

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**“EFECTO DEL pH Y TIEMPO EN LA DEPURACIÓN DE
LACTOSUERO RESIDUAL POR ELECTROCOAGULACIÓN”**

TESIS

PRESENTADA POR:

FREDY HUMPIRE COILA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

PROMOCION 2010-I

PUNO – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

“EFECTO DEL pH Y TIEMPO EN LA DEPURACIÓN DE LACTOSUERO RESIDUAL POR ELECTROCOAGULACIÓN”

PRESENTADA POR:

FREDY HUMPIRE COILA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

FECHA DE SUSTENTACION 30 DE ENERO DEL 2017

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:
M.S.C. Pablo PARI HUARCAYA

PRIMER MIEMBRO

:
Ing. Saire Rocnfi GUERRA LIMA

SEGUNDO MIEMBRO:

:
Ing. German QUILLE CALIZAYA

DIRECTOR DE TESIS

:
Dr. Alejandro COLOMA PAXI

ASESOR DE TESIS

:
Ing. Cesar IBEROS MAMANI

PUNO - PERÚ

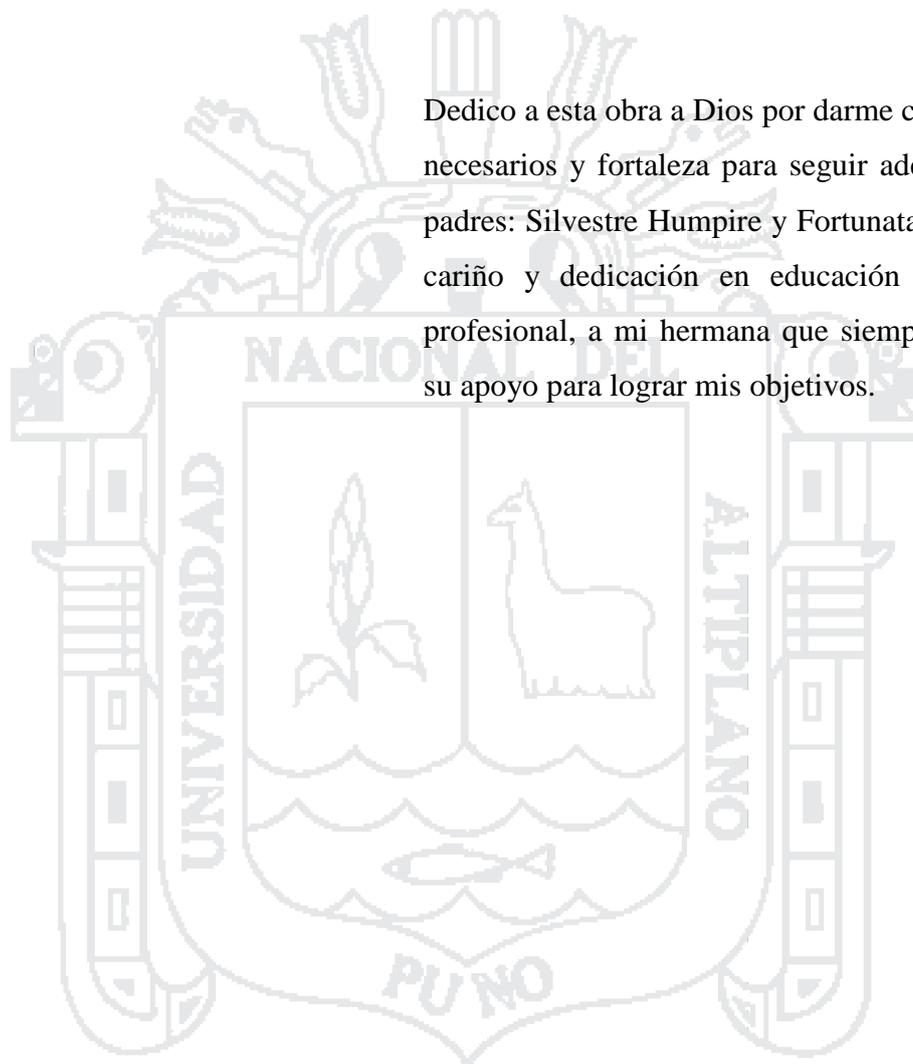
2017

Área: Ingeniería y Tecnología

Tema Seguridad, Gestión y Control en Agroindustrias.

DEDICATORIA

Dedico a esta obra a Dios por darme conocimientos necesarios y fortaleza para seguir adelante. A mis padres: Silvestre Humpire y Fortunata Coila por su cariño y dedicación en educación y formación profesional, a mi hermana que siempre me brindó su apoyo para lograr mis objetivos.



AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero mostrar mi mayor agradecimiento al Dr. Alejandro Coloma Paxi, director de esta tesis, ya que sin su orientación y apoyo esta tesis no hubiera sido posible.

En segundo lugar mi agradecimiento es para todas las personas que me han ayudado y alentado a la hora de elaborar esta tesis, de entre todas esas personas quiero hacer especial mención por su significado apoyo, de las siguientes:

Ing. Cesar Iberos Mamani, Ing. German Quille Calizaya, Ing. Juan Ramón Calsin Turpo, Lic. Y Med. Vet. Ramón Chata A., que siempre me aconsejaron y escucharon.

A mis padres, mi hermana, por el gran esfuerzo que han realizado para darme la educación que hoy me ha permitido llegar hasta aquí. A mis amores Yanelly, Owhen y Udhan, por su continua acompañamiento en los momentos difíciles.

Además deseo mostrar mi agradecimiento a diversas Instituciones, Administración Local del Agua Juliaca, y a la Facultad de Ingeniería Química, así como a la propia Universidad Nacional del Altiplano por haber puesto sus recursos a mi disposición cuando así lo solicité.

INDICE

INDICE	5
ÍNDICE DE CUADROS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN	13
I. INTRODUCCIÓN	14
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. LA INDUSTRIA LÁCTEA.....	16
2.2. LACTOSUERO	16
2.2.1. El suero dulce	17
2.2.2. El suero ácido	17
2.3. Composición Química de lactosuero	17
2.3.1. Usos del lactosuero	18
2.3.2. Generalidades del lactosuero y los efluentes de la industria láctea	19
2.3.3. Eliminación anual de lactosuero.....	20
2.3.4. Contaminación del agua	20
2.3.5. Eutrofización	21
2.3.6. Contaminación del suelo	21
2.4. MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUAL INDUSTRIALES	
22	
2.4.1. Tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	22
2.5. TRATAMIENTO ELECTROQUIMICO	23
2.6. ELECTROQUÍMICA.....	23
2.6.1. Electrodeposición.	23
2.6.2. Electroflotación.	23
2.6.3. La Electrocoagulación	24
2.6.4. Principio de electrocoagulación.....	25

2.6.5. Ley de Faraday.	26
2.6.6. Ventajas y desventajas de la electrocoagulación.....	28
2.6.7. Mecanismos del proceso de electrocoagulación.....	29
2.6.8. Factores que afectan al proceso de electrocoagulación.....	30
2.6.9. Reactores para procesos de electrocoagulación.....	31
2.6.10. Características de celda electrocoagulación	32
2.7. QUÍMICA DE HIERRO Y ALUMINIO	34
2.8. DISEÑO DE UNA CELDA DE ELECTROCOAGULACION.....	35
2.8.1. Diseño del Prototipo	35
2.8.2. Electrodo para electrocoagulación	36
2.8.3. Número de Electrodo.	38
2.9. NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA	39
2.9.1. Ley de Recursos Hídricos N° 29338.....	39
2.9.2. Valores Máximos Admisibles (VMA)	40
2.9.3. Estándar de Calidad Ambiental (ECA)	40
2.9.4. Definición de aguas residuales	41
2.9.5. Agua	41
2.9.6. Residuo	41
2.9.7. Demanda Química de Oxígeno.....	42
2.9.8. Turbiedad.....	42
2.9.9. pH	42
2.10. OPTIMIZACIÓN	43
2.10.1. Superficie de respuesta	43
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	44
3.1. LUGAR DE EXPERIMENTACIÓN	44
3.2. MATERIAL EXPERIMENTAL.....	45
3.2.1. Material biológico	45

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS	45
3.3.1. Materiales:	45
3.3.2. Equipos de control	45
3.3.3. Software	46
3.3.4. Reactivos	46
3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	47
a) Muestreo de lactosuero residual	50
b) Almacenamiento	50
c) Análisis de lactosuero	50
d) Electrocoagulación	50
e) Lavado	51
f) Precipitación	51
g) Filtrado	51
h) Análisis de laboratorio	51
i) Análisis estadístico	51
3.5. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	52
3.5.1. Determinación de Demanda Química de Oxígeno	52
3.5.2. Determinación de pH	52
3.5.3. Determinación de Tiempo.	52
3.5.4. Determinación de Grasas y Aceites	52
3.5.5. Determinación de Turbiedad	53
3.5.6. Factores de Estudio	53
3.5.7. Modelo matemático	56
3.5.8. Remoción obtenida con la electrocoagulación	56
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.1. Resultados del efecto de pH y tiempo en el proceso de electrocoagulación respecto a la disminución de DQO final del lacto suero residual	58

4.2. Resultados del efecto de pH y tiempo en depuración de lactosuero por electrocoagulación en disminución de Turbiedad.	63
4.3. Comparación de Demanda Química de Oxígeno de lactosuero residual tratado por electrocoagulación respecto a las normas nacionales.....	68
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES.....	71
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	78



ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. COMPOSICIÓN DEL LACTOSUERO.....	18
CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS CIRCUITOS EN SERIE Y EN PARALELO.	37
CUADRO 3 VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES	40
CUADRO 4. NIVELES DEL DISEÑO CENTRAL COMPUESTO (DCC).....	54
CUADRO 5. NIVELES CODIFICADOS DEL DISEÑO CENTRAL COMPUESTO (DCC).....	54
CUADRO 6. NÚMERO DE VALORES DE TRATAMIENTOS PARA LOS FACTORES EN UN DCCR EN EL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN.	55
CUADRO 7. RESULTADOS DE EFECTO DE PH Y TIEMPO EN LA DISMINUCIÓN DE DQO.	58
CUADRO 8. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA DQO - DEPURACIÓN DE LACTOSUERO.....	62
CUADRO 9. OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTA PARA LA MÁXIMA REMOCIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	63
CUADRO 10. CUADRO DE PH Y TIEMPO RESPECTO A TURBIEDAD EN LA DEPURACIÓN DE LACTOSUERO.....	64
CUADRO 11. ANÁLISIS DE VARIANZA DE TURBIEDAD	67
CUADRO 12. OPTIMIZACIÓN DE TURBIEDAD.....	68
CUADRO 13. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN CON NORMAS NACIONALES	69
CUADRO 14. RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL LACTOSUERO RESIDUAL	78
CUADRO 15. VALORES PROMEDIO DE LOS RESIDUOS ACUOSOS DE LA INDUSTRIA LÁCTEA.	78
CUADRO 16. NÚMERO DE TRATAMIENTOS PARA LOS FACTORES EN UN DCC.	79
CUADRO 17. CONCENTRACIONES INICIAL Y FINAL DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.	80
CUADRO 18. RESULTADOS DE DQO, TURBIEDAD Y GRASAS EN PORCENTAJES.	81
CUADRO 19. COEF. DE REGRESIÓN PARA DQO	81
CUADRO 20. ANÁLISIS DE VARIANZA DE GRASAS Y ACEITES.....	82
CUADRO 21 OPTIMIZAR RESPUESTA GRASAS Y ACEITES	82
CUADRO 22. VALORES DE VARIABLES INTERVINIENTES EN CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN.	84

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN	24
FIGURA 2. MECANISMO DE COAGULACIÓN DE PARTÍCULAS COLOIDES.....	25
FIGURA 3. REACCIÓN DE ÓXIDO- REDUCCIÓN.	26
FIGURA 4. CELDA ELECTROLÍTICA	27
FIGURA 5. ESQUEMA DE CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN	29
FIGURA 6. DIMENSIONES DE CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	33
FIGURA 7. DIAGRAMA DEL EQUIPO DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	33
FIGURA 8. DIAGRAMA DEL EQUIPO DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	35
FIGURA 9. ELECTRODOS DE HIERRO Y ALUMINIO EN LA ELECTROCOAGULACIÓN.....	36
FIGURA 10. DISPOSICIÓN DE LOS ELECTRODOS EN LOS REACTORES TIPO BACH.	38
FIGURA 11. EQUIPO DE ELECTROCOAGULACIÓN CON TRES ELECTRODOS ALUMINIO Y HIERRO.	38
FIGURA 12 MAPA DE UBICACIÓN DE ZONA DE ESTUDIO	44
FIGURA 13 FUENTE DE PODER Y REACTOR BACH.....	47
FIGURA 14. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	49
FIGURA 15. SUPERFICIE DE RESPUESTA QUE MUESTRA EL EFECTO DE pH Y TIEMPO EN LA DISMINUCIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO.....	59
FIGURA 16. CONTORNO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DEL EFECTO DE pH Y TIEMPO VS DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO.....	60
FIGURA 17. GRAFICA DEL EFECTO PRINCIPAL pH Y TIEMPO VS DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO.....	61
FIGURA 18. SUPERFICIE DE RESPUESTA QUE MUESTRA EL EFECTO DE pH Y TIEMPO VS TURBIEDAD.	65
FIGURA 19. GRAFICA DE EFECTO PRINCIPAL DE pH Y TIEMPO VS TURBIEDAD.....	66
FIGURA 20. CONTORNO DE SUPERFICIE DE EFECTO DEL pH Y TIEMPO VS TURBIEDAD.....	67
FIGURA 21. GRAFICA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DEL EFECTO pH Y TIEMPO VS GRASAS.....	83
FIGURA 22. GRAFICA DEL EFECTO PRINCIPAL DE pH Y TIEMPO EN LA DISMINUCIÓN GRASAS.....	83
FIGURA 23. ESPECTROMETRO DE LCCS. DE INGENIERÍA QUÍMICA	85
FIGURA 24. PH-METRO DE LCCS. DE INGENIERÍA QUÍMICA	88

