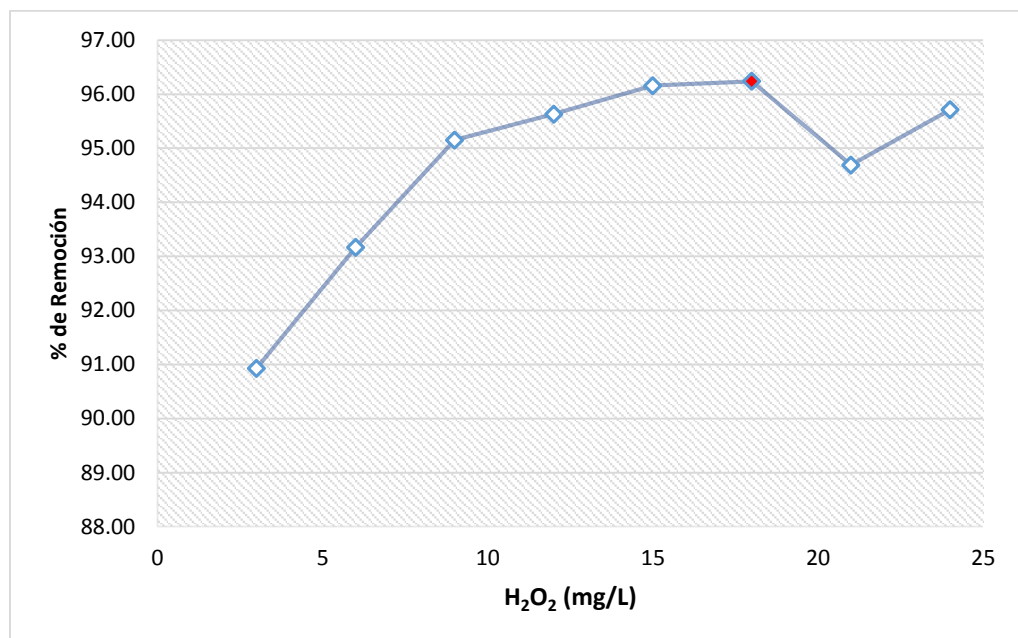


Figura 8: Remoción de saponina con óxido de titanio y peróxido de hidrogeno (TiO₂/H₂O₂)

Fuente: (Elaboración Propia, 2019).

La degradación de las moléculas de LAS, concluye que la adición de H₂O₂ a la solución mejora notablemente el porcentaje de degradación, alcanzando un 82% TiO₂/UV/H₂O (Visitación, 2004).

4.2.3. RESULTADOS DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA CON ÓXIDO DE TITANIO, PERÓXIDO DE HIDROGENO Y SULFATO FERROSO (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄):

Los resultados mostrados en la Tabla 14 y Figura 9, evidencian que la concentración óptima de sulfato ferroso FeSO₄ es de 40 mg/L; para la remoción del 96.25 % de saponina.

Tabla 14. Evaluación de la remoción de saponina por POA con tratamiento de (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄).

N°	FeSO ₄ (mg/L)	H ₂ O ₂ (mL)	TiO ₂ (mg/L)	%T	A	C ₀ (mg/L)	C _f (mg/L)	%R
1	15	18	60	81.60	0.088	0.67	0.045	93.24
2	20	18	60	95.20	0.021	0.67	0.029	95.63
3	25	18	60	90.10	0.045	0.67	0.035	94.78
4	30	18	60	92.70	0.033	0.67	0.032	95.22
5	35	18	60	85.60	0.068	0.67	0.040	93.98
6	40	18	60	99.10	0.004	0.67	0.025	96.25
7	45	18	60	84.30	0.074	0.67	0.042	93.75
8	50	18	60	85.90	0.066	0.67	0.040	94.04

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

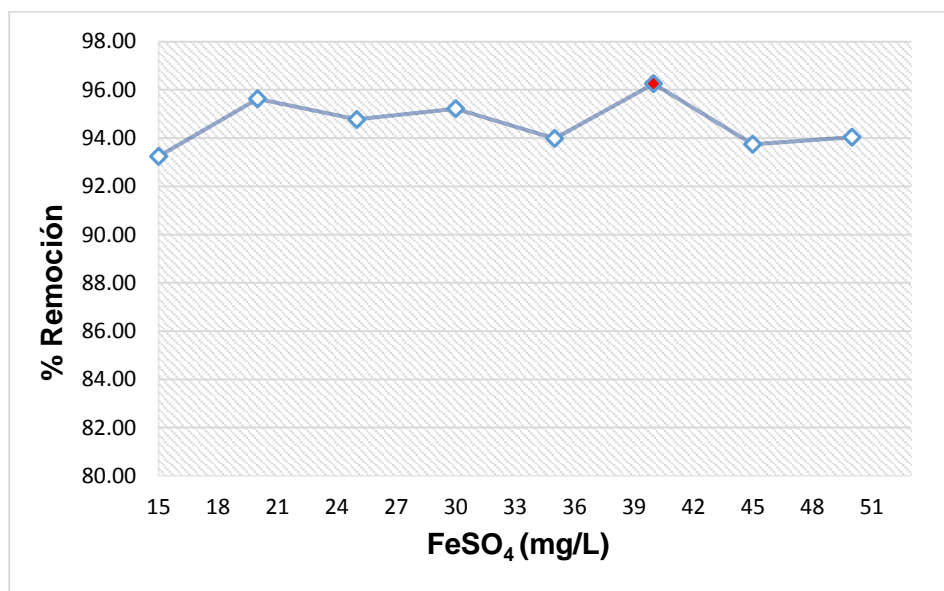


Figura 9. Remoción de saponina con óxido de titanio, peróxido de hidrogeno y sulfato ferroso (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄)

Fuente: (Elaboración Propia, 2019).

(Mendoza, 2019) en su trabajo de fotocatalisis utilizando H₂O₂/Fe(II)/UV, obteniendo un alto rendimiento del 99.77% de degradación aniónica presente en aguas

residuales; resultado que es muy similar al obtenido en el presente trabajo de investigación.

4.2.4. RESULTADOS DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA CON ÓXIDO DE TITANIO, PERÓXIDO DE HIDROGENO, SULFATO FERROSO Y RADIACIÓN UV ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$):

Los resultados mostrados en la Tabla 15 y Figura 10, evidencian que el tiempo óptimo de recirculación del flujo de agua residual con contenido de saponina, por la cámara de tratamiento de rayos ultravioleta (UV) es por 20 minutos, para una remoción del 96.13 % de saponina.

Tabla 15. Evaluación de la remoción de saponina por POA con tratamiento de ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$).

Nº	t (min) UV	FeSO_4 (mg/L)	H_2O_2 (mL)	TiO_2 (mg/L)	%T	A	C_0 (mg/L)	C_f (mg/L)	%R
1	5	40	18	60	97.2	0.01	0.67	0.027	95.95
2	10	40	18	60	95.6	0.02	0.67	0.029	95.70
3	15	40	18	60	96.1	0.02	0.67	0.028	95.78
4	20	40	18	60	98.3	0.01	0.67	0.026	96.13
5	25	40	18	60	95.3	0.02	0.67	0.029	95.65
6	30	40	18	60	97.6	0.01	0.67	0.027	96.02
7	35	40	18	60	95.5	0.02	0.67	0.029	95.68
8	40	40	18	60	96.4	0.02	0.67	0.028	95.83

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

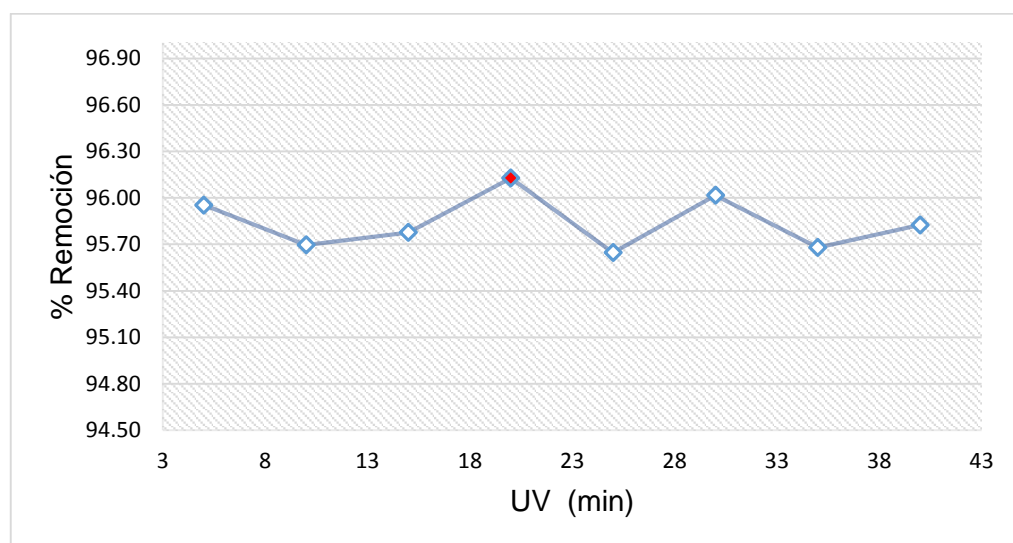


Figura 10. Remoción de saponina con óxido de titanio, peróxido de hidrogeno, sulfato ferroso y rayos ultravioleta ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$)

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

Para la fotodegradación de detergente aniónico presente en aguas residuales de la lavandería. Emplearon el sistema de fotocatalisis, Lograron un resultado con el sistema UV/TiO₂/H₂O₂, una eficiencia de 99.87% (Mendoza, 2019).

4.3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA (DQO).

La evaluación del rendimiento de la remoción de la materia orgánica cuantificada por la demanda química de oxígeno (DQO), se realizó posterior al proceso de tratamiento de oxidación avanzada (POA) de (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄/UV); con el objetivo de:

- ✓ Determinar el rendimiento de la remoción de materia orgánica persistente genérica en el agua residual industrial del procesamiento del des amargado o de desaponificación de la quinua.

Los resultados se muestran en la tabla 16 y figura 11.

Tabla 16. Evaluación del POA con tratamiento (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄/UV) para remoción de la DQO

N°	t (min) UV	DQO ₀ (mg/L)	DQO _r (mg/L)	%R
1	5	12300	3550	71.14
2	10		3775	69.31
3	15		3542	71.20
4	20		2988	75.71
5	25		3322	72.99
6	30		3378	72.54
7	35		3147	74.41
8	40		3409	72.28

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

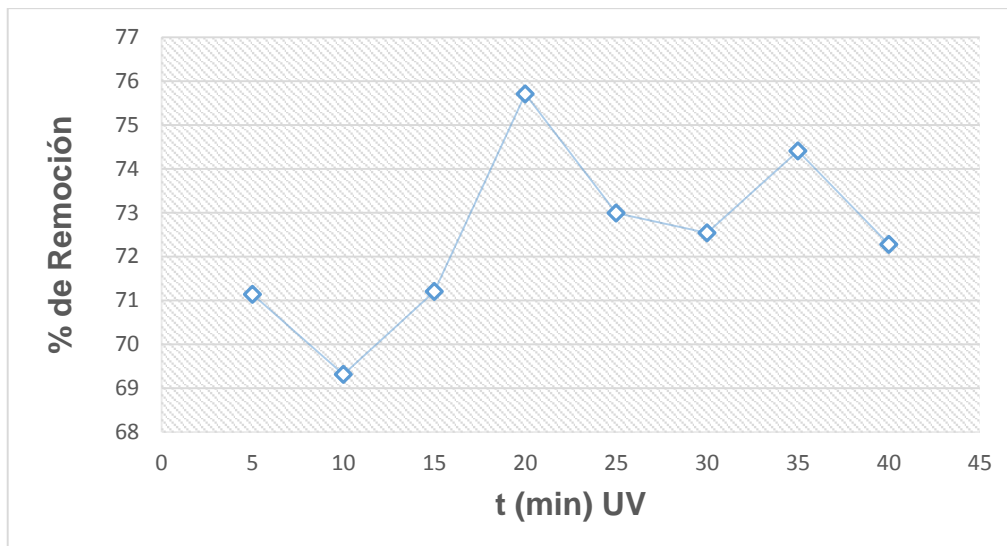


Figura 11. Porcentaje de remoción de materia orgánica con respecto a la demanda química de oxígeno con el POA ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_2/\text{UV}$).

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

Los resultados que se muestran en la tabla 17 y figura 11, evidencian que la mayor remoción de la materia orgánica cuantificado con la demanda química de oxígeno (DQO) es del 75.71 %, para el tratamiento con concentraciones óptimas de óxido de titanio, peróxido de hidrógeno, sulfato ferroso y radiación UV ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$), para un tiempo de flujo continuo del agua residual, en la cámara de rayos ultravioleta por un lapso de 20 minutos.

La remoción del DQO de aguas contaminadas con materia orgánica saponina, disminuye la estructura con grupos sulfonatos de buena afinidad al agua (iónico), y por lo tanto se formarán fácilmente sales solubles con el calcio y magnesio por lo que disminuye el carácter tóxico de la saponina en el agua.

De acuerdo al Decreto Supremo D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, el Valor Máximo Admisible para su descarga a la red de alcantarillado sanitario; para el parámetro DQO es de 1000 mg/L; en el presente trabajo de investigación se tiene como el mejor resultado de 2988 mg/L del parámetro DQO.

4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REMOCIÓN DE SAPONINA DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DEL DESAMARGADO DE QUINUA

El análisis estadístico se realizó empleando el Software STATIGRAPHICS Centurión XVII, para evaluar los resultados del proceso de tratamiento de aguas

residuales industriales de desaponificación de la quinua para la remoción de saponina por proceso de oxidación avanzada.

4.4.1. REMOCIÓN DE SAPONINA CON ÓXIDO DE TITANIO (TiO₂).

Tabla 17. ANOVA para remoción de saponina por POA, TiO₂

Fuente	Suma de Cuadrados	G l	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1351.6	3	450.535	15.72	0.0112
Intra grupos	114.619	4	28.6547		
Total (Corr.)	1466.22	7			

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de remoción de la saponina entre un nivel de TiO₂ y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se selecciona de las pruebas de múltiples rangos, y de la lista de opciones tabulares de la concentración de TiO₂ de los grupos (1-2) y (3-4) muestran el mismo efecto o que son grupos homogéneos en la remoción de saponina, con diferencia significativa entre ambos grupos en la remoción de saponina; tal como se muestra en la tabla 18 y figura 12, mostrándose que el grupo 3 reporta una media de 39.99% de alta remoción de saponina de las aguas residuales industriales.

Tabla 18. ANOVA para remoción de saponina por POA, TiO₂

Método: 95.0 porcentaje LSD

TiO ₂	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	2	9.735	X
2	2	17.44	X
4	2	37.94	X
3	2	39.99	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		-7.705	14.8624
1 - 3	*	-30.255	14.8624
1 - 4	*	-28.205	14.8624
2 - 3	*	-22.55	14.8624
2 - 4	*	-20.5	14.8624
3 - 4		2.05	14.8624

* indica una diferencia significativa.

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

Medias y 95.0% de Fisher LSD

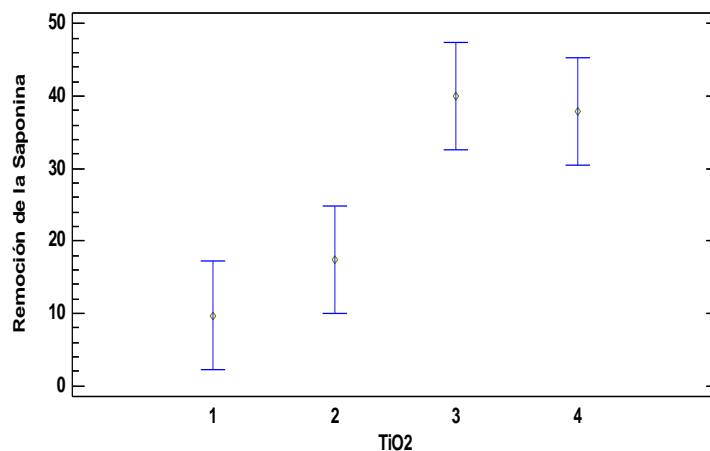


FIGURA 12. Pruebas de múltiples rangos para remoción de saponina por TiO₂

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

4.4.2. REMOCIÓN DE SAPONINA CON (TiO₂) ÓPTIMO Y PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (TiO₂/H₂O₂)

Tabla 19. ANOVA para remoción de la saponina por H₂O₂

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	20.1394	3	6.71315	8.58	0.0323
Intra grupos	3.1279	4	0.781975		
Total (Corr.)	23.2673	7			

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Remoción de la Saponina entre un nivel de H₂O₂ y los otros oxidantes intervinientes, con un nivel del 95.0% de confianza.

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se seleccionó mediante las Pruebas de Múltiples Rangos de la lista de Opciones Tabulares, no existiendo diferencia significativa en el tratamiento con H₂O₂ entre los grupos (1) y (4-2 y 3) que muestran el mismo efecto o que son grupos homogéneos en la remoción de saponina, con diferencia significativa entre ambos grupos en la remoción de saponina; tal como se muestra en la tabla 20 y figura 13, mostrándose que el grupo 3 reporta una media alta de 96.21% de remoción de saponina de las aguas residuales industriales.

Tabla 20. Pruebas de múltiples rangos para remoción de saponina por H₂O₂.