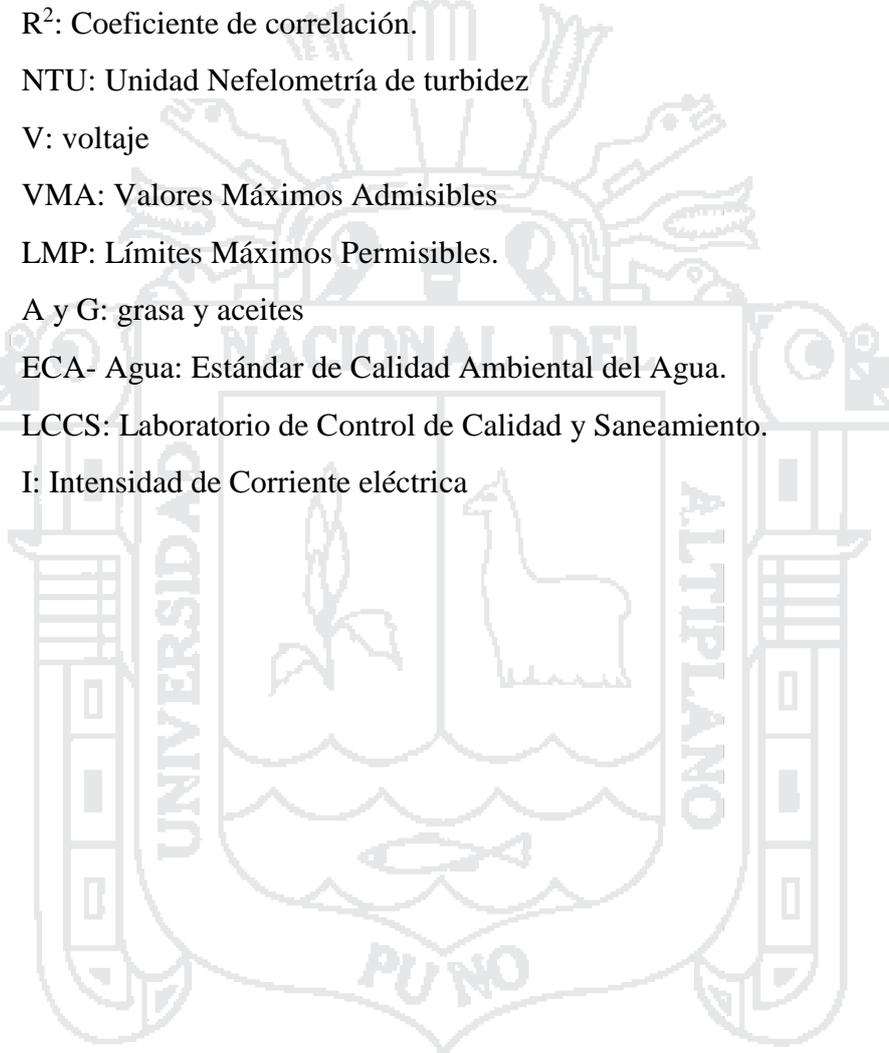
FIGURA 25. pH-METRO DE LCCS DE INGENIERÍA QUÍMICA 89

FIGURA 26. EQUIPO PARA MEDICIÓN DE TURBIEDAD DE LCCS DE ING. QUÍMICA 90



NOMENCLATURA

- DCCR: Diseño Compuesto Central Rotable
- DQO: Demanda Química de Oxígeno
- DBO: Demanda Biológica de Oxígeno
- R^2 : Coeficiente de correlación.
- NTU: Unidad Nefelometría de turbidez
- V: voltaje
- VMA: Valores Máximos Admisibles
- LMP: Límites Máximos Permisibles.
- A y G: grasa y aceites
- ECA- Agua: Estándar de Calidad Ambiental del Agua.
- LCCS: Laboratorio de Control de Calidad y Saneamiento.
- I: Intensidad de Corriente eléctrica



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de Control de Calidad y Saneamiento, Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano Puno. Donde se estudió los parámetros de electrocoagulación de lactosuero residual. Los objetivos del trabajo fueron: Evaluar el efecto del pH y tiempo de tratamiento por electrocoagulación en los parámetros físico-químicos (Demanda Química de Oxígeno, Turbiedad) del lactosuero residual, Comparar los resultados obtenidos de la depuración de lactosuero residual con las normas nacionales. En el proceso de electrocoagulación para depuración del lactosuero residual se determinó las condiciones óptimas para lograr la máxima reducción Demanda Química de Oxígeno y Turbiedad, mediante la aplicación de la metodología de superficie de respuesta. Se realizaron 13 tratamientos, establecidos por el diseño central compuesto rotatable que evaluó los efectos de factores en rangos de tiempo (10-30 minutos) y pH (3-9) en la depuración de lactosuero residual por electrocoagulación. Para ello se trabajó en condiciones en un reactor estático tipo Bach de capacidad de 2 Litros, 10 Voltios, 3 Amperios, electrodos de aluminio y hierro. de los parámetros estudiados se determinó que el óptimo es (T= 34 minutos y un pH =6) Al lactosuero depurado se le determino los parámetro físico-Químico inicial de 1264.85g/l DQO, turbiedad de 3600 UTN y luego del tratamiento de depuración de lactosuero resultando con 267.01 g/l , que representa el 80% de reducción de la Demanda Química de Oxígeno, 91% turbiedad, llegando a la conclusión de que el pH y tiempo influye en los tratamientos, por lo cual el uso de proceso de electrocoagulación puede ser utilizado en la depuración del lactosuero residual.

Palabras clave: *Electrocoagulación, lactosuero, Demanda Química de Oxígeno*

I. INTRODUCCIÓN

El lactosuero es la sustancia líquida obtenida por separación de coágulo de leche en la elaboración de queso (Abaigar, 2009; Foegeding y Luck, 2002; (Del Angel, 2009). Representa alrededor de 90% del peso de la leche utilizada para la elaboración del queso. (Amiot, 1991). Este residuo corresponde al efluente que más contaminación provoca en las queserías si no se tiene un aprovechamiento posterior, por lo que contienen restos de productos lácteos y productos químicos (Zamora, 2011). El agua residual proveniente de agroindustrias se caracteriza por tener una elevada Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Demirel, 2005). Las descargas de aguas no tratadas ocasionan problemas en zonas situadas río abajo, además, las aguas residuales directa o indirectamente riegan 20 millones de hectáreas de tierra a nivel mundial, 7% de superficie de regadío. Su uso no controlado generalmente está relacionado con impactos significativos sobre la salud humana (OMS, 2012).

Frente a esta problemática mundial en torno al agua, se ha visto la necesidad de desarrollar una serie de estrategias de manejo sustentable de esta. El rehusó y recirculación son estrategias del manejo del agua (Morales, 2015). La elevada cantidad de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. En la mayoría de los casos, estos efluentes no son tratados y simplemente son lanzados a ríos o suelos, donde se contribuye a la eutrofización por los altos contenidos de nitrógeno y fósforo (Chímenes y *et al.*, 2006; Irdemez, 2006; Golder, 2006). Tratar los efluentes derivados de la industria láctea es de gran importancia, no sólo para el ambiente, sino también para el aprovechamiento del recurso hídrico; ya que puede reciclarse y utilizarse como riego agrícola o para otros procesos industriales (Hamdani y *et al.*, 2005) y en el mejor de los casos para la extracción o recuperación de fósforo.

El consumo descontrolado y los altos niveles de contaminación del recurso agua, han dado lugar a la investigación de diversas tecnologías con el fin de reducir la carga orgánica e inorgánica que se encuentran presentes en las aguas residuales, una de ellas es la electrocoagulación, proceso en el cual son desestabilizadas las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio

acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados (Chen, 2004).

Es así como el tratamiento electroquímico, se considera una alternativa de proceso para las condiciones en las cuales los métodos y tratamientos tradicionales fallan en la reducción de los agentes contaminantes de las aguas residuales del suero de leche. El tratamiento electroquímico se considera un tratamiento de reducción avanzado y un método poderoso de control de la contaminación. (Conde, 2012). La electrocoagulación es una técnica utilizada para el tratamiento de las aguas residuales, los contaminantes del efluente son removidos aplicando el principio de coagulación (sin usar un coagulante) (Morales, 2015).

Po ello como forma de colaborar con la protección de nuestro medio ambiente y optimizar el aprovechamiento del lactosuero residual, se realizó el presente trabajo de investigación utilizando el proceso de electrocoagulación controlando los parámetros de pH y tiempo, para reducir la Demanda Química de Oxígeno de esa manera poder reutilizar el agua tratada. Por las consideraciones y frente al problema de lactosuero residual, es necesario someterlo a un proceso de a fin de mitigar su impacto, para lo cual planteamos los siguientes objetivos.

- Evaluar el efecto del pH y tiempo de tratamiento por proceso de electrocoagulación en los parámetros físico-químicos (%DQO) del lactosuero.
- Comparar los resultados obtenidos de la depuración de lactosuero residual con las normas nacionales.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. LA INDUSTRIA LÁCTEA

En la industria alimentaria en lácteos, por la gran variedad de productos, se generan igualmente diversos residuos a nivel atmosférico, sólidos y efluentes líquidos, Es en el agua donde más evidente se hace la contaminación por las grasas, proteínas, sales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos (Restrepo, 2006).

La composición de estas aguas incluye sustancias orgánicas disueltas como la lactosa, sales minerales y suspensiones coloidales de proteínas con un DQO entre 2000 – 4000 mg/L, el consumo de agua en las industrias lácteas oscila entre 8,0 – 35 L/kg de leche (Nemerow y Dasgupta, 1998; Arango y Sánchez, 2009).

2.2. LACTOSUERO

El lactosuero es definido como “la sustancia líquida obtenida por separación de coagulo de leche en la elaboración de queso” (Abaigar, 2009; Foegeding y Luck, 2002; Del Angel, 2009). Representa alrededor de 90% del peso de la leche utilizada para la elaboración del queso. (Amiot, 1991). Este residuo corresponde al efluente que más contaminación provoca en las queserías si no se tiene un aprovechamiento posterior. Por ello es aconsejable que estos sueros no sean vertidos directamente al cauce o depuradoras, pues provocarían un enorme incremento de DBO y DQO. El cual crearía un enorme problema ambiental (Aider y *et al*, 2009), debido a que afecta física y químicamente la estructura del suelo.

El suero de quesería, o lactosuero, es el resultante del proceso de coagulación de la leche, que procede de rumiantes en lactación principalmente de ganado caprino, vacuno y ovino, se puede convertir en un residuo altamente contaminante al ser vertido al medio ambiente (Alvarez y *et al*, 2016).

Los sueros se pueden clasificar en 2 grandes grupos: el suero dulce y el suero ácido.

2.2.1. El suero dulce

Los lactosueros dulces son producidos en la fabricación de quesos denominados de pasta prensadas y pastas cosidas (Casado, 1995), “El suero es la fase acuosa que se separa de la cuajada en el proceso de la elaboración del queso o la caseína, de color amarillo verdoso con un pH entre 5.8-6.6” (Pintado, 2012).

2.2.2. El suero ácido

Los lactosueros ácidos son productos de la fabricación de quesos denominados de pasta fresca y pasta blanda (Casado, 1995), es el que se produce en las industrias lácteas cuando la coagulación se lleva a cabo con un ácido, disminuyendo el valor del pH hasta 5.1. Este suero contiene más del 80% de los minerales de la leche. (Riera y *et al*, 2004).

El suero ácido tiene un gran contenido de ácido láctico secuestra el calcio del complejo de paracaseinato cálcico, produciendo lactato cálcico. El suero ácido tiene gran cantidad de minerales. También es rico en fósforo (unas 10-12 veces más que el que puede estar presente como promedio en un residuo acuoso) igualmente es rico en calcio (Hernandes, 2004).

2.3. Composición Química de lactosuero

Su composición varía dependiendo del origen de la leche y el tipo de queso elaborado, pero en general el contenido aproximado es de 93.1% de agua, 4,9% de lactosas, 0,9% de proteína cruda, 0,6% de cenizas (minerales), 0,3% de grasa. Cerca del 70% de proteína cruda que se encuentra en el suero corresponde a proteínas con un valor nutritivo superior al de la caseína, (Valencia y Ramirez, 2009) la lactosa es el mayor componente del suero lácteo después del agua, es el principal soluto del suero con aproximadamente el 71%, el segundo componente en importancia de los solutos son las proteínas que constituyen del 9 al 11% (Jelen, 1992).

Cuadro 1. Composición del lactosuero.

Constituyente	Suero queso (%)
Sólidos totales	6.4
Agua	93.6
Grasa	0.05
Proteína	0.55
Nitrógeno no proteico	0.18
Lactosa	4.8
Sales minerales	0.5
Calcio	0.043
Fosforo	0.040
Sodio	0.05
Potasio	0.16
cloruro	0.11
Ácido Láctico	0.05

Fuente: Tetra Park Processing System (2003).

2.3.1. Usos del lactosuero

Debido a los grandes volúmenes de cuerpo que se producen cada año y a la concentración de alta materia orgánica que contiene, se busca alternativas para la utilización de este residuo industrial o alguno de sus componentes utilizándose como aditivos en la fabricación de diversos productos como alimento para ganado o infantes, algunas bebidas, helados, postres, yogurt, productos de panificación, sin embargo las altas concentraciones de lactosa y sales minerales evitan su uso generalizando del suero en la alimentación de eso humanos (Lundy *et al.*, 1992).

El suero es considerado en general, como un subproducto molesto difícil aprovechamiento. Debido a su capacidad contaminante, con una Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) de 30 000 a 60 000 mg/l y al valor nutritivo de los componentes del suero, en todo el mundo se han realizado considerables esfuerzos dirigidos a su aprovechamiento tanto en el ámbito tecnológico como las políticas gubernamentales que alteren o presionen a los industriales a hacer uso del subproducto evitando que sea

vertido al seno de recursos acuíferos donde resulta altamente perjudicial (Ronda, 2000).

Se desarrolló un bocadito agridulce tomando como base el “queso Brunost”, producto comercial de origen escandinavo, producto semisólido elaborado a partir de suero dulce líquido, para su elaboración se utiliza tecnología similar a la del dulce de leche, por lo que puede ser transferida fácilmente a la industria láctea. y que pueda ser procesado tanto a grande, mediana o baja escala (Castell y *et al*, 2016).

Una gelatina con calidad sanitaria sensorialmente aceptable, proporcionando una tecnología para el aprovechamiento del residuo del suero de quesería, elaborada con suero de quesería y extracto de soya (Ayanegui y Zea, 2016).