Método: 95.0 porcentaje LSD

H ₂ O ₂	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1		92.045	X
4		95.200	X
2		95.390	X
3		96.215	X

* indica una diferencia significativa.

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-3.345	2.4552
1 - 3	*	-4.17	2.4552
1 - 4	*	-3.155	2.4552
2 - 3		-0.825	2.4552
2 - 4		0.19	2.4552
3 - 4		1.015	2.4552

Medias y 95.0% de Fisher LSD

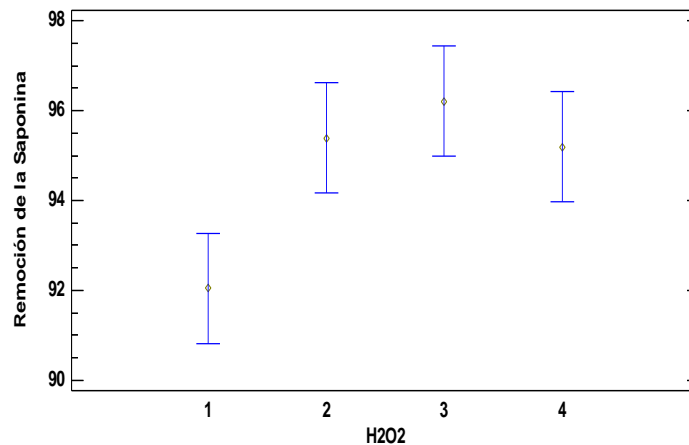


Figura 13. Pruebas de múltiple rangos para remoción de saponina por H₂O₂

4.4.3. REMOCIÓN DE SAPONINA CON OXIDO ÓPTIMOS (TiO₂/H₂O₂) Y SULFATO FERROSO (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄)

Tabla 21. ANOVA para remoción de la saponina por FeSO₄

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.89794	3	0.632646	0.45	0.7286
Intra grupos	5.57135	4	1.39284		
Total (Corr.)	7.46929	7			

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Remoción de la Saponina entre un nivel de FeSO_4 y los otros oxidantes óptimos ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$) intervinientes, con un nivel del 95.0% de confianza.

4.4.4 REMOCIÓN DE LA SAPONINA CON OXIDANTES ÓPTIMOS ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4$) Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA (UV)

Tabla 22. ANOVA para remoción de la saponina utilizando radiación ultravioleta (UV) con oxidantes óptimos ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4$)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.04135	3	0.0137833	0.32	0.8117
Intra grupos	0.1722	4	0.04305		
Total (Corr.)	0.21355	7			

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Remoción de la Saponina entre un nivel de Radiación UV y los otros oxidantes óptimos ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4$) intervinientes, con un nivel del 95.0% de confianza.

4.5. EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO DQO UTILIZANDO POA ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$)

Se realizó la evaluación de la remoción de la demanda química de oxígeno DQO, utilizando el tratamiento con el POA con parámetros óptimos de ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$). Para su evaluación se utilizaron los datos de la tabla 16; teniéndose el mayor valor de remoción de la materia orgánica %R de DQO del 75.7%, para un tratamiento de 20 minutos.

Tabla 23. ANOVA Para Remoción de DQO utilizando POA con ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$) para determinar el tiempo óptimo de equilibrio

Fuente	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	13.7217	4.57392	1.29	0.3930
Intra grupos	14.2142	3.55355		
Total (Corr.)	27.9359			

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Remoción de la DQO para

diferentes tiempos de equilibrio con el uso de proceso de oxidación avanzada POA, de parámetros óptimos de ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$), con un nivel del 95.0% de confianza.

4.6. EVALUACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO PARA REMOCIÓN DE SAPONINA DE QUINUA POR PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA (POA).

Para la evaluación del tiempo óptimo se ha considerado tiempos de tratamiento de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, y 40 minutos; para los procesos de oxidación avanzada (POA)

4.6.1. Evaluación del tiempo óptimo para remoción de saponina de quinua por proceso de oxidación avanzada POA con ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$) óptimos con (FeSO_4) por tiempo.

Se tienen los siguientes análisis estadísticos:

Tabla 24. ANOVA para tratamiento de diferentes tiempos y POA con ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$) óptimos y (FeSO_4)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1001.59	3	333.863	27.81	0.0039
Intra grupos	48.0269	4	12.0067		
Total (Corr.)	1049.62	7			

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

La razón-F, que en este caso es igual a 27.8063, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de POA ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$) óptimos con (FeSO_4), entre un nivel de tiempo del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se seleccionó Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares. Se tiene que el tratamiento de oxidación POA ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$) óptimos con (FeSO_4) para los tiempos de (17.5 – 27.5) minutos no tienen diferencia, manteniendo el mismo efecto para la remoción de la saponina; así mismo el tratamiento para los tiempos de (37.5 – 47.5) minutos no muestran diferencia, teniendo el mismo efecto para la remoción de la saponina. Al comparar, estadísticamente ambos grupos, estas muestran diferencia en la remoción de la saponina, teniéndose que la remoción más significativa de saponina se tiene para el tiempo de 37.5 minutos, tal como se observa en la tabla 26 y en la figura 14.

Tabla 25. Pruebas de múltiple rangos para POA con FeSO₄ por tiempo*Método: 95.0 porcentaje LSD*

tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
17.5	2	07.505	X
27.5	2	15.110	X
47.5	2	27.135	X
37.5	2	36.745	X

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
17.5 - 27.5		-7.605	9.62062
17.5 - 37.5	*	-29.24	9.62062
17.5 - 47.5	*	-19.63	9.62062
27.5 - 37.5	*	-21.635	9.62062
27.5 - 47.5	*	-12.025	9.62062
37.5 - 47.5		9.61	9.62062

* indica una diferencia significativa.

La tabla 26, aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. El asterisco que se encuentra al lado de los 4 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la tabla 25 se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

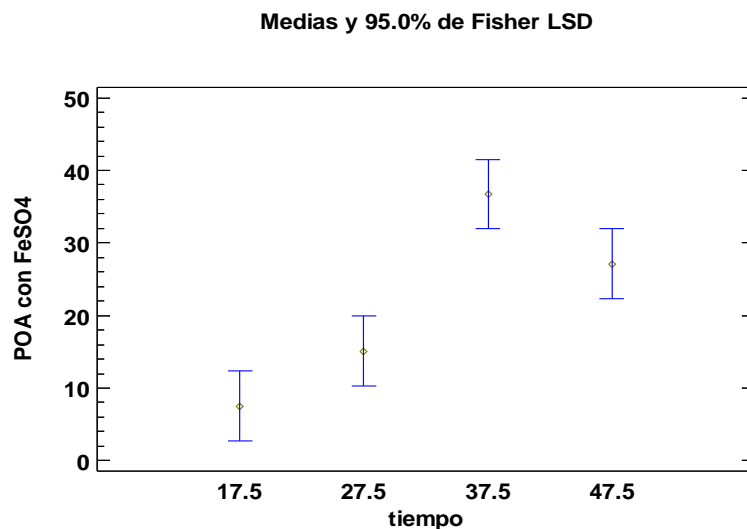


Figura 14. Pruebas de múltiples rangos para POA con (FeSO₄) por tiempo

4.6.2. Evaluación del tiempo óptimo para remoción de saponina de quinua por proceso de oxidación avanzada POA con (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄) óptimos y UV por tiempo.

Se tienen los siguientes análisis estadísticos:

Tabla 26. ANOVA para POA (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄) óptimos con UV por tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	25.239	3	8.413	18.50	0.0083
Intra grupos	1.8194	4	0.45485		
Total (Corr.)	27.0584	7			

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

La razón-F, que en este caso es igual a 18.4962, esta es el cociente estimado entre grupos y el estimado dentro de los grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de POA (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄) óptimos con UV entre un nivel de Tiempo, con el 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se seleccionó mediante Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares para el tratamiento de oxidación POA (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄) óptimos con UV, para los tiempos de (17.5 – 27.5 – 37.5) minutos, mostrándose que no tienen diferencia y así mismo el efecto para la remoción de la saponina; para el tratamiento con (17.5) minutos muestran diferencia, con el grupo anterior, en la remoción de la saponina; obteniéndose

la remoción de saponina más significativa para el tiempo de 17.5 minutos, tal como se observa en la tabla 27 y figura 15.

Tabla 27. Pruebas de múltiple rangos para POA con UV por tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
7.5	2	90.83	X
37.5	2	91.17	X
27.5	2	91.95	X
17.5	2	95.31	X

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
7.5 - 17.5	*	-4.48	1.87251
7.5 - 27.5		-1.12	1.87251
7.5 - 37.5		-0.34	1.87251
17.5 - 27.5	*	3.36	1.87251
17.5 - 37.5	*	4.14	1.87251
27.5 - 37.5		0.78	1.87251

* indica una diferencia significativa.

La tabla 27, aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la tabla 27, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Medias y 95.0% de Fisher LSD

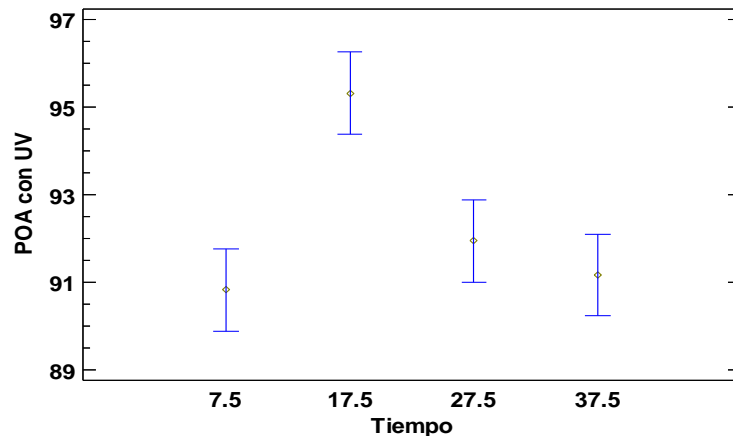


Figura 15. Pruebas de múltiples rangos para POA con UV por tiempo

4.7. RESUMEN DE LA REMOCIÓN DE SAPONINA DE QUINUA DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES POR TRATAMIENTO DE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA (POA)

Los resultados de la remoción de saponina de quinua de aguas residuales industriales por tratamiento de procesos de oxidación avanzada (POA) por procesos físico químicos y análisis estadístico se muestran en la tabla 28.

Tabla 28. Resumen de la remoción de saponina de quinua de aguas residuales industriales por tratamiento de procesos de oxidación avanzada (POA)

Parámetros físico químico	Remoción saponina (%R) tratamiento físico químico	Remoción saponina (%R) evaluación estadística
(TiO ₂)	43.49	39.99
(TiO ₂ / H ₂ O ₂)	96.27	96.21
(TiO ₂ /H ₂ O ₂ / FeSO ₄)	96.25	S.D.E.
(TiO ₂ /H ₂ O ₂ / FeSO ₄ / UV)	96.13	S.D.E.

Fuente: Elaboración propia

Donde:

S.D.E.: Sin diferencia estadística.



En la tabla 28 se observa que el mayor porcentaje de remoción (%R) de saponina de quinua de aguas residuales industriales, se obtiene para el Tratamiento Físico Químico con los oxidantes de proceso de oxidación avanzada (POA) ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$) con el 96.27 porcentaje de remoción %R de saponina ratificado por resultados de la Evaluación Estadística, con un 96.21 porcentaje de remoción %R de saponina.

Por lo tanto, para emulsionar saponina de quinua de aguas residuales industriales se debe utilizar el proceso de tratamiento físico químico por los oxidantes óxido de titanio y peróxido de hidrógeno ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$), en un tiempo de tratamiento de 37.5 minutos.



V. CONCLUSIONES

- ✓ El mejor rendimiento de la remoción de saponina en el agua residual de la industria del procesamiento de desaponificación de la quinua, se obtiene por proceso de oxidación avanzada (POA), con óxido de titanio y peróxido de hidrogeno ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$) con el 96.27 por ciento de remoción.
- ✓ La remoción de materia orgánica saponina en aguas residuales de la industria del procesamiento de desaponificación de la quinua, por procesos de oxidación avanzada (POA), la remoción fue de: con óxido de titanio (TiO_2) el 43.49%; con óxido de titanio y peróxido de hidrogeno ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$) el 96.27%; con óxido de titanio, peróxido de hidrogeno y sulfato de hierro ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4$) el 96.25% y por oxidación con óxido de titanio, peróxido de hidrogeno, sulfato de hierro y rayos ultravioleta ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$) el 96.13% en un tiempo de tratamiento de 20 minutos.
- ✓ El rendimiento de la remoción de la materia orgánica cuantificada por la demanda química de oxígeno (DQO), es del 75.71%, aplicando procesos de oxidación avanzada (POA) de: ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$).
- ✓ En la remoción de la saponina por el (POA), óxido de titanio y peróxido de hidrogeno ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$) comparado con el tratamiento con óxido de titanio, peróxido de hidrogeno, sulfato de hierro y rayos ultravioleta ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$) no tienen estadísticamente mayor diferencia, teniendo el mismo efecto.



VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda usar el proceso de oxidación avanzada con óxido de titanio y peróxido de hidrogeno ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$) para remocionar el mayor porcentaje de saponina de aguas residuales industriales en el tratamiento del desaponificado de quinua.
- ✓ Se recomienda el estudio de otros agentes oxidantes, ya que con los que se trabajó, se considera demanda de costos, como adquisición de equipos y reactivos.
- ✓ Para la aplicación a escala industrial, se recomienda evaluar los costos del proceso de tratamiento.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar, T. (1999). *Efecto del consumo de saponina de quinua (Chenopodium quinoa Willd) sobre niveles séricos de colesterol, HDL C, LDL C y triglicéridos.* Universidad Nacional del Altiplano.
- Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D., & Benítez, R. (2016). Saponinas de quinua (Chenopodium quinoa Willd.): un subproducto con alto potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3), 438–469. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62043>
- Andrade, L. (1999). Efecto del flujo de alimentación sobre ultra filtración en quinua (Chenopodium quinoa Willd). *Escuela Agrícola Panamericana Zamoreno*, 1–24.
- Andreozzi, R., Caprio, V., Insola, A., & Marotta, R. (1999). Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. *Catalysis Today*, 53, 51–59.
- Bárcena, A., Díaz, N., Emilio, F., Aurora, G., Jesús, J., Peinado, J., Toribio, F., & Túnez, I. (1984). Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. In *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/841496>
- Barrenechea, A. (2000). Capítulo 4: Coagulación. In *Tratamiento de agua* (pp. 153–224). <https://doi.org/10.1016/b978-84-8174-941-0.50007-0>
- Bazile, D., Bertero, D., Nieto, C., & Miranda, R. (2014). *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013*. <https://doi.org/10.13140/2.1.1568.5129>
- Bernal Bustos, C. R., Ramírez, L. F., Duarte, P. D., Guzmán, A. M., & Acero, J. (2015). Quinua, Chenopodium quinoa (Willd.) en Colombia Caracterización de granulos de almidón nativo de quinua por IR-ATR, MEB, DRX. *Revista de Investigación*, 8(2), 122–131. <https://doi.org/10.29097/2011-639x.31>
- Bes, S., Silva, A., & Bengoa, C. (2016). Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales. In (*Tritón-316Rt0506*) (p. 60).
- Brunatti, C., & Martín, A. (2011). Introducción a la espectroscopía de absorción molecular ultravioleta, visible e infrarrojo cercano. *Day and Underwood*, 1–10.
- Céspedes, E., Álvarez, A., Cosio, T., Pacheco, D., & Castelo, G. (2014). Refrescamiento



- y evaluación del contenido de saponina por el método del índice de espuma de 100 entradas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) del banco de germoplasma ex situ del CICA. *Vademécum de Investigación*, 2, 13–19.
- Cheeke, P. (1999). Nutritional and physiological implications of saponins. *Review Canadian of Animal Sciences*, 3(51), 631–632.
- Chen, Y. F., Yang, C. H., Chang, M. S., Ciou, Y. P., & Huang, Y. C. (2010). Foam properties and detergent abilities of the saponins from *Camellia oleifera*. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(11), 4417–4425. <https://doi.org/10.3390/ijms11114417>
- Cuadrado, C., Ayet, G., Burbano, C., Muzquiz, M., Camacho, L., Cavieres, E., & Lovon, M. (1995). Occurrence of saponins and sapogenols in Andean crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 67(2), 169–172.
- Diab, Y., Loannou, E., Emam, A., Vagias, C., & Roussis, V. (2012). Desmettianosides A and B, bisdesmosidic furostanol saponins with molluscicidal activity from *Yucca desmettiana*. In *Steroids* (Vol. 77, Issue 6, pp. 686–690).
- Domenech, X., Jardim, W., & Litter, M. (2012). Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. *Efluentes Líquidos y Gaseosos, Tratamientos*, 15.
- Fernández, J., & Curt, M. (2011). Métodos Analíticos para aguas residuales. *Manual de Fitodepuración. Filtros de Macrofitas En Flotación*, 117–128.
- Fuentes, F. (2008). Mejoramiento genético de la quinua. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 4(2), 71–95.
- García, M. Á., Plazas, N., Carvajal, D., Ferreira, S., & Parra, J. D. (2018). Descripción de las saponinas en quinua (*Chenopodium quinoa* willd) en relación con el suelo y el clima: Una revisión. *Informador Técnico*, 82(2), 241. <https://doi.org/10.23850/22565035.1451>
- Glaze, W., Kung, J., & Chapin, D. (1987). The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation. *Ozone Science Engineering*, 9, 335–352.
- González, E., Forja, J., & Gómez, A. (1998). Environmental Science and Technology. *Destino y Distribución de Los Sulfonatos de Alquibenceno Lineales En El Medio*