2.3.2. Generalidades del lactosuero y los efluentes de la industria láctea

El lactosuero es un producto diario de la industria láctea que contiene mayoritariamente lactosa (44-52 g/L), proteínas (6-8 g/L) y sales minerales (4-9 g/L). La producción mundial de leche es más de 145×10^6 toneladas por año en el mundo. La composición del lactosuero (suero de leche) y de las aguas de lavado (efluentes) de la industria láctea son diferentes, porque en las centrales lecheras se producen diariamente una considerable cantidad de aguas residuales, que suele oscilar entre 4 y 10 L de agua por cada 1 de leche tratada, según el tipo de planta. La mayor parte de estas aguas proceden fundamentalmente de la limpieza de aparatos, máquinas y salas de tratamiento, por lo que contienen restos de productos lácteos y productos químicos (ácidos, álcalis, detergentes, desinfectantes, etc.) (INSACAN, 1995).

En México se producen cerca de 1 millón de toneladas, y a pesar de la riqueza nutricional potencialmente utilizable, el 47% de lactosuero es vertido a los ríos y suelos, causando un problema serio de contaminación (Valencia y Ramirez, 2009).

La industria láctea representa un sector importante dentro de la industria alimentaria y su contribución material en términos de contaminación de las aguas receptoras es significativa, lo que hace necesario y obligatorio el tratamiento previo de sus desechos

líquidos antes del vertimiento. El caudal producido por la industria láctea depende del consumo de agua en la planta procesadora (Valencia y Ramirez, 2009).

2.3.3. Eliminación anual de lactosuero

La producción de lactosuero a nivel mundial genera más de 145 millones de toneladas por año, lo anterior justifica el desarrollo de varios métodos de tratamientos para este residuo, a pesar de diferentes posibilidades de la utilización de lactosuero, aproximadamente la mitad del producido a nivel mundial es descartado sin tratamiento (Donoso y *et al* , 2009).

2.3.4. Contaminación del agua

Acumulación indeseable de sustancias, organismos y cualquier forma de energía en un sistema hídrico. En cuanto a las aguas del país, es la acumulación de diversos elementos y sustancias aportados por vertimiento de aguas residuales crudas o insuficientemente tratadas que superan la capacidad de asimilación y/o autodepuración del cuerpo receptor generando concentraciones en el cuerpo de agua que exceden el estándar de calidad normado en la zona sometida a regulación (Ocola, 2015)

El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración y su aparente abundancia hace que sea el vertedero habitual de residuos: pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc. La degradación de las aguas viene de antiguo, pero ha sido en este siglo cuando se ha extendido este problema a ríos y mares de todo el mundo (Garcia, 2002).

La escasez del agua se debe fundamentalmente a:

1. La explosión demográfica
2. La contaminación, se ha incrementado al mismo ritmo que el desarrollo industrial, tanto las superficiales como las subterráneas
3. Al incremento de las demandas.

2.3.5. Eutrofización

La Eutrofización es el enriquecimiento excesivo del agua en determinados nutrientes (Fósforo y Nitrógeno) originando el crecimiento de las algas. El problema está en que si hay exceso de nutrientes crecen en abundancia las plantas y otros organismos. Más tarde, cuando mueren, se pudren y llenan el agua de malos olores, dándoles un aspecto nauseabundo y disminuyendo drásticamente su calidad (García, 2002)

El proceso de putrefacción consume una gran cantidad del oxígeno disuelto y las aguas dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos. Los vertidos humanos aceleran el proceso de eutrofización hasta convertirlo, muchas veces, en un grave problema de contaminación.

Las principales fuentes de eutrofización son:

- los vertidos urbanos, que llevan detergentes y desechos orgánicos
- los vertidos ganaderos y agrícolas, que aportan fertilizantes, desechos orgánicos y otros residuos ricos en fosfatos y nitratos.

2.3.6. Contaminación del suelo

La contaminación del suelo ocasiona también impactos negativos en la calidad del medio ambiente, en la salud de la población, la obtención de productos agrícolas insalubres, el aumento de la inestabilidad y reducción del valor del suelo, cambio en el tipo de aprovechamiento del suelo y la pérdida de condiciones naturales para su máximo aprovechamiento (MUNICIPALIDAD DE COMAS, 2010).

La industria láctea presenta el impacto más fácilmente apreciable que ocasiona al verter sus residuos industriales a un cuerpo de agua, es en el deterioro ambiental: la vida acuática, la flora y la fauna de los alrededores y la atmósfera, por los desagradables olores que se producen, destruyendo así una fuente de vida y de alimento para el mismo hombre (Arundel, 2008).

2.4. MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUAL INDUSTRIALES

El área de tratamiento de efluentes ha experimentado una importancia creciente en neutros países, en vista de los problemas generados por plantas industriales en especial aquellos que procesan productos orgánicos y evacuan aguas residuales que son negativos para aspectos ambientales (MINISTERIO SECRETARIA GENERAL DE LA PRESIDENCIA,2000).

En el Perú el tratamiento de aguas residuales se lleva acabo aun a baja escala. Sin embargo, es importante considerar la generación inevitable de desechos secundarios que deben ser dispuestos de manera adecuada para evitar el deterioro del medio ambiente. El residuo de mayor volumen y cuyo tratamiento es más complejo lo constituyen los lodos que son separados durante el proceso (LEY DE AGUAS DEL PERÚ, 1969).

2.4.1. Tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales

Por tipo de proceso:

- *Procesos físicos*: Remoción de Material en suspensión, rejillas, trituradores, sedimentador primario, espesadores y filtración (Huaycani, 2012).
- *Procesos químicos*: Aplicación de productos químicos para la eliminación o conversión de los contaminantes. Precipitación, adsorción y desinfección (Huaycani, 2012)
- *Procesos biológicos*: Se llevan a cabo gracias a la actividad biológica de los microorganismos. Eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes, eliminación del N y P y producción de gases (Collazos, 2008). Como su nombre indica, los tratamientos biológicos de aguas residuales se basan en el empleo de microorganismos, fundamentalmente bacterias, para la depuración de las mismas. (Arnaiz y *et al*, 2000).

2.5. TRATAMIENTO ELECTROQUIMICO

La electroquímica es una parte de la química que se dedica a estudiar las reacciones asociadas con la corriente eléctrica que circula en un circuito (Chang, Raymond, 2007). El tratamiento consiste en hacer pasar una corriente directa a través de dos electrodos que pueden ser de aluminio, cobre, hierro, titanio, grafito, acero, platino, entre otros, sumergidos en el efluente a tratar (Cristancho y Morales, 2010).

2.6. ELECTROQUÍMICA

La electroquímica es el estudio del intercambio entre química y la energía eléctrica. Las reacciones químicas producen efectos eléctricos y a su vez los fenómenos químicos son ocasionados por la acción de corrientes o voltajes, las tecnologías electroquímicas más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales son: electrodeposición, electroflotación, electro oxidación y electrocoagulación (EC). (Zumdahl S, 2000).

2.6.1. Electrodeposición.

La electrodeposición es el método de cubrir objetos con una película fina de otro metal. El principio que rige este fenómeno es la electrólisis, cuyo nombre procede de dos radicales, electro que hace referencia a electricidad y lisis que significa ruptura. La electrodeposición implica la reducción (disminución del estado de oxidación; ganancia de electrones) de un compuesto metálico disuelto en agua y una deposición del metal resultante sobre una superficie conductora (Dias del Castillo, 2008).

2.6.2. Electroflotación.

El sistema de electroflotación se realiza en un tanque por el que pasa la corriente a tratar. En el fondo del tanque, se localizan los electrodos de modo que el cátodo queda por encima del ánodo. A través de estos 20 electrodos, circula una corriente eléctrica que provoca la electrólisis del agua con la consiguiente formación de pequeñas burbujas de oxígeno (en el ánodo) y de hidrógeno (en el cátodo). Dichas burbujas arrastrarán en su trayectoria ascendente hacia la superficie, las pequeñas partículas que se encuentren en suspensión en el efluente a tratar. Para favorecer la eliminación de

los contaminantes se utilizan floculantes antes de tratar el agua en el sistema de electroflotación (Chen, 2000).

2.6.3. La Electrocoagulación

La coagulación asistida electroquímicamente, o electrocoagulación (EC), un proceso electroquímico en el que a partir de compuestos procedentes de la disolución de un ánodo (Cañizares y *et al*, 2009), se agrupa la materia coloidal existente en un agua residual, posibilitando su conversión en sólidos suspendidos, y su separación del agua mediante técnicas convencionales de separación sólido/líquido tales como la decantación, flotación y filtración (Pouget y Grasmick, 1995; Cañizares *et al* 2009).

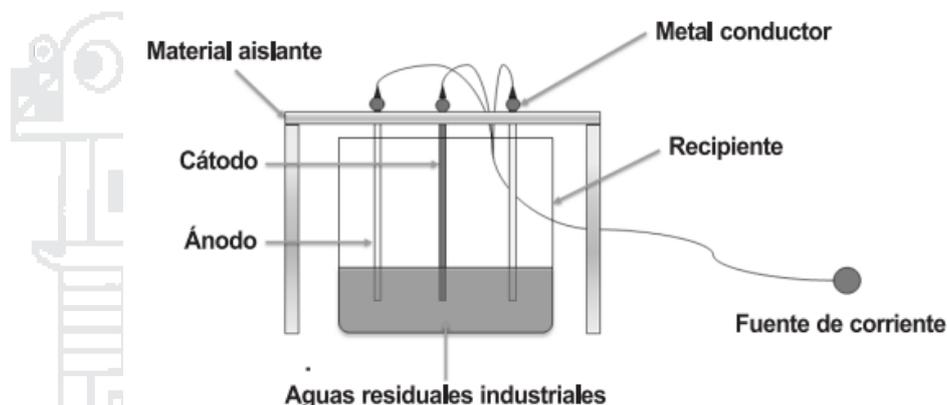


Figura 1. Sistema de electrocoagulación

Fuente: (Morales, 2010)

El término coágulo se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, originando productos insolubles. La coagulación comienza al agregar al coagulante el agua para volver fácil la adherencia entre sus partículas, funcionando creando una reacción química eliminando las cargas negativas que causan que las partículas se repelen entre sí como la coagulación convencional. (Morales, 2010)

Actualmente la electrocoagulación se ha vuelto a considerar como una alternativa viable en el tratamiento de efluentes líquidos, cobrando un importante interés científico e industrial (Restrepo *et al*, 2006).

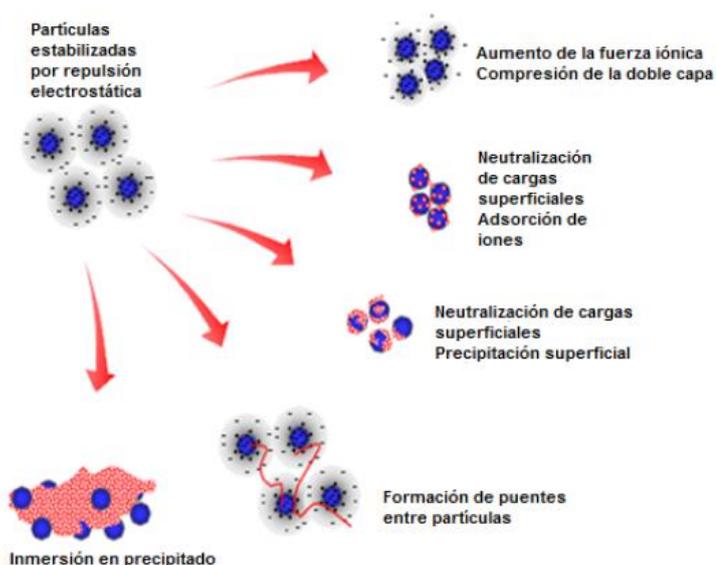


Figura 2. Mecanismo de coagulación de partículas coloides

Fuente: (Martinez, 2007).

2.6.4. Principio de electrocoagulación

La electrocoagulación es una técnica utilizada para el tratamiento de las aguas residuales. Los contaminantes de muy diversos efluentes son removidos aplicando el principio de coagulación, pero en este caso no se hace uso de un coagulante químico (cuya función es llevada a cabo por corriente eléctrica que es aplicada al medio líquido contaminado). Podemos entonces definir la electrocoagulación como un proceso en el cual son desestabilizadas las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados (Restrepo y *et al*, 2006).

La electrocoagulación es un proceso electroquímico que separa simultáneamente metales pesados, sólidos en suspensión, compuestos orgánicos emulsionados y otros muchos contaminantes del agua utilizando la electricidad en lugar de reactivos químicos. Los fangos producidos durante el tratamiento se separan posteriormente por filtración, decantación o flotación. (Procontrol, 2009).

Los principios electroquímicos residen en las reacciones REDOX que se describen a continuación. (Perez, 2015)

- a) **Reacciones de REDOX.** Son reacciones de óxido-reducción, que ocurren mediante transferencia de electrones. La reacción redox electroquímica posee las siguientes características:
- Son reacciones en sistemas heterogéneos: ocurren en una interface conductor sólido – disolución, donde ésta puede tener naturaleza acuosa o no, puede ser una membrana.
 - Están fuera del equilibrio: dependen del tiempo ya que las concentraciones de las especies que participan cambian con éste en las cercanías de la interface.
 - Son unidireccionales: el intercambio de electrones va de una especie hacia la otra, por medio de conductores, y fluye del ánodo al cátodo.

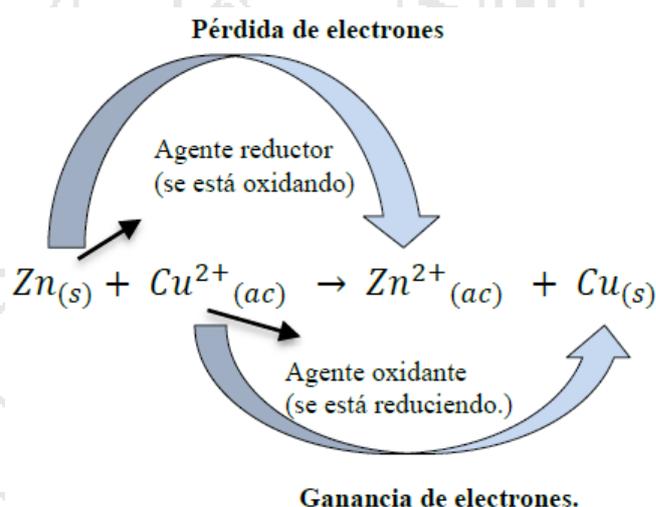


Figura 3. Reacción de óxido- reducción.