- Litoral*, 32, 11, 1636–1641.
- Guclu, O., & Mazza, G. (2007). Saponins: properties, applications and processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47, 231.
- Gupta, K., Barat, G., Wagle, D., & Chawla, H. (1989). Nutrient contents and antinutritional factors in conventional and non-conventional leafy vegetables. *Food Chemistry*, 31(2), 105–116.
- Heng, L., Vincken, J., Hoppe, K., Van Koningsveld, G., Decroos, K., Gruppenn, H., & Voragen, A. (2006). Stability of pea DDMP saponin and the mechanism of its decomposition. *Food Chemistry*, 99, 326.
- Hines, A., & Maddox, R. (1987). *Mass transfer fundamental and application* (Prentice-H).
- Ikehata, K., El-din, M. G., & Snyder, S. A. (2008). Ozonation and advanced oxidation treatment of emerging organic pollutants in water and wastewater. *Ozono: Ciencia e Ingeniería*, 30, 21–26.
- Kuljanabhadgavad, T., & Wink, M. (2009). Biological activities and chemistry of saponins from (*Chenopodium quinoa* Willd). *Phytochemistry Reviews*, 8, 473.
- León, J. M. (2003). Cultivo de la Quinoa en Puno-Perú Descripción , Manejo y Producción. *Ciencias Agrarias Una Puno*, 67.
- Madl, T., Sterk, H., Mittelbach, M., & Rechberger, G. N. (2006). Tandem mass spectrometric analysis of a complex triterpene saponin mixture of *Chenopodium quinoa*. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 17(6), 795–806. <https://doi.org/10.1016/j.jasms.2006.02.013>
- Mendoza, W. (2019). *Fotocatálisis para la degradación de detergentes en aguas residuales*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Miranda, N. (2004). Método espectrofotométrico de análisis de saponina. *Universidad Nacional Del Altiplano UNA-Puno. Ingeniería Química, Desarrollo Regional y Nacional*, 33–55.
- Morris, D., & Bogán, M. (1994). Bases bioquímicas y morfológicas de la resistencia. In *Mejoramiento de plantas resistentes a insectos Bases*.



- <http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/otros/20111218115541/4.conf3.pdf>
- Morrison, S. (1980). *Electrochemistry at semiconductor and oxidized metal electrodes*, Nueva York, Editorial Plenum Press.
- Mroczek, A. (2015). Phytochemistry and bioactivity of triterpene saponins from Amaranthaceae family. *Phytochemistry Reviews*, 14, 577–605.
- Mujica, A. (2012). *Extracción de Saponina de Cultivares de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) para uso Industrial : Phosocco quiuna - Quechua, Jiura Kcama – Aymara* (1a ed.).
- Mujica, A., & Jacobsen, S. (2006). La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. *Botánica Económica de Los Andes Centrales*, 449–457. [http://www.beisa.dk/Publications/BEISA Book pdfer/Capitulo 27.pdf](http://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2027.pdf)
- Mujica, A., Ortiz, R., Bonifacio, A., Saravia, R., Corredor, G., & Romero, A. (2006). *Informe Final. Proyecto Quinoa: Cultivo multipropósito para los países andinos*. 237.
- Nieto, C., & Soria, M. (1997). Procesamiento de la Quinoa en Ecuador. *Informe Final de Labores*, 94.
- Nº 004-2017-MINAM, D. S. (2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. *El Peruano*, 6–10. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Nº10-2019-VIVIENDA, D. S. (2019). *Decreto Supremo que aprueba el reglamento de valores máximos admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario* (p. 16).
- Oyama, T., Aoshima, A., Horikoshi, S., Hidaka, H., Zhao, J., & Serpone, N. (2004). Fotocatálisis solar, fotodegradación de un detergente comercial en dispersiones acuosas de TiO₂ bajo irradiación solar. *Solar Energy*, 77(5), 525–532. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.04.020>
- Pereira, C., Oropeza, R., & Montes, A. (2014). Semillas de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willdenow): composición química y procesamiento. Aspectos relacionados con otras áreas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5(2), 166–



218.

- Pietrobon, E. (2012). Desinfección por luz Ultra Violeta. *Agua Latinoamericana*, 2, 1–4.
<http://ecured.cuwww.agualatinoamerica.com/docs/pdf/3-4-02inter.pdf>
- Pliego, G., Zazo, J. A., Blasco, S., Casas, J., & Rodríguez, J. (2012). Treatment of highly polluted hazardous industrial wastewaters by combined coagulation– adsorption and high-temperature Fenton oxidation. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 51(7), 2888–2896.
- Poyatos, J. M., Muñio, M. M., Almecija, M. C., Torres, J. C., Hontoria, E., & Osorio, F. (2010). Advanced oxidation processes for wastewater treatment: State of the art. *Water, Air, and Soil Pollution*, 205(1–4), 187–204. <https://doi.org/10.1007/s11270-009-0065-1>
- Quispe, I., Vega, A., Miranda, M., Lemus, R., Lozano, M., & Ah-Hen, K. (2013). A kinetic approach to saponin extraction during washing of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds. *Journal of Food Process Engineering*, 36(2), 202–210. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2012.00673.x>
- Ramírez, L., Durán, M., García, J., Montuy, R., & Oaxaca, M. (2008). *Demanda Química de Oxígeno de muestras acuosas: Vols. 1 (12-157)*.
- Rojas, A. S., & Tapia, W. E. (2011). *Cuantificación por espectrofotometría UV/VIS de las saponinas contenidas en el episperma de la especie (Chenopodium quinoa willd) “quinua” procedente de la provincia de Santiago de Chuco - La Libertad*. Universidad Nacional de Trujillo.
- Shu, H. Y. (2006). Degradation of dyehouse effluent containing C.I. Direct Blue 199 by processes of ozonation, UV/H₂O₂ and in sequence of ozonation with UV/H₂O₂. *Journal of Hazardous Materials*, 133(1–3), 92–98.
- Tabor, C. F., & Barber, L. B. (1996). Environmental Science and Tecnology. *Destino Del Sulfonato de Alquibenceno Lineal En El Río Mississippi*, 30,1, 161–171.
- Tapia, M. (2000). Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentacion. *Fao*, 273.
http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro03/cap8_1.htm#3
- Terán, M. (2016). Estudio de la aplicacion de procesos de oxidacion avanzada a aguas



contaminadas. In *Repositorio Politécnica de Catalunya*.

Vargas, M. (2015). Tratamiento De Aguas Residuales Con Matlab.Pdf. *Método de Tratamiento de Aguas Residuales Con Peróxido de Hidrógeno Como Oxidante, Método Microbiológico*, 12.

Visitación, L. (2004). *Degradación fotocatalítica de detergentes en efluentes domésticos*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Vogelpohl, U. (2007). Applications of AOPs in wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 55(12), 207–211.

Wright, H., & Cairns, W. (1996). LUZ ULTRAVIOLETA. *Trojan Technologies Inc.*, 1–28.

Zarate, S. (2016). “Evaluación del método de extracción sólido - líquido de la saponina de 5 cultivares de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*), su encapsulamiento y utilización en la alimentación. Universidad Nacional del Altiplano.



ANEXOS

Anexo A:

A.1: Certificado de los resultados de laboratorio DQO_o

A.2: Certificado de los resultados de laboratorio DQO_f

Anexo B:

Fotografía B.1: Semilla de quinua de variedad Kancolla.

Fotografía B.2: Pesado y obtención de densidad aparente de la muestra de quinua.

Fotografía B.3: Lavado de la quinua por el método frotación.

Fotografía B.4: Medición de pH y Temperatura de la saponina de quinua.

Fotografía B.5: Espectrofotómetro marca Thermo Scientific GENESYS 10S.

Fotografía B.6: Evaluación de la saponina.

Fotografía B.7: Remoción de la saponina con óxido de titanio (TiO₂).

Fotografía B.8: Remoción de la saponina con óxido de titanio y peróxido de hidrogeno (TiO₂/H₂O₂).

Fotografía B. 9: Remoción de la Saponina con óxido de titanio/peróxido de hidrogeno/sulfato ferroso (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄).

FotografíaB.10: Remoción de la Saponina con óxido de titanio/peróxido de hidrogeno/sulfato ferroso/Radiación UV (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄/UV).

Fotografía B. 11: Agitación

Fotografía B. 12: 20 litros de muestra de saponina.