Fuente: (Perez, 2015).

2.6.5. Ley de Faraday.

Primera ley de Faraday (1791-1867). La masa de un elemento depositada en un electrodo es proporcional a la cantidad de electricidad que pasa a través de la solución del electrolito.

$$m = Meq * Q \quad (1)$$

$$Meq = \frac{M}{n * F} \quad (2)$$

$$Q = I * t \quad (3)$$

Donde:

m: masa del elemento depositada

Meq: Equivalente electroquímico

Q: Carga

M: Peso molecular del ion

n: Valencia del ion

F: Constante de Faraday equivale a 96500 c.

I: Intensidad de corriente en amperios

T: tiempo en segundos.

Segunda ley de Faraday. Las masas de dos o más elementos que se depositan en dos o más celdas conectadas en serie, son proporcionales a sus equivalentes electroquímicos (Mantel, 2004).

La figura 3. Muestra el fenómeno, al aplicar entre los electrodos una diferencia de potencial se origina un campo eléctrico, los cationes se orientan hacia el polo negativo o cátodo en el mismo sentido que el campo; los aniones se orientan en sentido contrario, es decir, hacia el ánodo.

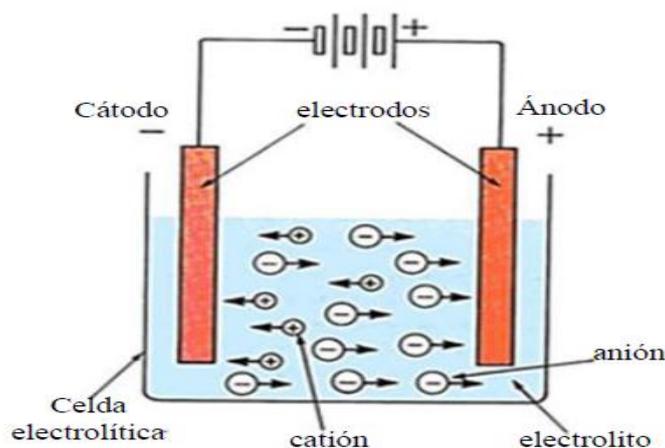


Figura 4. Celda electrolítica

Fuente: Restrepo y *et al*, 2006.

Un proceso de electrocoagulación involucra tres etapas sucesivas (Arstizabal y Bermudez , 2007).

- Formación de los coagulantes por oxidación electrolítica del electrodo de sacrificio (ánodo).
- Desestabilización de los contaminantes, partículas suspendidas y rompimiento de la emulsión.
- Agregación de las fases desestabilizadoras para formar flóculos.

2.6.6. Ventajas y desventajas de la electrocoagulación (Mollah, 2001)

Ventajas:

- Los costos de operación son menores que los de procesos convencionales usando polímeros.
- Requiere de equipos simples y fáciles de operar, con la suficiente libertad operacional para manejar los problemas encontrados en su funcionamiento.
- Puede generar aguas potables, incoloras e inodoras.
- Elimina requerimientos de almacenamiento y uso de productos químicos.
- Genera lodos más compactos y en menor cantidad, que involucra menor problemática de disposición de estos lodos.
- Los flóculos formados por la electrocoagulación son similares a los producidos químicamente, pero más grandes, contienen menos agua ligada, más estables y pueden ser separados rápidamente por filtración.
- Ausencia de magnesio en los lodos por la no utilización de éste en el proceso.
- Alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes.
- Purifica el agua y permite su reciclaje.
- Reduce la contaminación en los cuerpos de agua.
- Produce efluentes con menor cantidad de SDT comparado con los tratamientos químicos, si esta agua se reusa, los bajos niveles de SDT
- contribuye a bajos costos de tratamiento de aguas.

- Remueve las partículas coloidales más pequeñas, ya que el campo eléctrico aplicado las pone en movimiento más rápidamente facilitando la coagulación.

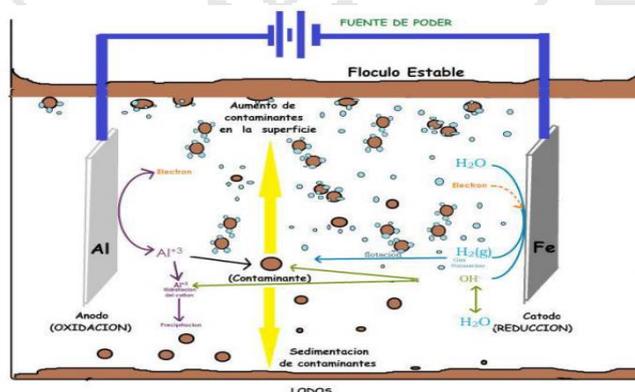
Desventajas:

- Reposición de los electrodos de sacrificio.
- Los lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo utilizado.
- No es efectivo en la remoción de DBO soluble, proveniente de solventes y anticongelantes.
- El uso de electricidad puede ser costoso en muchos lugares.
- Una película de óxido impermeable puede formarse en el cátodo que lleva a la pérdida de eficiencia del proceso.

2.6.7. Mecanismos del proceso de electrocoagulación.

En la electrólisis ocurren una serie de procesos físicos y químicos que permiten la remoción de los contaminantes. Estos procesos se pueden describir de la siguiente manera: En los electrodos ocurren una serie de reacciones que proporcionan iones tanto positivos como negativos. El ánodo provee iones metálicos. A este electrodo se le conoce como electrodo de sacrificio, ya que la placa metálica que lo conforma se disuelve, mientras la placa que forma el cátodo permanece sin disolverse (Respreto, 2006).

Figura 5. Esquema de celda de electrocoagulación



Fuente: (Mollah col, 2004).

2.6.8. Factores que afectan al proceso de electrocoagulación

Son muchos los factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación y algunos de estos factores tienen mayor influencia sobre el proceso. Son los siguientes.

- a) **pH:** la electrocoagulación es eficiente en un rango de 4 a 8 de pH, esta variable determina la formación de especies iónicas durante el proceso y evita la adición de sustancias químicas durante el proceso (Mollah, 2010). Es una variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango óptimo, ello depende de la naturaleza de los iones de la alcalinidad del agua. Para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5 unidades (Barnechea, 2004).
- b. **Densidad de corriente:** Como las variables eléctricas en el proceso de electrocoagulación son los parámetros que más influyen en la remoción del contaminante de un agua residual y están ligados a factores económicos, se debe prestar mayor atención a su estudio (Respreto, 2006).
- c. **Selección de material de electrodos:** Los electrodos de aluminio y hierro son los más utilizados por las siguientes razones: disponibilidad de metales son materiales relativamente baratos y amplia información bibliográfica en la que se reporta buenos resultados de remoción de contaminantes en la electrocoagulación (Chen, 2004; Arango 2010). se encontró que usando hierro como ánodo se obtuvo porcentajes de remoción de grasas mayores que usando aluminio como ánodo. Esto es ocasionado por la afinidad de los contaminantes con los hidróxidos y polihidróxidos de hierro que se generan en el proceso de electrocoagulación (Yilmaz, 2008).
- d. **Temperatura:** Los efectos de la temperatura sobre la electrocoagulación no han sido muy investigados, pero se han encontrado que la eficiencia en la corriente incrementa inicialmente hasta llegar a 60°C punto donde se hace máxima, para luego decrecer. (Cheng, 2000). Asimismo se ha observado un mínimo de consumo de energía a 35°C, en el tratamiento de aguas residuales con aceites.

- e. **Conductividad:** La conductividad del agua a tratar no es elevada es frecuentemente la adición de cloruro de sodio para incrementar la conductividad del agua o el agua residual tratada (Cheng, 2000). adicionado por un incremento en la conductividad eléctrica genera a su vez un incremento en la densidad de corriente. Cuando se mantiene constante el voltaje alimentado a la celda de electrocoagulación y adicionalmente el incremento de la conductividad, manteniendo la densidad de corriente constante, se produce una disminución del voltaje aplicado (Respreto, 2006).
- f. **Material del electrodo:** Dependiendo del material del electrodo se obtienen las reacciones oxido reducción, los electrodos son usados aluminio y hierro (Cheng, 2000).
- g. **Tiempo:** El tiempo de residencia, a mayor valor, mayor es la cantidad de sólidos formados, debido a que se favorece tanto los procesos de electrodos como la floculación y precipitación de los sólidos. Se producen más gases, que, al ascender, llevan las partículas de óxido a la superficie en forma de espuma y a su vez promueve el crecimiento de los flóculos y su posterior precipitación. Un pequeño cambio del tiempo representa una gran influencia en la cantidad de sólidos obtenidos. Sin embargo, estos mismos autores señalan que sus variaciones resultan estadísticamente menos significativas que las variaciones de pH, ya que éste, está muy vinculado a la constante del producto de solubilidad (K_{ps}) la cual debe de disminuir al elevarse el mismo, lo que significa que los sólidos son más insolubles y por tanto se obtiene una mayor precipitación de los mismos en la medida que el pH aumenta (Prieto, 2012).

2.6.9. Reactores para procesos de electrocoagulación

Los reactores para la electrocoagulación pueden clasificarse en primera instancia como reactores tipo Batch o reactores de sistema continuo. La selección de uno de estos tipos de reactor depende de las características del contaminante y de su concentración, así como de las cantidades de agua residual a tratar (Restrepo, 2006).

- **Tipo Bach:**

El reactor tipo Bach, encontramos que éste debe operar con un volumen determinado de agua residual para tratar en un ciclo. Tiene como desventaja que sus condiciones cambian con el tiempo, pero tiene también la ventaja de ser simple y de bajo costo para el tratamiento localizado de aguas (Restrepo, 2006).

El reactor utilizado para realizar la electrocoagulación en una operación por Bach, en su forma más simple, está formado por una celda electroquímica con un ánodo y un cátodo dispuestos en forma vertical y conectada a una fuente de energía externa (Arango, 2005). El material anódico se corroe eléctricamente debido a la oxidación, mientras que el cátodo permanece pasivo.

2.6.10. Características de celda electrocoagulación

El dimensionamiento de la celda es basado en un sistema que opera como un reactor tipo Bach a escala laboratorio con capacidad de tratar 4.5 litros de agua residual. El material usado para la fabricación de la celda fue acrílico transparente, de forma de un paralelepípedo rectangular, en el cual están sumergidos los electrodos que son de aluminio y hierro de forma cuadrada. La celda es de forma de un paralelepípedo rectangular con las siguientes dimensiones:

Ancho = 20 cm Largo = 15 cm y Altura= 20 cm.

Zona de reacción: donde están sumergidos los electrodos y se produce el proceso de electrocoagulación.

Zona de Sedimentación: donde precipitan los lodos sedimentables.

Zona de Flotación: donde se acumulan los lodos productos de la flotación.

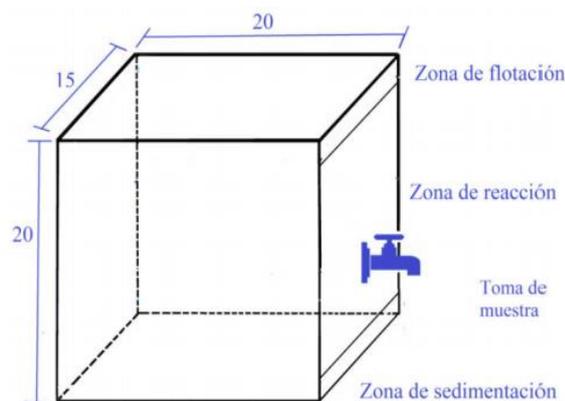


Figura 6. Dimensiones de celda de electrocoagulación

Fuente: (Restrepo, 2006).

Fuente de poder

La fuente de poder a utilizar en las pruebas permitirá regular la cantidad de corriente suministrada a la celda para el proceso de electrocoagulación, esta será de una capacidad de suministrar hasta 12 amperios y un voltaje de 0 a 32 V, los cuales se podrán monitorear con medidores analógicos de amperaje y voltaje. La verificación de las lecturas de los medidores análogos que viene implementados en el propio equipo y un cronometro para mediciones de tiempo. Para el suministro de corriente continua a los electrodos se utilizarán cables de uso eléctrico y cocodrilos para conectarlos a las placas de fierro y aluminio. En la figura. Se observan un diagrama del sistema se electrocoagulación y el equipo utilizar en laboratorio (Arango R., 2012)

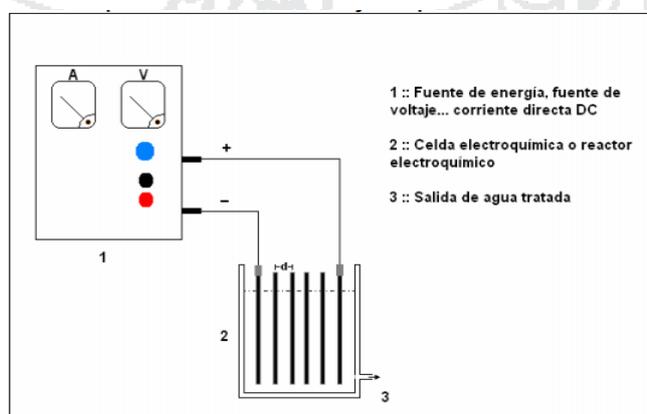


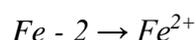
Figura 7. Diagrama del equipo de electrocoagulación

Fuente: (Perez, 2015).

2.7. QUÍMICA DE HIERRO Y ALUMINIO

En el caso del hierro es usado para el tratamiento de aguas residuales. (Yousuf y col, 2001). Las reacciones químicas que se llevan a cabo en el ánodo son los siguientes (Chen, 2004).

Para ánodo de Hierro:



En condiciones alcalinas:



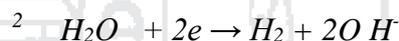
En condiciones acidas:



la electrolisis del agua se produce oxígeno e hidrógeno de la siguiente forma

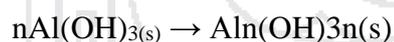


En el cátodo es:

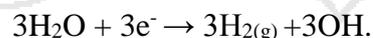


Cuando el aluminio actúa como ánodo las reacciones son las siguientes (APHA, 1998; Dockhorn, 2007; del Ángel *et al.*, 2009).

En el ánodo:



En el cátodo:



Los procesos de precipitación forman el $Al(OH)_3(s)$, como se muestra en la reacción de ánodo. El $Al(OH)_3(s)$ es una sustancia amorfa de carácter gelatinoso, que expone una gran área superficial con propiedades absorbentes y que es propicia para los procesos de adsorción y atracción de las partículas contaminantes (Dockhorn, 2007; Barrera *et al.*, 2008).

2.8. DISEÑO DE UNA CELDA DE ELECTROCOAGULACION

En la actualidad no existe una metodología definida para el diseño y construcción de un equipo de electrocoagulación. Sin embargo se deben tener en cuenta un aspecto de naturaleza física y química que garanticen un buen desempeño y construcción del equipo. (Rajehwar, 2007; Holt y *et al*, 2009), a continuación, se describen las consideraciones más importantes.

En su forma más simple, un reactor electroquímico está compuesto por una celda electrolítica con un ánodo y un cátodo conectados a una fuente de potencia externa, allí el ánodo está electroquímicamente corroído debido a la oxidación mientras que el cátodo estará sujeto a pasivación (Mollah y *et al*, 2010).



Figura 8. Diagrama del equipo de electrocoagulación

Fuente: LCCS-Ing. Química Una Puno, 2016.

2.8.1. Diseño del Prototipo

El prototipo que existe en la Universidad Nacional del Altiplano Puno Facultad de Ingeniería Química, está construido en acrílico y consta de un conjunto de tres placas metálicas, dispuestas en forma vertical, tres de hierro y tres de aluminio. La placa de aluminio tiene polaridad negativa (cátodo), y las de hierro polaridad positiva (ánodos), que cumplen la función de electrodos en paralelo dentro de la celda electrolítica (figura 1), cuyas dimensiones son de 10 cm x 11 cm, con capacidad para unos 2 L de aguas residuales en una única zona de operación. (Elaboración propia, 2016).

2.8.2. Electrodo para electrocoagulación

El material anódico se corroe eléctricamente debido a la oxidación, mientras que el cátodo permanece pasivo, los electrodos más modernos son fabricados de titanio con una pequeña capa de óxidos de metales nobles, sin embargo, los materiales más comúnmente utilizados son el aluminio y el hierro (Arango, 2007).



Figura 9. Electrodo de hierro y aluminio en la electrocoagulación

Fuente: LCCS-Ing. Química Una Puno, 2016.

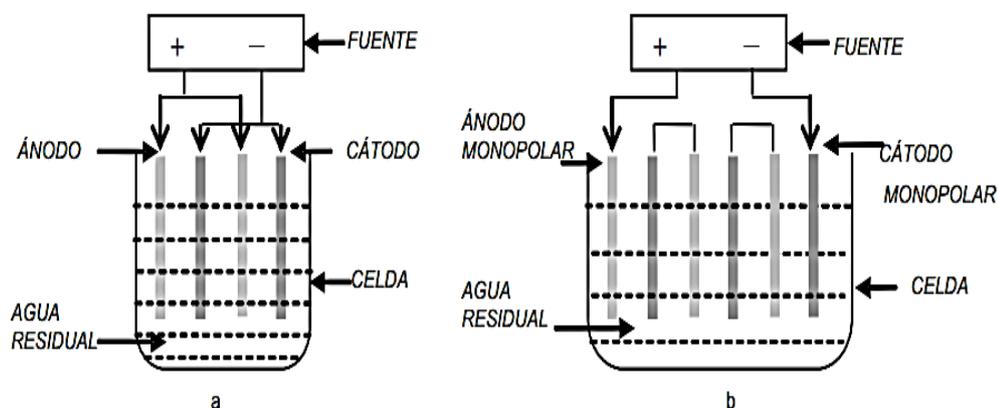
- a) **Electrodo de hierro:** El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre (5%). Es un metal maleable, tenaz, de color gris plateado y magnético. Los dos minerales principales son la hematita, Fe_2O_3 , y la limonita, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Las piritas, FeS_2 , y la cromita, $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$, se explotan como minerales de azufre y de cromo, respectivamente. Este metal es un buen agente reductor y, dependiendo de las condiciones, puede oxidarse hasta el estado 2+, 3+ o 6+. En la mayor parte de los compuestos de hierro está presente el ion ferroso, hierro (II), o el ion férrico, hierro (III), como una unidad distinta (Perez, 2015).
- b) **Electrodo de aluminio.** El aluminio es un elemento muy abundante en la naturaleza, solo aventajado por el oxígeno, ya que es estable al aire y resistente a la corrosión por el agua de mar, a muchas soluciones acuosas y otros agentes químicos. Esto se debe a la protección del metal por una capa

impenetrable de óxido. A una pureza superior al 99.95%, resiste el ataque de la mayor parte de los ácidos, pero se disuelve en agua regia (Perez, 2015).

Cuadro 2. Características de los circuitos en serie y en paralelo.

	Serie	Paralelo
Resistencia	Aumenta al incorporar un receptor eléctrico	Disminuye al incorporar un receptor eléctrico.
Caída de tensión	Cada receptor tiene la suya, que aumenta con su resistencia. La suma de todas las caídas es igual a la tensión de la celda.	Es la misma para cada uno de los receptores e igual a la de la fuente.
Intensidad	Es la misma en todos los receptores e igual a la general en el circuito. Cuantos más receptores menor será la corriente que circule.	Cada receptor es atravesado por una corriente independiente, menor cuanto mayor resistencia. La intensidad total es la suma de las intensidades individuales. Será, pues, mayor cuanto más receptores se tenga en el circuito.

Fuente: Guijarro, Luis. 2014 Conexiones de varios receptores en un mismo circuito.



a. Reactor con electrodos monopolares conectados en paralelo

b. Reactor con electrodos monopolares conectados en serie

Figura 10. Disposición de los electrodos en los reactores tipo Bach.

2.8.3. Número de Electrodo.

La presencia de más o menos electrodos determinará la mayor o menor presencia de iones que puedan desestabilizar el agua residual, mas no por esto pondremos mayor número de electrodos, ya que al aumentar su número disminuirémos la distancia entre estos, ocasionando atascamientos por las deposiciones de compuestos en estos, que dificultarán el paso de la corriente, limitarán el espacio para una correcta agitación (auto agitación producto de la circulación de iones), Jaramillo, (2012).



Figura 11. Equipo de electrocoagulación con tres electrodos aluminio y hierro.

Fuente: LCCS-Ing. Química Una Puno, 2016.

2.9. NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA

Las Normas de Calidad de Agua en el país son fijados por el Ministerio del Ambiente MINAM teniendo en cuenta que los límites que se establecen en cada caso, sean factibles de ser alcanzados con los recursos locales disponibles para tal fin.

2.9.1. Ley de Recursos Hídricos N° 29338

Promulgado el 30 de Marzo de 2009, en El Título III USO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, se tiene los siguientes artículos relacionados con el uso de agua:

Artículo 35: Clases de usos de agua y orden de prioridad, reconoce las siguientes clases de uso de agua:

1. Uso primario
2. Uso poblacional
3. Uso productivo.

Artículo 36. Uso primario del agua.

Consiste en la utilización directa y efectiva de la misma, en las fuentes naturales y cauces públicos del agua, con el fin de satisfacer necesidades primarias humanas.

Artículo 39. Uso poblacional del agua.

Consiste en la captación del agua de una fuente o red pública, debidamente tratada, con el fin de satisfacer las necesidades humanas básicas.

Artículo 42. Uso productivo del agua.

Consiste en la utilización de la misma en procesos de producción o previos a los mismos.

El Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos (Decreto Supremo N° 001-2010-AG) Aprobado el 24 de marzo 2010 en el artículo 106. 2. sobre la Clasificación de los Cuerpos de Aguas, señala que la Autoridad Nacional del Agua clasifica los cuerpos de agua, tomando como base la implementación progresiva de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua (ECA- Agua), de acuerdo con los usos actuales y potenciales a que se destina el agua.

2.9.2. Valores Máximos Admisibles (VMA)

Es aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente No doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, tratamiento de aguas residuales y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de aguas residuales. (MINISTERIO DE VIVENDA CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO, 2009).

Cuadro 3 valores Máximos Admisibles

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	Valores Máximos Admisibles
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales (S.S.T)	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	A y G	100

Fuente: (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.

2.9.3. Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente (ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL, 2014).

2.9.4. Definición de Aguas Residuales

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

Son aquellas cuyas características han sido modificadas por actividades de población (antropogénicas), requieren de tratamiento previo y pueden ser vertidas a un cuerpo natural de agua o ser reutilizadas. (AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, 2014).

2.9.5. Agua

El agua es un elemento de la naturaleza, integrante de los ecosistemas naturales, fundamental para el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta ya que constituye un factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos que la hacen posible. La superficie de la Tierra es principalmente acuosa, ya que el 70% está cubierta de agua, mayoritariamente salada, y representa el 97.5% del total. El agua restante, es decir, el 2.5% del total mundial de este recurso, no es accesible para el uso humano más que en un 0.003%, ya que la mayor parte de agua dulce en el mundo está representada por los casquetes polares y los glaciares (1.85%) (Rodríguez, 2003).

2.9.6. Residuo

Un residuo sólido, líquido o gaseoso, puede ser definido como cualquier sustancia, objeto o materia, generado durante el proceso productivo o de consumo, que puede representar algún valor económico para terceros. Como material reciclable y/o reutilizable. Los residuos pueden clasificarse según su origen como domiciliario, industrial, hospitalario, proveniente de las actividades de la construcción, etc. El residuo de origen industrial, es un residuo industrial, proveniente de un proceso de producción, transformación, fabricación, utilización, consumo o limpieza (MINISTERIO SECRETARIA GENERAL DE LA PRESIDENCIA, 2000).

Comprende todo bien u objeto que se obtiene a la vez que el producto principal, e incluye tanto los que han devenido inaprovechables ("desechos"), como los que simplemente subsisten después de cualquier tipo de proceso ("restos" o "residuos"

propriadamente dichos)” (Campins, 1994). Los desechos son las materias generadas en las actividades de producción y consumo que no alcanzan ningún valor económico (ORGANIZACIÓN DE COOPERACIÓN Y DESARROLLO ECONÓMICO, OCDE, 1999).

2.9.7. Demanda Química de Oxígeno

Es la cantidad equivalente de oxígeno necesario para degradar la materia orgánica e inorgánica presente en el agua residual (Ocaña, 2011).

2.9.8. Turbiedad

Reducción de la transparencia de un líquido causada por la presencia de materia sin disolver. La turbidez, también es nombrada turbiedad. (Olsen, 1986). se emplea para indicar calidad de las aguas vertidas en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La materia coloidal, absorbe la luz e impide su transmisión, sin embargo, no es posible decir que existe una relación entre turbiedad y concentración de sólidos en suspensión de un agua no tratada (Metcalf y *et al*, 1995).

INSTITUTO DEL AGUA Y MEDIO AMBIENTE, (2007), Es una expresión de la propiedad óptica de una muestra de agua, que hace que la luz sea dispersada y no transmitida a través de la suspensión. ¿A qué se debe? A la presencia de materia suspendida (arcilla, limo, sedimento, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos)

2.9.9. pH

El potencial Hidrógeno (pH) es una forma convencional y muy conveniente de expresar según una escala numérica adimensional, el grado de acidez o basicidad de soluciones acuosas diluidas. Es en realidad una medida de la actividad de los iones hidrógeno en una solución electrolítica. (Álvarez M, *et al*, 2013)

2.10. OPTIMIZACIÓN

Se puede definir como optimización al proceso de seleccionar, a partir de un conjunto de alternativas posibles, aquella que mejor satisfaga el o los objetivos propuestos. Ahora bien, el mejor proceso debe ajustar el flujo de la tareas, entradas y salidas de manera que entregue la mejor calidad al menor costo y en el menor tiempo (Ozdemir,*et al.*, 2008).

2.10.1. Superficie de respuesta

Es el conjunto técnicas matemáticas y estadísticas utilizadas para modelar y analizar problemas en los que una variable de interés es influenciada por otras. el objetivo es optimizar la variable de interés. Esto se logra al determinar las condiciones óptimas de operación del sistema (Valdez *et al*, 2007). La optimización mediante superficies de respuesta le permite al tecnólogo de alimentos minimizar los costos, maximizar las ganancias, reducir el empleo de ingredientes o preservantes costoso, incrementar las características deseables de los alimentos sin comprometer su inocuidad durante el desarrollo de un nuevo producto o para el mejoramiento de uno existente. La principal ventaja de la superficie de respuesta, es que reducen el número de experimentos necesario para obtener resultados estadísticamente válidos, además de que son más rápidas y entregan más información que las evaluaciones clásicas (Ozdemir,*et al.*, 2008).

FACTORES. - son las condiciones del proceso que influyen la variable de respuesta. Estos pueden ser cuantitativos o cualitativos (Auzoubel y Murr, 2003).

RESPUESTA. – es una cantidad medible cuyo valor afectado Al cambiar los niveles de los factores. El interés principal es optimizar dicho valor (Auzoubel y Murr, 2003)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EXPERIMENTACIÓN

La zona de estudio se encuentra en el distrito de Huata, provincia de Puno departamento de Puno. Ubicado a una altitud de 3820 msnm a orillas del lago Titicaca ubicados en las coordenadas: 395344.13 m E, 8273593.62 m S UTM, mediante un GPS GARMIN Etrex 30. el trabajo de experimentación y muestreo se realizaron en la planta de lácteos que fueron llevados a cabo en los meses de enero, febrero, marzo del 2016. Los análisis físico Químico de (Demanda Química de Oxígeno) se realizaron en la Universidad Nacional del Altiplano Puno, en los laboratorios Control de Calidad y Saneamiento de la Facultad de Ingeniería Química.



Figura 12 Mapa de ubicación de zona de estudio

Fuente: Google Earth (2016)-

3.2. MATERIAL EXPERIMENTAL

3.2.1. Material biológico

El lactosuero residual utilizado para los tratamientos, fueron recogidos de la planta Eco lácteos Huata. Estos efluentes provienen de la etapa del desuerado, proceso de lavado, y del proceso de salado, recogido en horas de la mañana 9: 00 am., a una temperatura de 4°C para mantener sus parámetros físico-químicos iniciales, posterior tratamiento por electrocoagulación -flotación y luego proceder analizar en el laboratorio. Como se muestra en el Anexo 1.