Fotografía B. 13: Reactivos para la remoción de los 20 litros de muestra de saponina.

Fotografía B.14: Remoción de la Saponina con óxido de titanio/peróxido de hidrogeno/sulfato ferroso/radiación UV (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄/UV).



Fotografía B.15: Remoción de la Saponina con óxido de titanio/peróxido de hidrogeno/sulfato ferroso/radiación UV ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$).

Fotografía B. 16: Análisis de la Demanda Química de Oxígeno.

Anexo C:

C.1: Diagrama de Flujo de Proceso de Oxidación Avanzada con UV.

Anexo D:

D.1: DECRETO SUPREMO N° 010-2019-VIVIENDA.



Anexo A:

A.1: Certificado de los resultados de laboratorio DQO.



DIVISION DE PRODUCCION, CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE
AREA DE CONTROL DE CALIDAD

LABORATORIO DE AGUAS RESIDUALES.

1. DATOS GENERALES

ENTIDAD SOLICITANTE	MARLENY MAYTA CONDORI
PROYECTO	REMOCIÓN DE LA SAPONINA DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA QUINUA.
LOCALIZACIÓN Y/O PUNTO DE MUESTREO	Región : Puno Provincia : Puno Distrito : Puno Lugar : Laboratorio de La Facultad de Ingeniería Química-UNA-Puno.
MUESTREO POR FECHA DE ANALISIS	INTERESADO 22/11/2018

FECHA	HORA
21/11/2018	08:45 a.m.

2. CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	D.S. N° 10-2019-VIVIENDA (VMA)	VALORES OBTENIDOS
			Muestra N° 09
DQO	mg/l	1000	12300

E.P.S. SEDA JULIACA S.A.
Bigo 1000 A. Unitejo Pisco
27 710
Análisis de Laboratorio



A.2: Certificado de los resultados de laboratorio DQO_f



DIVISION DE PRODUCCION, CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE
AREA DE CONTROL DE CALIDAD

LABORATORIO DE AGUAS RESIDUALES.

1. DATOS GENERALES

ENTIDAD SOLICITANTE	MARLENY MAYTA CONDORI
PROYECTO	REMOCIÓN DE LA SAPONINA DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA QUINUA.
LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO	Región : Puno Provincia : Puno Distrito : Puno Lugar : Laboratorio de La Facultad de Ingeniería Química-UNA-Puno.
MUESTREO POR FECHA DE ANALISIS	INTERESADO 22/11/2018

FECHA	HORA
21/11/2018	08:45 a.m.

2. CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	D.S. N° 10-2019-VIVIENDA (VMA)	VALORES OBTENIDOS	
			Muestra	N° 09
DQO	mg/l	1000	12300	

E.P.S. SEDA JULIACA S.A.
Bigo 1234 Calle Comercio Puno
18709
Área de Laboratorio

OFICINA: Jr. Mariano Pandía 383 Urb. La Rinconada
Teléfonos: (051) 321933-321402 www.sedajuliaca.com

Anexo B:

Fotografía B. 1: Semilla de quinua de variedad Kancolla.



Fotografía B. 2: Pesado y obtención de densidad aparente de la muestra de quinua.



Fotografía B. 3: Lavado de la quinua por el método frotación.



Fotografía B. 4: Medición de pH y Temperatura de la saponina de quinua.



Fotografía B. 5: Espectrofotómetro marca Thermo Scientific GENESYS 10S



Fotografía B. 6: Evaluación de la saponina.



Fotografía B. 7: Remoción de la saponina con óxido de titanio (TiO_2).



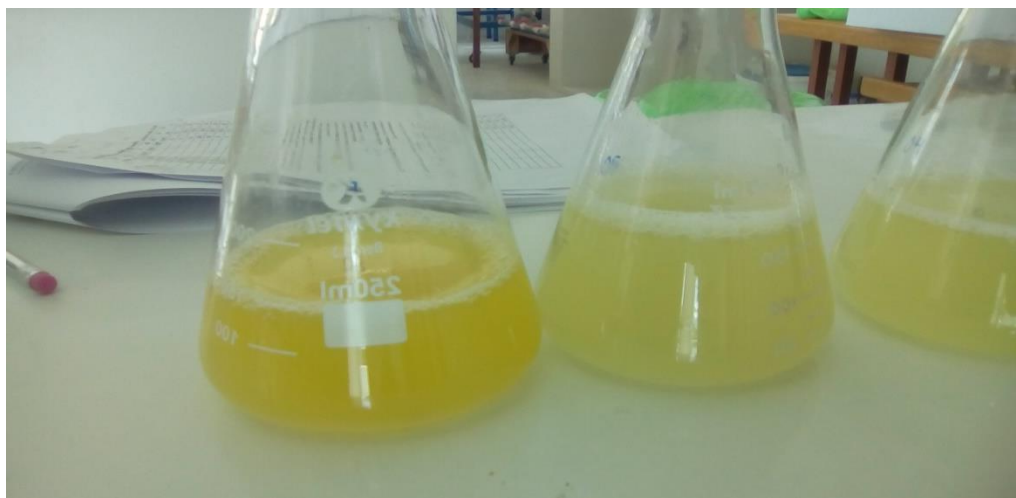
Fotografía B. 8: Remoción de la saponina con óxido de titanio y peróxido de hidrogeno ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$).



Fotografía B. 9: Remoción de la saponina con óxido de titanio/peróxido de hidrogeno/sulfato ferroso ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4$).



Fotografía B. 10: Remoción de la Saponina con óxido de titanio/peróxido de Hidrogeno/sulfato ferroso/radiación UV ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$).



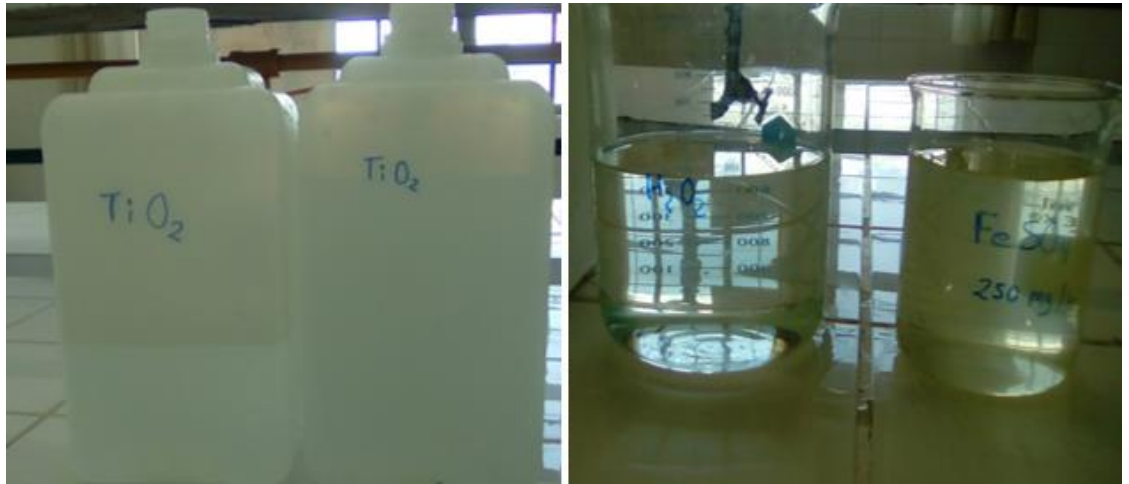
Fotografía B. 11: Agitación



Fotografía B. 12: 20 litros de muestra de saponina



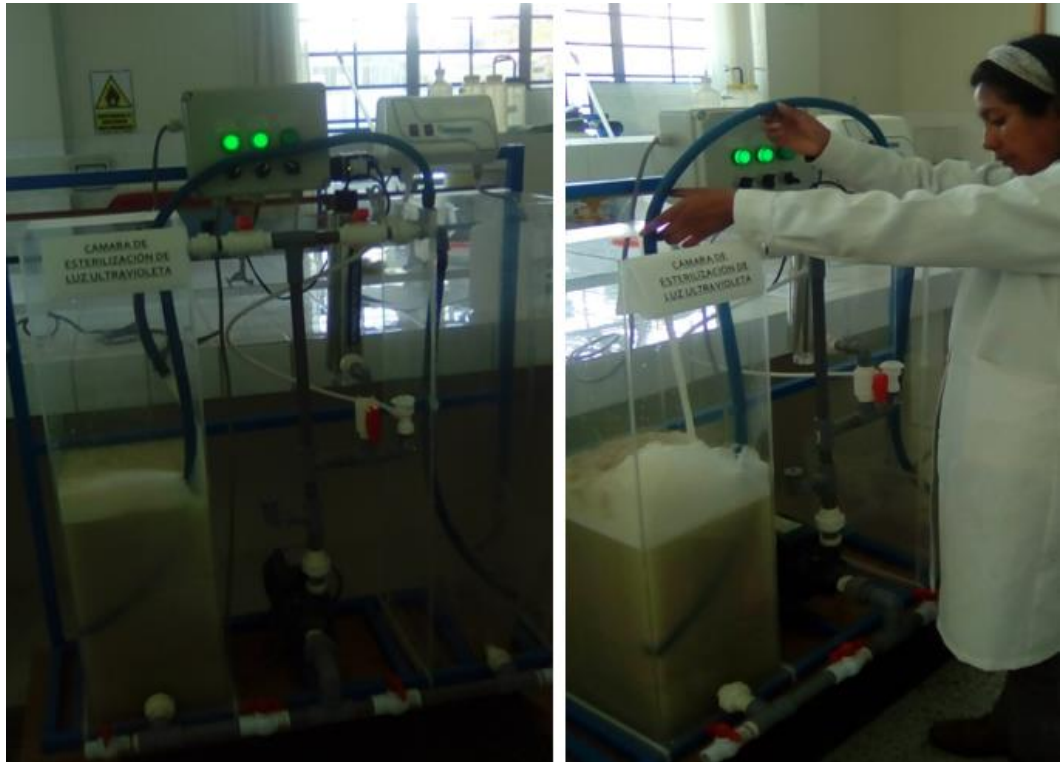
Fotografía B. 13: Reactivos para la remoción de los 20 litros de muestra de saponina.



Fotografía B. 14: Remoción de la saponina con óxido de titanio/peróxido de hidrogeno/sulfato ferroso/radiación UV (TiO₂/H₂O₂/FeSO₄/UV).



Fotografía B. 15: Remoción de la saponina con óxido de titanio/peróxido de hidrogeno/sulfato ferroso/radiación UV ($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4/\text{UV}$).

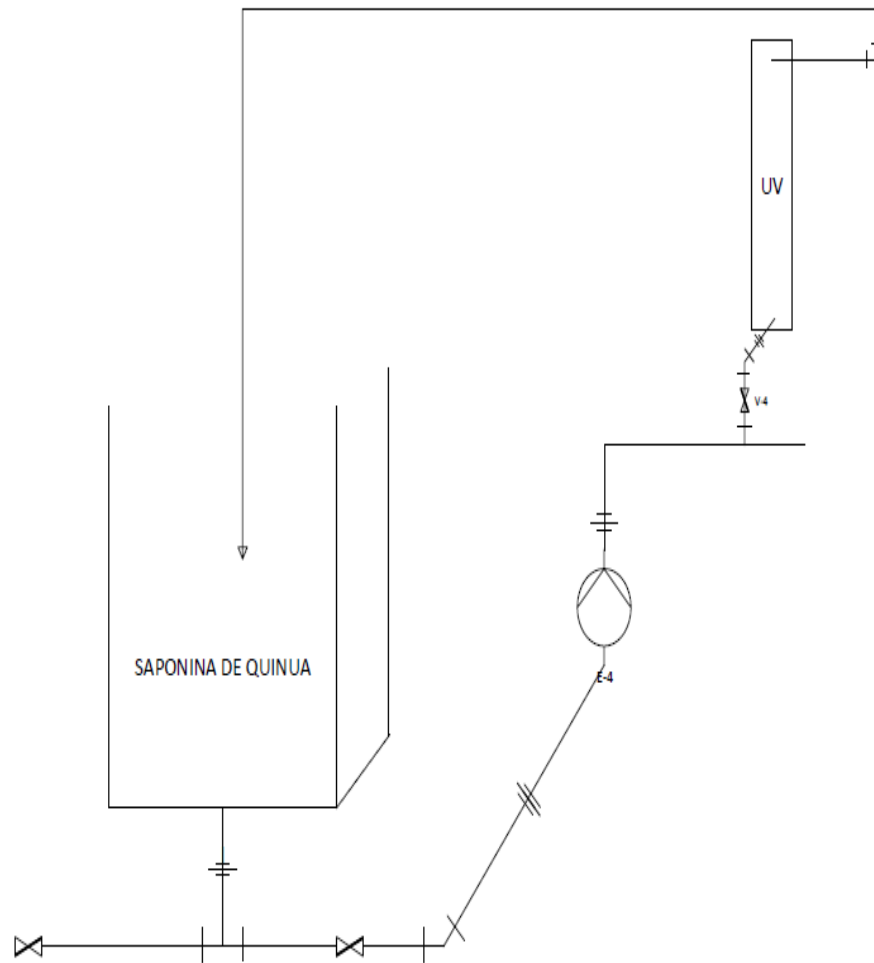


Fotografía B. 16: Análisis de la demanda química de oxígeno.



Anexo C:

C.1: Diagrama de flujo de Proceso de Oxidación Avanzada con UV.





Anexo D:

D.1: DECRETO SUPREMO N° 010-2019-VIVIENDA



Decreto Supremo

N° 010 -2019-VIVIENDA

DECRETO SUPREMO QUE APRUEBA EL REGLAMENTO DE VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES (VMA) PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

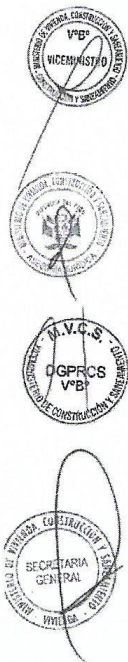
CONSIDERANDO:

Que, el artículo 6 de la Ley N° 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en concordancia con el artículo 5 del Decreto Legislativo N° 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento, establece que este Ministerio es el Ente rector de las políticas nacionales y sectoriales dentro de su ámbito de competencia, las cuales son de obligatorio cumplimiento por los tres niveles de gobierno en el marco del proceso de descentralización, y en todo el territorio nacional;

Que, el artículo 25 del citado Decreto Legislativo, establece la prohibición de descargar en las redes de alcantarillado sanitario, sustancias o elementos extraños que contravengan las normas vigentes sobre la calidad de los efluentes; para ello, los usuarios del servicio de alcantarillado sanitario tienen prohibido descargar al sistema de alcantarillado sanitario, aguas residuales no domésticas que excedan los Valores Máximos Admisibles de los parámetros que establezca el Ente rector, excepto aquellos parámetros en los que el usuario no doméstico efectúe el pago adicional por exceso de concentración, conforme lo determinen las normas sectoriales y las normas de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. La contravención o incumplimiento de esta disposición ocasiona la suspensión de los servicios de saneamiento;

Que, mediante Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA se aprobaron los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar su adecuado funcionamiento; garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales;

Que, mediante Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, modificado por los Decretos Supremos N° 010-2012-VIVIENDA y N° 001-2015-VIVIENDA, se aprobó el Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, con el objeto de regular los procedimientos para controlar las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario;



EXP. 19-0002429 y 19-0001978



Decreto Supremo

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA

Única. - Derogación

Derógase los siguientes dispositivos legales:

1. El Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA que aprueba los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario y sus Anexos; así como, sus disposiciones modificatorias.
2. El Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, que aprueba el Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, que aprueba los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario; así como, sus disposiciones modificatorias.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los nueve días del mes de marzo del año dos mil diecinueve.



MARTÍN ALBERTO VIZCARRA CORNEJO
Presidente de la República

JAVIER PIQUÉ DEL POZO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Que, durante el proceso de implementación de los Valores Máximos Admisibles se ha identificado la necesidad de emitir un nuevo Reglamento que establezca el procedimiento para el adecuado cumplimiento de sus disposiciones, con el propósito de adecuarlas al marco normativo sectorial y a la realidad del país, de forma tal que permita a los prestadores de los servicios de saneamiento efectuar una apropiada implementación;

De conformidad con lo dispuesto por el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, el Decreto Legislativo N° 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento; la Ley N° 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; su Reglamento de Organización y Funciones, aprobado por Decreto Supremo N° 010-2014-VIVIENDA, modificado por Decreto Supremo N° 006-2015-VIVIENDA; y, el Reglamento que establece disposiciones relativas a la Publicidad, Publicación de Proyectos Normativos y Difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS;

DECRETA:

Artículo 1.- Aprobación

Apruébese el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario y sus Anexos, los cuales forman parte integrante del presente Decreto Supremo.



Artículo 2.- Publicación

Dispóngase la publicación del presente Decreto Supremo, del Reglamento y sus anexos, en el diario oficial El Peruano, y la difusión en el Portal Institucional del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (www.vivienda.gob.pe), el mismo día de su publicación.



Artículo 3.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN TRANSITORIA FINAL

Única. - Aplicación de la norma

Los actos administrativos que hayan iniciado antes de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo se rigen por lo establecido en el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA que aprueba los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario y sus Anexos, el Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, Decreto Supremo que aprueba el Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA y su modificatoria, que aprueba los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario, hasta su conclusión; salvo que las disposiciones del Reglamento aprobado con el presente Decreto Supremo le resulten más favorables al administrado.