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1. Materiales:

- Vaso de precipitado pírex de 5ml, 50ml, 1000ml marca Boeco Germany
- Probeta graduada de 50mL Marca Boeco Germany
- Pipetas graduadas pírex de 5 y 10ml
- Tubos de ensayo material pírex
- Termometro digital Marca Boeco Germany Rango -50 a 300°C.
- Bureta graduada de 25ml
- Matraces Erlenmeyer de 250ml.
- Franela
- Pipetas de 5mL
- Ampolla de muestra de fosfatos.

3.3.2. Equipos de control

- GPS GARMIN Etrex 30., toma de coordenadas UTM.
- pH/conductometer 914 metrohm H.W. Kessel SAC.
- Titulador analógico Turette ® precisión Clase A.
- Colorímetro HACH ® DR/850-220v
- Conductímetro HACH ® SensION5™
- Reactor *DRB200 (DQO)*
- Decodificador *HACH DR /850 COD/TNT-220v*

- Reactor **HACH DRB200- 220v.**
- Cronometro Casio
- Celda de electrocoagulación acrílico

3.3.3. Software

- SigmaPlot v 13.0 (Exact Graphs Data Analysis).
- Statgraphics centurión XVII.

3.3.4. Reactivos

- Agua destilada
- Solución digestora
- Solución de ácido sulfúrico con sulfato de plata.
- Sulfato ferroso amoniacal $\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2$ 0.025N.
- Indicador Ferroina.
- Disolución estándar de pH (tampones 7, 4,9) para la calibración del equipo
- Almohadilla con reactivo persulfato de potasio
- Hidróxido de sodio 1.54 N
- Almohadilla con reactivo Fosfato **Phos ver 3**
- Éter etílico P.E. 40-60 °C.
- Éter de petróleo etílico P.E. 40-60 °C.

3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación consta de dos partes:

La primera etapa estuvo basada en la conexión del equipo de electrocoagulación, colocación de nuevos electrodos de aluminio y hierro luego se procedió al ajuste del pH para el proceso de electrocoagulación de lactosuero residual, se determinó los parámetros fisicoquímicos de las muestras iniciales y del tratamiento óptimo encontrado. Se registró el DQO, turbiedad y grasas.

Descripción del equipo

El equipo experimental fue un reactor por lotes (batch) bipolar con capacidad de 2 litros con tres electrodos rectangular colocados en el reactor de forma vertical y paralela con una distancia de separación entre ellos de 1cm, el área de superficie de cada electrodo de aluminio y hierro fue de 30cm^2 . Los electrodos estaban conectados a una fuente de corriente directa (corriente continua) con suministro de 0 a 30 voltios, Como se aprecia en la figura 13.



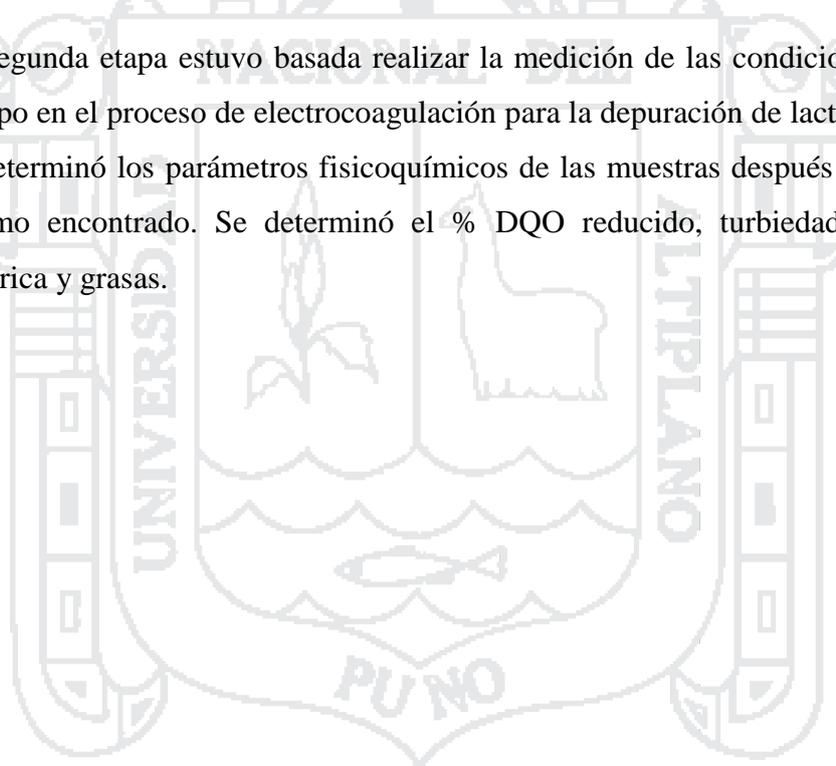
Figura 13 Fuente de poder y reactor Bach

Fuente: Fuente: LCCS-Ing. Química Una Puno, 2016

Condiciones de operación del proceso de electrocoagulación

Se lijaron y lavaron los electrodos para eliminar impurezas, se secaron y pesaron para obtener un peso constante, posteriormente se vertió 1500 ml de lactosuero residual al reactor, se colocaron los electrodos y se conectaron a la fuente de poder, enseguida se encendió la fuente de poder a voltaje 10 Voltios, alimentación de corriente continua, 4 ± 0.05 Amperios, electrodos de aluminio y hierro, temperatura ambiente de 15°C , la experimentación se realizó cada tiempo establecido de acuerdo al diseño compuesto rotatorio en trece corridas tomando en cuenta los intervalos de pH y tiempos (minutos).

La segunda etapa estuvo basada en realizar la medición de las condiciones óptimas de tiempo en el proceso de electrocoagulación para la depuración de lactosuero residual, se determinó los parámetros fisicoquímicos de las muestras después del tratamiento óptimo encontrado. Se determinó el % DQO reducido, turbiedad conductividad eléctrica y grasas.



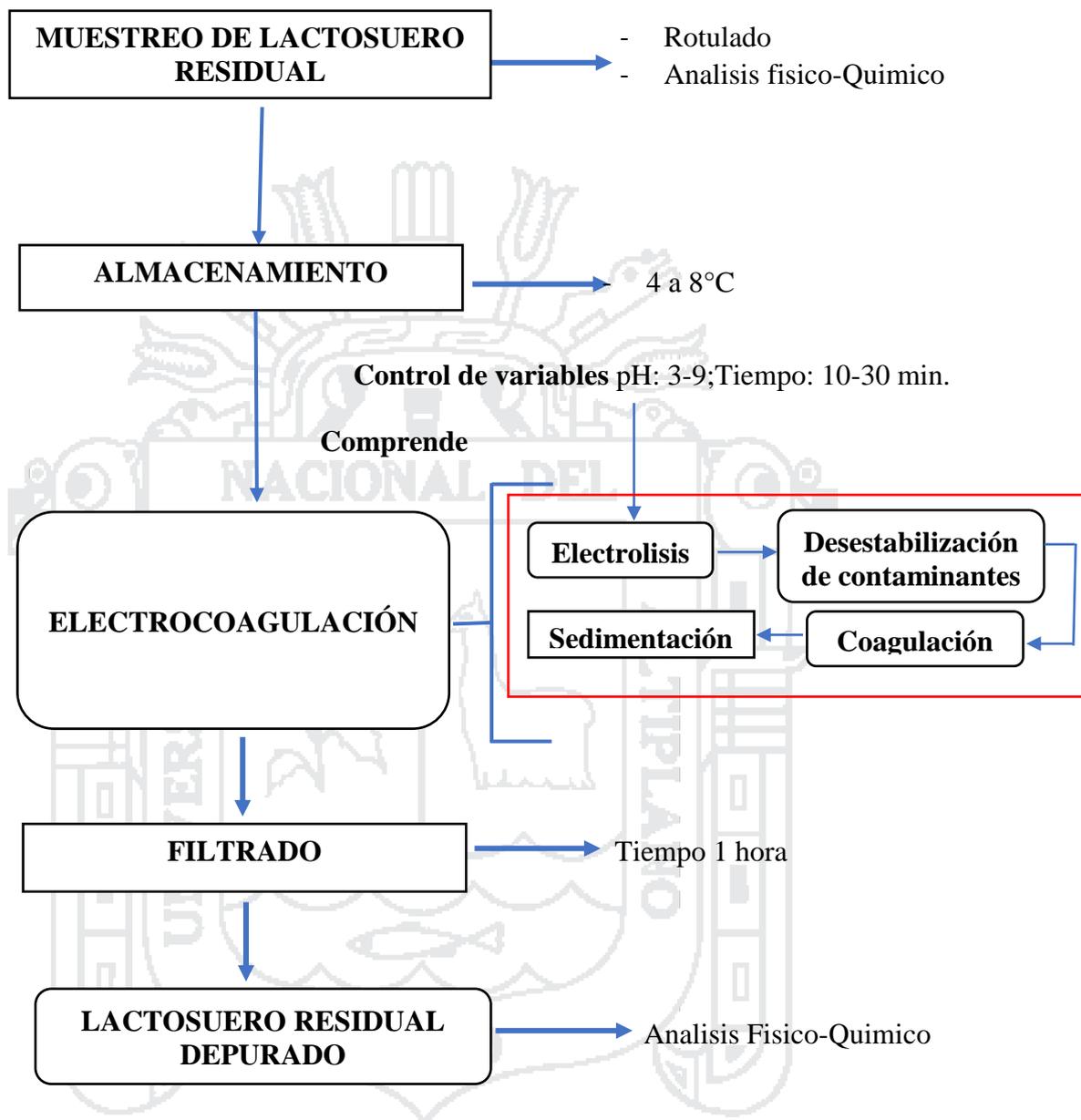


Figura 14. Diagrama de flujo del proceso de electrocoagulación

Fuente: Propia ,2016

Procedimiento para la depuración de lactosuero residual por electrocoagulación

a) Muestreo de lactosuero residual

Se recolectó en envase de vidrio esterilizado, se rotuló para la identificación, registro los parámetros de la muestra en el campo, con tapa esmerilada, de 1 Litro y de boca ancha luego llenar los envases llenos para determinar los parámetros fisicoquímico, Debido a que el flujo de agua residual no es continuo, se decidió tomar muestras del sistema de drenaje de las pailas de procesamiento de lácteos. Una vez tomadas las muestras del punto de muestreo escogido, fueron llevadas a refrigeración inmediatamente para que se preserven hasta el momento de su uso, luego llevó al laboratorio lo más antes posible para evitar los cambios, mantener en temperatura de 4 a 8°C. La muestra se obtuvo de la planta de derivados lácteos de Huata, distrito de Huata, provincia de Puno.

b) Almacenamiento

Se procedió al almacenamiento de la muestra en recipientes de plástico de capacidad 10 litros.

c) Análisis de lactosuero

Se realizó el análisis inicial físico- químico del lactosuero residual como son Demanda Química de Oxígeno, Turbiedad, grasas y aceites, pH, temperatura, conductividad.

d) Electrocoagulación

La primera etapa estuvo basada en la conexión del equipo de electrocoagulación, colocación de nuevos electrodos de aluminio y hierro previamente desinfectados, luego se procedió al ajuste del pH para el proceso de electrocoagulación de lactosuero residual, se determinó los parámetros fisicoquímicos de las muestras iniciales y del tratamiento óptimo encontrado. Se registró el DQO, turbiedad conductividad eléctrica y grasa.

Se realizó los ensayos con el lactosuero residual, revisando los rangos pH mínimos y máximos, así como de los tiempos, ensayos experimentales en base al diseño compuesto rotatable factorial 2^k , con cinco puntos centrales los cuales son 13 corridas, y se evaluarán los efectos de pH y tiempo.

e) Lavado

Realizó el lavado de los electrodos para la reducción de contaminantes (DQO), con disolución de ácido clorhídrico al 4% por 10 minutos, luego se procedió a enjuagar con bastante agua.

f) Precipitación

Se realizó la electrocoagulación y luego se dejó precipitar por un tiempo de 2 horas.

g) Filtrado

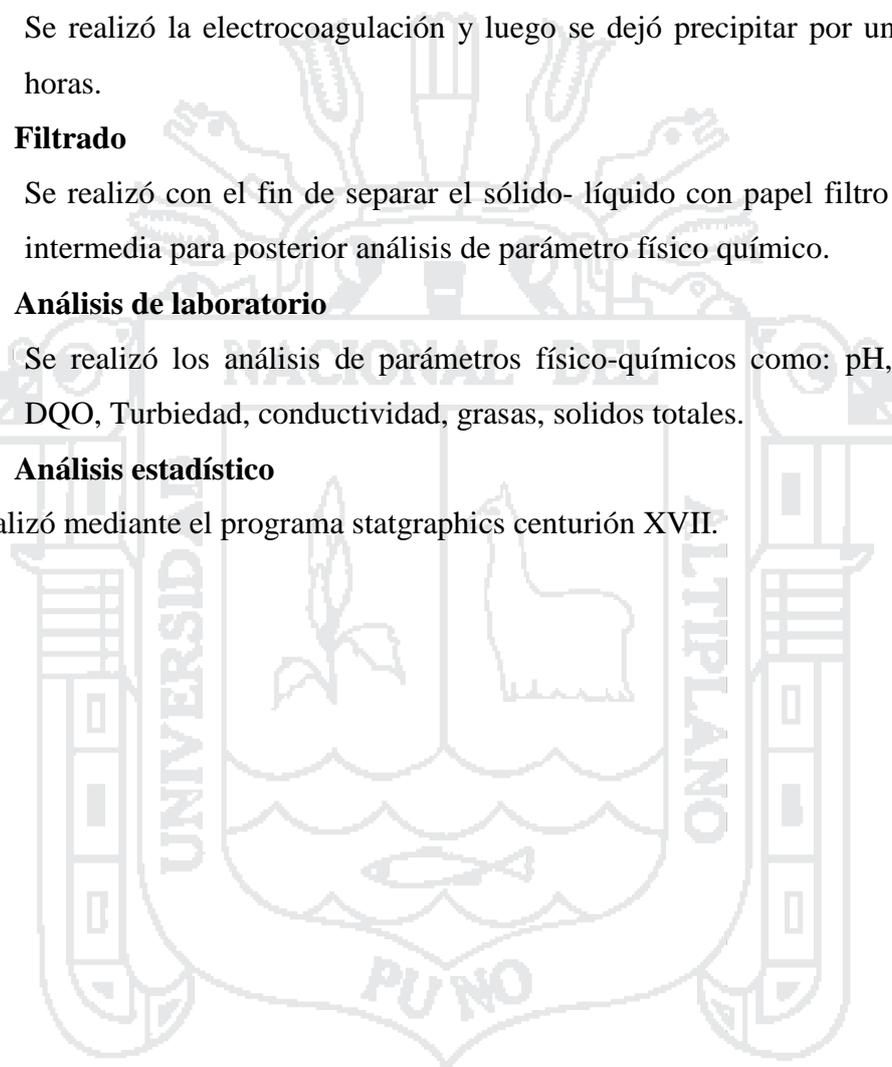
Se realizó con el fin de separar el sólido- líquido con papel filtro de porosidad intermedia para posterior análisis de parámetro físico químico.

h) Análisis de laboratorio

Se realizó los análisis de parámetros físico-químicos como: pH, temperatura, DQO, Turbiedad, conductividad, grasas, solidos totales.

i) Análisis estadístico

Se realizó mediante el programa statgraphics centurión XVII.