REGLAMENTO DE VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES (VMA) PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO

TÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- Objeto

El presente Reglamento tiene por objeto establecer los parámetros de los Valores Máximos Admisibles (VMA) y regular el procedimiento para controlar las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

Artículo 2.- Finalidad

El presente Reglamento tiene por finalidad preservar las instalaciones, la infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos de los servicios de alcantarillado sanitario e incentivar el tratamiento de las aguas residuales para disposición o reúso, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales; así como, la disminución del riesgo sobre el personal del prestador de los servicios de saneamiento que tenga contacto con las descargas de aguas residuales no domésticas.

Artículo 3.- Ámbito de aplicación

El presente Reglamento es de obligatorio cumplimiento por parte de los Usuarios No Domésticos (UND) que efectúan descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario bajo el ámbito de los prestadores de los servicios de saneamiento a nivel nacional. Asimismo, su cumplimiento es exigible por los prestadores de servicios de saneamiento.

Artículo 4.- Definiciones

Para efectos de la aplicación del presente Reglamento se tiene en cuenta las definiciones siguientes:

1. **Agua residual no doméstica:** Descarga de líquidos producidos por alguna actividad económica comercial e industrial, distinta a la generada por los usuarios domésticos, quienes descargan aguas residuales domésticas como producto de la preparación de alimentos, del aseo personal y de desechos fisiológicos.
2. **Balance hídrico:** Equilibrio del recurso hídrico entre lo que ingresa (afluente) y sale (efluente) en las instalaciones del UND, representado por un esquema general del recurso hídrico empleado en el proceso productivo o actividad económica, en un intervalo de tiempo determinado.
3. **Caso fortuito o fuerza mayor:** Causa no imputable, consistente en un evento extraordinario, imprevisible e irresistible, que impide la ejecución de la obligación o determina su cumplimiento parcial, tardío o defectuoso.
4. **Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU):** Clasificación internacional de referencia de las actividades económicas productivas, para facilitar un conjunto de categorías de actividad que pueda utilizarse para la elaboración de estadísticas por actividades.
5. **Contramuestra:** Muestra adicional que se toma en la misma oportunidad y bajo los mismos criterios que la muestra original a ser analizada.
6. **Dirimencia:** Procedimiento técnico iniciado a pedido de parte, sea por el interesado o su representante, a fin que, un laboratorio acreditado ante el Instituto Nacional de Calidad (Inacal), realice un nuevo análisis de la





muestra en custodia, por no estar de acuerdo con los resultados emitidos por el laboratorio acreditado.

7. **Laboratorio acreditado:** Laboratorio que ha obtenido el Certificado de Acreditación otorgado por el Inacal, para realizar el análisis de aguas residuales en los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del presente Reglamento.
8. **Muestra de parte:** Muestra puntual realizada a través de laboratorio acreditado ante el Inacal, por cuenta y costo del UND, sin previo requerimiento, de forma voluntaria y bajo los procedimientos, criterios y disposiciones establecidos por el organismo competente.
9. **Muestra dirimente:** Muestra puntual tomada en la misma oportunidad que la muestra original a ser analizada y la contramuestra, bajo los mismos criterios, para analizar y/o compararla en el caso que existan eventuales reclamos sobre la validez de los resultados de la muestra, de acuerdo a lo dispuesto en el procedimiento de resolución de quejas establecido por el Inacal.
La muestra dirimente aplica a los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del presente Reglamento, a excepción de los siguientes parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Sulfuros (S²⁻), Nitrógeno Amónico (NH⁴⁺), Potencial Hidrógeno (pH), Sólidos Sedimentables (SS) y Temperatura (T).
10. **Muestra inopinada:** Muestra puntual tomada por un laboratorio acreditado ante el Inacal, a solicitud y en presencia del representante del prestador de los servicios de saneamiento y sin previo aviso al UND. Para su realización no es necesario contar con la presencia del UND o de su representante.
11. **Muestra puntual:** Muestra original tomada al azar de la descarga de agua residual no doméstica del UND, que se utiliza para evaluar todos los parámetros contenidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del presente Reglamento.
12. **Pago adicional por exceso de concentración:** Pago que debe ser requerido por el prestador de los servicios de saneamiento y que es aplicado a los UND, cuando superen los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecidos en el Anexo N° 1 del presente Reglamento, en base a la metodología elaborada y aprobada por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass).
13. **Prestador de los servicios de saneamiento:** Persona jurídica constituida según las disposiciones establecidas en la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento, aprobada con el Decreto Legislativo N° 1280 (Ley Marco) y su Reglamento, aprobado por el Decreto Supremo N° 019-2017-VIVIENDA, cuyo objeto es prestar los servicios de saneamiento a los usuarios, a cambio de la contraprestación correspondiente, en cuyo ámbito de responsabilidad existan servicios de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales para disposición final y reúso.
14. **Punto de toma de muestra:** Caja de registro o dispositivo similar de la conexión domiciliar de alcantarillado sanitario, ubicada fuera del predio, para descargas de aguas residuales no domésticas, en el que se realiza la toma de muestra de los parámetros establecidos en el Anexo N° 1 y N° 2 del presente Reglamento y de ser necesario la medición del caudal.
15. **Reclamo:** Derecho de contradicción del que goza todo UND, cuando surge una controversia entre este y el prestador de los servicios de saneamiento, respecto a la aplicación del presente Reglamento y/o normas conexas.
16. **Registro de Usuario No Doméstico:** Base de datos implementada por el prestador de los servicios de saneamiento, en la que se identifican, clasifican y registran a los UND del servicio de alcantarillado sanitario, con información sobre la ubicación de punto de toma de muestra,





características de las aguas residuales no domésticas, entre otros datos requeridos por el prestador de servicios de saneamiento.

17. **Subcontratación:** Mecanismo a través del cual aquel laboratorio que encontrándose acreditado ante el Inacal para realizar el análisis de aguas residuales en alguno de los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del presente Reglamento y no alcanza la totalidad de estos, subcontrata a otro laboratorio acreditado ante el Inacal para que realice el análisis de aguas residuales respecto de aquellos parámetros en los que el laboratorio subcontratante se encuentra en proceso de acreditación. El muestreo debe ser realizado por el laboratorio acreditado que efectúe el análisis por el cual fue subcontratado.
18. **Usuario No Doméstico (UND):** Persona natural o jurídica que realiza descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario.
19. **Valores Máximos Admisibles (VMA):** Es la concentración de los parámetros, establecidos en el Anexos N° 1 y N° 2 del presente Reglamento, contenidos en las descargas de las aguas residuales no domésticas a descargar en los sistemas de alcantarillado sanitario y que puede influenciar negativamente en los procesos de tratamiento de las aguas residuales, al exceder dichos valores.

TÍTULO II

GESTIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS

CAPÍTULO I

DERECHOS Y OBLIGACIONES DE LOS PRESTADORES DE LOS SERVICIOS DE SANEAMIENTO

Artículo 5.- Derechos de los prestadores de los servicios de saneamiento

Para efectos de la aplicación del presente Reglamento, los prestadores de los servicios de saneamiento tienen derecho a:

1. Efectuar la toma de muestra inopinada y análisis del efluente residual generado por el UND, a través de un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (Inacal), considerando la actividad económica que desarrolla, las cuales se encuentran establecidas en el Anexo de la Resolución Ministerial N° 116-2012-VIVIENDA. En caso la actividad económica del UND no se encuentre comprendida en el Anexo de la Resolución Ministerial antes citada, el prestador de los servicios de saneamiento, previa evaluación técnica y el informe técnico que lo sustente, efectúa la toma de muestra inopinada y análisis de todos los parámetros del Anexo N° 1, y de algunos o todos los parámetros del Anexo N° 2 del presente Reglamento.
2. Participar en la toma de muestra de parte, programada por el UND.
3. Proponer al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) la modificación y/o actualización de los parámetros contenidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del presente Reglamento. Dicha propuesta debe encontrarse sustentada con estudios de caracterización de los diferentes tipos de descargas no domésticas, además de otros documentos que el MVCS considere necesarios.





ANEXO N° 1

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100

ANEXO N° 2

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN-	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Níquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO ₄ ⁻²	1000
Sulfuros	mg/l	S ⁻²	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	NH ⁺⁴	80
Potencial Hidrógeno	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables	ml/l/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35



(1) La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, es la precisada en el presente Reglamento tomando como referencia el código CIU. Aquellas actividades que no estén incluidas en este código, deben cumplir con los parámetros indicados en el presente Anexo. Los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del presente Reglamento, son determinados a partir del análisis de muestras puntuales.

(2) Las concentraciones de los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 deben ser determinadas a partir del análisis de muestras puntuales.