3.5. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

La metodología que se utilizó para el presente procesos de investigación fue experimental, cuyos procesos y análisis se realizaron en el laboratorio de Control de Calidad y Saneamiento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.

3.5.1. Determinación de Demanda Química de Oxígeno

La Demanda Química de Oxígeno se mide mediante el método HACH 8000 (APHA, AWWA, WPCF. Métodos normalizados para aguas residuales, 1992). La oxidación tiene lugar en un tubo de digestión que contiene una mezcla Oxidante de reacción compuesta por dicromato de potasio, ácido sulfúrico, sulfato de plata y sulfato de Mercurio. La sal de plata actúa como catalizador de la oxidación de compuestos orgánicos, y el sulfato de mercurio evita las interacciones entre cloruros. En el método, se introducen dos milímetros de la muestra a analizar en el tubo de digestión. A continuación, se mantienen dos horas a 150°C. posteriormente, el tubo se deja enfriar a temperatura ambiente y se mide el valor de Demanda Química de Oxígeno directamente en el espectrómetro DRB-200. Generalmente con un error de medida es siempre inferior al 10%, el procedimiento se reporta en Anexo 2

3.5.2. Determinación de pH.

Método potenciómetro, empleado un pH-metro (AOAC, 2000). El procedimiento se reporta en Anexo 3.

3.5.3. Determinación de Tiempo.

Método Tiempo estándar, Es la función de la cantidad de tiempo necesario para desarrollar una unidad de trabajo, usando un método y equipos dados, bajo ciertas condiciones de trabajo, ejecutado por un obrero posea ciertas cantidades de habilidades Bermúdez L y et al (2015).

3.5.4. Determinación de Grasas y Aceites

Para la medición de grasas y aceites, se empleó el método Soxhlet (APHA, 2007).se reporta en el Anexo 4

3.5.5. Determinación de Turbiedad

Para la medición de turbiedad se utilizó el método HACH 300 (APHA, 2007).se reporta en el Anexo 4.

3.5.6. FACTORES DE ESTUDIO

Variables de estudio:

<u>FACTORES</u>	<u>NIVELES (Mínimo y Máximo)</u>
• pH	3 – 9 (pH)
• Tiempo	10 – 30 minutos

Variable Respuesta

- % remoción de DQO (Demanda Química de Oxígeno).

Variables interviniente

- **Voltaje**
- **Intensidad**

El proceso descrito se realizó para cada uno de los tratamientos experimentales de acuerdo al Diseño central rotatable (DCCR), de un factor con cinco niveles, dos puntos estrella, cinco repeticiones del punto central. Ya que permite evaluar directamente la curvatura del modelo. El diseño permite evaluar a la vez 5 niveles de cada factor tal como se muestra en el cuadro 3 (Ibáñez, 2009).

A continuación, se muestra en el cuadro 4, la matriz de diseño de estudio, tanto escala codificada como a escala natural para la optimización de parámetros fisicoquímicos (Demanda Química de Oxígeno).

Cuadro 4. Niveles del Diseño central compuesto (DCC)

Nivel codificado (Xi)	Denominación
-k	Nivel Mínimo
-1	Nivel Bajo
0	Nivel Medio
+1	Nivel Alto
+k	Nivel Máximo

Fuente: (Ibañez, 2005).

En el siguiente paso es decodificarlas escalas hallando el centro del diseño, el radio de la ecuación decodificada.

Cuadro 5. Niveles codificados del Diseño central compuesto (DCC).

Nivel codificado (Xi)	Nivel real	
	A pH (H+)	B Tiempo (min)
-1.414	2	6
-1	3	10
0	6	20
+1	9	30
+1.414	10	35

Cuadro 6. Número de valores de tratamientos para los factores en un DCCR en el proceso de electrocoagulación.

N° tratamientos	VARIABLES DE ESTUDIO			
	Factores Naturales		Factores Codificables	
	X ₁	X ₂	pH	Tiempo (minutos)
1	-1	-1	6.0	20.0
2	+1	-1	6.0	20.0
3	-1	+1	3.0	10.0
4	+1	+1	6.0	20.0
5	0	0	6.0	34.1421
6	0	0	9.0	10.0
7	0	0	2	20.0
8	0	0	6.0	5.85786
9	0	0	10	20.0
10	-1.414	0	6.0	20.0
11	+1.414	0	9.0	30.0
12	0	-1.414	3.0	30.0
13	0	+1.414	6.0	20.0

Fuente: elaboración propia.2016.

La relación de variables podemos presentarlos como:

$$Y = f(X_{i,j})$$

Donde:

Y = % de Demanda Química de Oxígeno (%DQO)

X_{i,j} = pH, Tiempo (min).

Cada variable de estudio se codifica en su nivel inferior y superior, basado en el 2^k diseño compuesto central rotatable (2²).

Numero de tratamientos en el estudio (p= 2)

$$N = 2^p + 2p^1 + C$$

$$N = 2^2 + 2 * 2 + 5 = 13 \text{ tratamientos u observaciones}$$

Donde:

N= número total de tratamientos

2^p= número de tratamientos básicos de parte factorial o combinaciones de tratamientos

2^p= corresponde a los tratamientos de la parte axial o estrella combinación de tratamientos en los puntos axiales.

C= constituye el tratamiento central que se repite un número determinado de *v* es dependiendo del número de factores o replicas en el centro del diseño.

P= número de factores en estudio o variables.

3.5.7. MODELO MATEMÁTICO:

Modelo de la ecuación es:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{12} X_1 X_2$$

Donde:

Y = variable de respuesta (%DQO)

X₁ = variable estudio (pH)

X₂ = Variable de estudio (tiempo)

b, b₁, b₂, b₃, b₄, b₅ = coeficientes de correlación

3.5.8. Remoción obtenida con la electrocoagulación

A cada muestra se le realizó el análisis de laboratorio previo a la aplicación de la electrocoagulación y posterior a este, para comparar los valores de acuerdo a los porcentajes de cada parámetro analizado en el proceso. Las variables de la cual se estudian son la siguiente ecuación.

$$n = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Donde:

n: porcentaje de remoción de parámetro analizado.

C_i: Concentración Inicial del parámetro.

C_f: concentración Final de parámetro.

Los porcentajes de remoción de cada parámetro se registran en diferentes tablas reportados en los resultados.

Determinación de demanda química de oxígeno

$$n = \frac{Ci - Cf}{Ci} * 100$$

Se procesó los datos con el programa estadísticos statgraphics centurión XVII en la cual, al tener datos, ingresados a la barra de inicio donde encontraremos analizar, seguido ingresaremos a compararlas medias e ingresamos a ANVA de factor, al salir una ventana ingresamos las variables independiente y dependientes. Para la recolección de datos se utilizó el formato cuadro 5, donde se registraron todos los datos experimentales de cada variable de repuesta (Medina *et al*, 2010).



IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del efecto de pH y tiempo en el proceso de electrocoagulación respecto a la disminución de DQO final del lacto suero residual.

En el Cuadro 7 se presenta los resultados de efecto de pH y Tiempo en la disminución de DQO, en donde se observa que a medida que incrementa los valores de pH el porcentaje de disminución de DQO se incrementa y luego disminuye, sin embargo, con el incremento del tiempo los valores de porcentaje de disminución de DQO se disminuyen en el rango de parámetros estudiados. Estos resultados son similares a lo reportado por: Arango y Garcés, (2007), La disminución de carga contaminante, superiores comportamiento en las remociones de DQO fueron del orden del 94 % y la de grasas y aceites del orden del 99 %, Esto de debido a que, las mejores remociones se han obtenido para valores de pH cercanos a 7 (Chen, y *et al*, 2000).

Cuadro 7. Resultados de efecto de pH y Tiempo en la disminución de DQO.

Muestra	codificación	pH	Tiempo(min)	% DQO
1	M1	6.0	20.0	73.62
2	M2	6.0	20.0	74.49
3	M3	3.0	10.0	45.28
4	M4	6.0	20.0	74.13
5	M5	6.0	34.1421	78.89
6	M6	9.0	10.0	45.86
7	M7	2	20.0	48.28
8	M8	6.0	5.85786	42.31
9	M9	10	20.0	47.49
10	M10	6.0	20.0	74.32
11	M11	9.0	30.0	62.87
12	M12	3.0	30.0	58.00
13	M13	6.0	20.0	74.13

En la Figura 15 se presenta la representación gráfica en forma de superficie de respuesta de los datos experimentales descritos en el Cuadro 5, en donde se observa que a medida que se incrementa los valores de pH y Tiempo aumenta el porcentaje de disminución de los valores de DQO hasta alcanzar niveles adecuado y luego disminuye, esto de debido a que el pH elevado existe una sobresaturación de solidos que dificultan la capacidad de remoción. Lo reportado por Bayramoglu, *et al* (2004), donde indica que las mejores remociones de DQO en las aguas de la industria textil se dan a pH entre 7 y 9, Zayas et al. (2007). El pH aumenta desde el pH original de la vinaza hasta 7 (pH neutro) aumenta el porcentaje de remoción, alcanzándose un máximo de 79,84 % a pH 7. El tiempo de residencia mayor será la remoción de DQO, así en 15 minutos de 21.72% y en 45 minutos 39.65% (Huanca, 2015; Mollah, 2010).

Modelo matemático

$$\text{DQO} = 14.3821 + 8.26764 * \text{pH} + 1.41125 * \text{tiempo} - 0.56935 * \text{pH}^2 - 0.04625 * \text{pH} * \text{tiempo} - 0.0105708 * \text{tiempo}^2$$

SUPERFICIE DE RESPUESTA

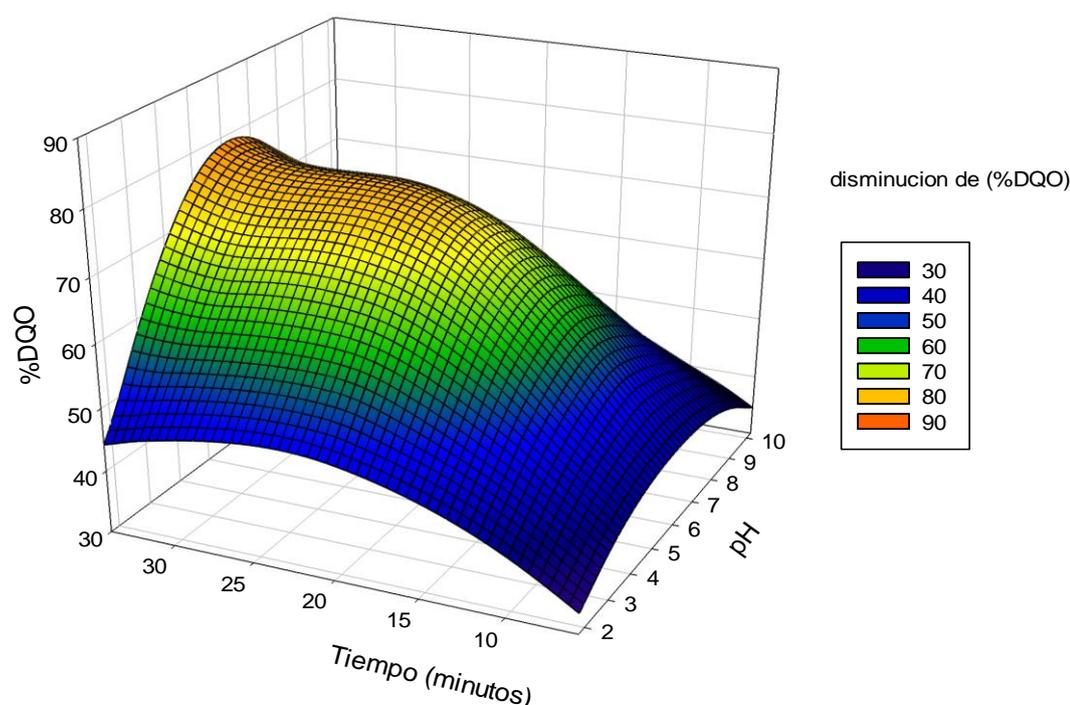


Figura 15. Superficie de respuesta que muestra el efecto de pH y tiempo en la disminución de Demanda Química de Oxígeno.

La interpretación de la superficie de respuesta, de la Figura 16 en cuanto a los colores del contorno están basadas de valores bajos de incidencia de valores altos, también se puede decir de frío a caliente, por lo cual el color azul oscuro presenta valores muy bajos, el color celeste presenta valores bajos, el color verde oscuro o claro presenta valores regulares a mas, el color naranjado presenta un valor alta y el color rojo presenta valores muy altos, las interpretaciones de contornos según el color y sus valores , se optimiza según el objetivo de las respuesta ya sea minimizar , manteniendo maximizar los valores según sea el caso de estudio (Auzoubel y Murr, 2003).

Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada

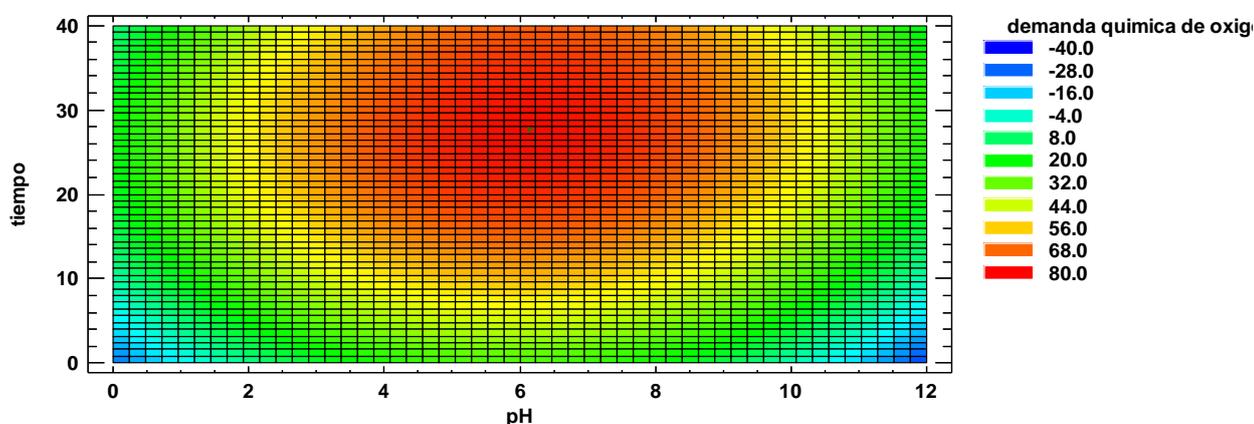


Figura 16. Contorno de Superficie de respuesta del efecto de pH y tiempo vs Demanda Química de Oxígeno.

Por otra parte, en la Figura 17 se presenta efecto de los factores en forma separada, donde se evidencia claramente que con el incremento de los valores de pH aumenta la capacidad de disminución de los valores de DQO hasta alcanzar los niveles óptimos y luego disminuye, sin embargo, con el tiempo también aumenta hasta alcanzar los valores óptimos y se observa una iniciación de disminución entre los parámetros estudiados.

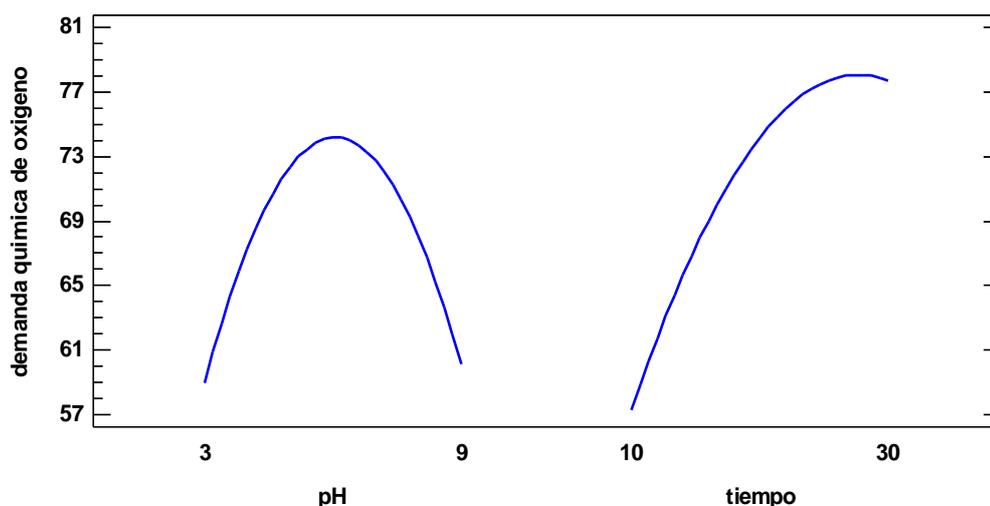


Figura 17. Grafica del efecto principal pH y tiempo vs Demanda Química de Oxígeno.

Podemos observar en la Figura 17, que la disminución de Demanda Química de oxígeno se relaciona íntimamente a una tendencia cuadrática con el factor de estudio de pH y tendencia lineal respecto al tiempo. De ahí que el tiempo óptimo es 34 minutos, mientras que con relación a el pH observamos que se logra mejorar la reducción de Demanda Química de oxígeno a niveles mayores lo cual hace consistente la afirmación: el pH se incrementa gradualmente conforme aumenta el tiempo de electrólisis hasta los 35 minutos. Este comportamiento concuerda con lo reportado en la literatura (Kumar y *et al*, 2004; Gerber y *et al*, 2004). Sin embargo, a las 24 el pH disminuye lo cual puede ser provocado por la posible formación de película sobre los electrodos, dificultando el transporte de los iones a través de la solución (Ríos y *et al*, 2005).

En el cuadro 8 se presenta el análisis de Varianza en el porcentaje de disminución de DQO, se nota que el tiempo y pH de depuración de lactosuero por electrocoagulación tiene un efecto lineal no significativo ($p < 0.01$) sobre la disminución de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en donde se aprecia que el pH no afecta significativamente en la reducción de los valores de Demanda Química de Oxígeno, sin embargo, el tiempo si afecta significativamente.

La interacción de los factores en estudio: tiempo de retención por pH de electrocoagulación de depuración de lactosuero pudiendo que se observa en el cuadro 8 no alcanzo un grado de significación estadística, deducir que la influencia de la interacción no realiza el nivel de remoción de Demanda Química de Oxígeno de manera significativa. (Alvarado, 2012) indica que a un tiempo de 15 minutos; estos valores son: para la DQO 93,99 %, el cual es muy elevados, seguido de las condiciones pH de 5.

Cuadro 8. Análisis de Varianza para DQO - Depuración de lactosuero

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>	<i>Sign.</i>
A:pH	2.55847	1	2.55847	0.27	0.6196	ns
B:tiempo	829.503	1	829.503	87.43	0.0000	**
AA	1258.7	1	1258.7	132.66	0.0000	**
AB	4.60102	1	4.60102	0.48	0.5087	ns
BB	311.724	1	311.724	32.85	0.0007	**
Error	66.4158	7	9.48798			
Total	2362.56	12				

$R^2 = 97.1888$ por ciento.

En el cuadro 9, se observa que el valor óptimo para la disminución de Demanda Química de Oxígeno por un pH de nivel de 3 a 9, existiendo descendencia en la disminución de Demanda Química de Oxígeno a tiempos mayores, con relación al tiempo de electrocoagulación a medida que va aumentando, también aumenta la proporcionalidad de la demanda química de oxígeno, encontrándose los factores: una tendencia cuadrática con respecto al pH y lineal respecto al tiempo.

Para la determinación de los parámetros óptimos de pH y tiempo que proporción en nivel de disminución de Demanda Química de Oxígeno (DQO), se derivó el modelo anterior en función a cada variable estudio (X_1 : pH y X_2 : tiempo de retención en electrocoagulación) y se resolvió las ecuaciones simultaneas, determinándose los siguientes valores presentados en el cuadro 8.

**Cuadro 9. Optimización de Respuesta para la máxima remoción de Demanda
Química de Oxígeno**

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
pH	1.75736	10.2426	5.87548
tiempo	5.85786	34.1421	34.1421

Valor óptimo = 69.8867

4.2. Resultados del efecto de pH y tiempo en depuración de lactosuero por electrocoagulación en disminución de Turbiedad.

En el Cuadro 10, se presenta los resultados de efecto de pH y Tiempo en la disminución de turbiedad, en donde se observa que a medida que incrementa los valores de pH el porcentaje de disminución de turbiedad se incrementa y luego disminuye, sin embargo, con el incremento del tiempo los valores de porcentaje de disminución de turbiedad se disminuyen en el rango de parámetros estudiados. Según (Noubactep, *et al.*, 2010). La turbidez disminuye puesto que se están generando óxidos que ayudan a la coagulación de las sustancias presentes en el agua residual, pero a partir de un $\text{pH} > 10$, estas escamas de óxido que en un principio eran benéficas en el proceso se adhieren a los electrodos y los protegen, pero a su vez ralentizan el proceso de electrodisolución y dejan que más óxidos queden en el agua lo que aumenta la turbidez. (Mouedhen, *et al.*, 2008).

Cuadro 10. Cuadro de pH y tiempo respecto a turbiedad en la Depuración de lactosuero

Muestra	pH	Tiempo (minutos)	%Turbiedad (UNT)
1	6.0	20.0	61.00
2	6.0	20.0	61.71
3	3.0	10.0	32.55
4	6.0	20.0	61.50
5	6.0	34.1421	66.60
6	9.0	10.0	27.52
7	2	20.0	38.98
8	6.0	5.85786	20.40
9	10	20.0	57.89
10	6.0	20.0	61.18
11	9.0	30.0	52.03
12	3.0	30.0	54.56
13	6.0	20.0	61.18

Fuente: elaboración propia, (2016).

En la Figura 18, se presenta la representación gráfica en forma de superficie de respuesta de los datos experimentales descritos en el Cuadro 9, en donde se observa que la tendencia general de la figura 14 es que a medida que se aumentó el tiempo (minutos) y el pH tuvo un efecto cuadrático, la turbidez disminuyó, pero se evidenció que a tiempo de $t=27$ minutos y $\text{pH}=6,5$ la turbidez fue mayor en comparación con las otras condiciones.

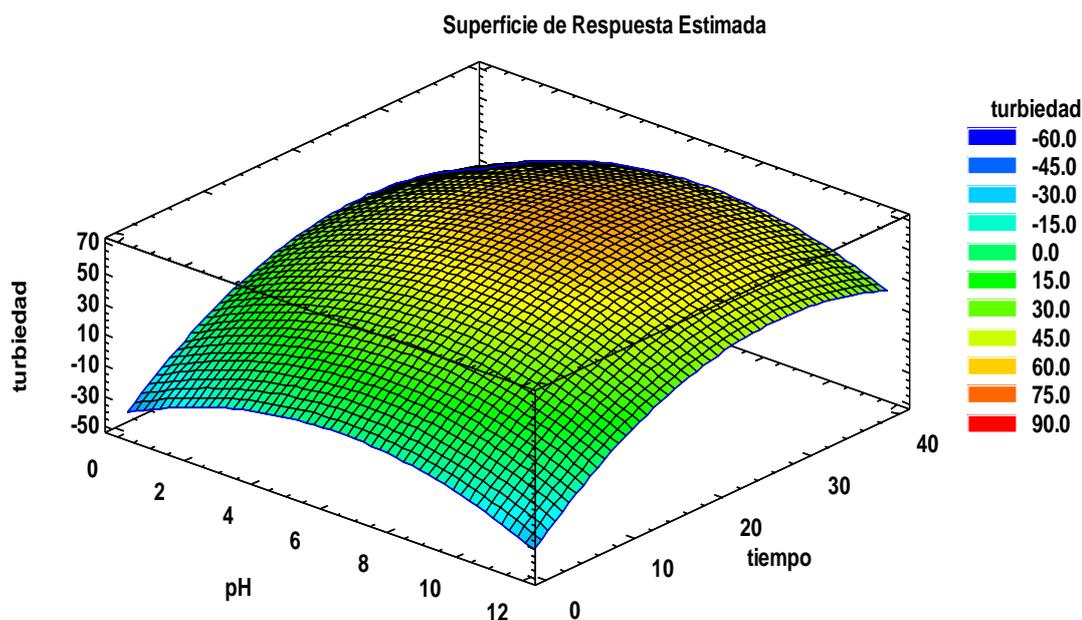


Figura 18. Superficie de respuesta que muestra el efecto de pH y tiempo vs Turbiedad.

El análisis de superficie de las figuras 18 que se detalla en el Cuadro 10 reveló la influencia de los parámetros evaluados sobre la turbidez y proporcionó una idea de que tan ajustados están los datos experimentales al modelo. Efecto de la interacción entre las variables. En la figura 15 se muestra la interacción entre las variables, en la cual se puede observar el comportamiento que tiene el proceso a los diferentes pH's analizados, con los tiempos utilizados. Se observa que el comportamiento del pH es muy similar, a medida que el tiempo aumenta el % de remoción aumenta directamente proporcional, sin embargo, se aprecia que, con el ánodo de aluminio, el porcentaje de remoción es mayor que con el de hierro.

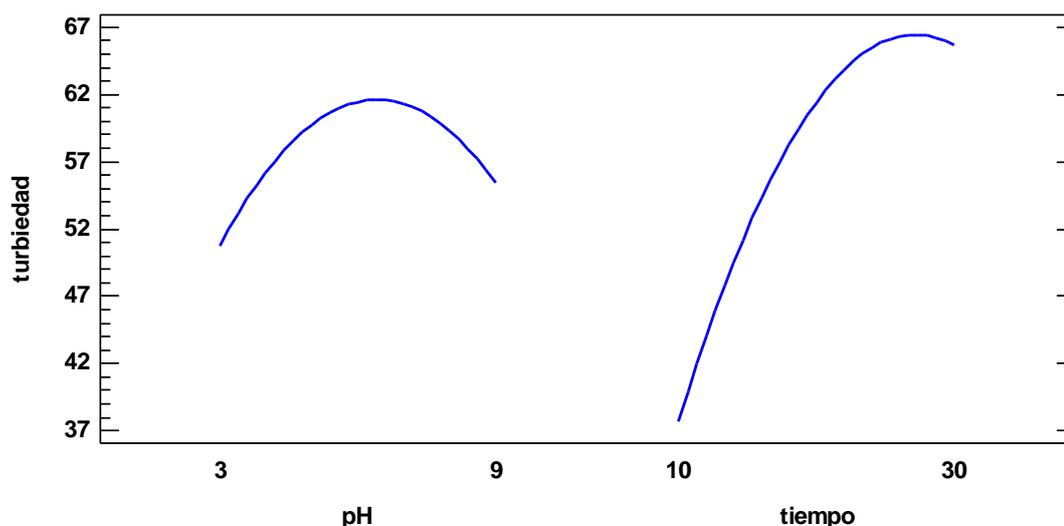


Figura 19. Grafica de efecto principal de pH y tiempo vs Turbiedad.

La interpretación de la superficie de respuesta, de la Figura 19 en cuanto a los colores del contorno están basadas de valores bajos de incidencia de valores altos, también se puede decir de frío a caliente, por lo cual el color azul oscuro presenta valores muy bajos, el color celeste presenta valores bajos, el color verde oscuro o claro presenta valores regulares a mas, el color naranjado presenta un valor alta y el color rojo presenta valores muy altos, las interpretaciones de contornos según el color y sus valores , se optimiza según el objetivo de las respuesta ya sea minimizar , manteniendo maximizar los valores según sea el caso de estudio (Auzoubel y Murr, 2003).

Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada

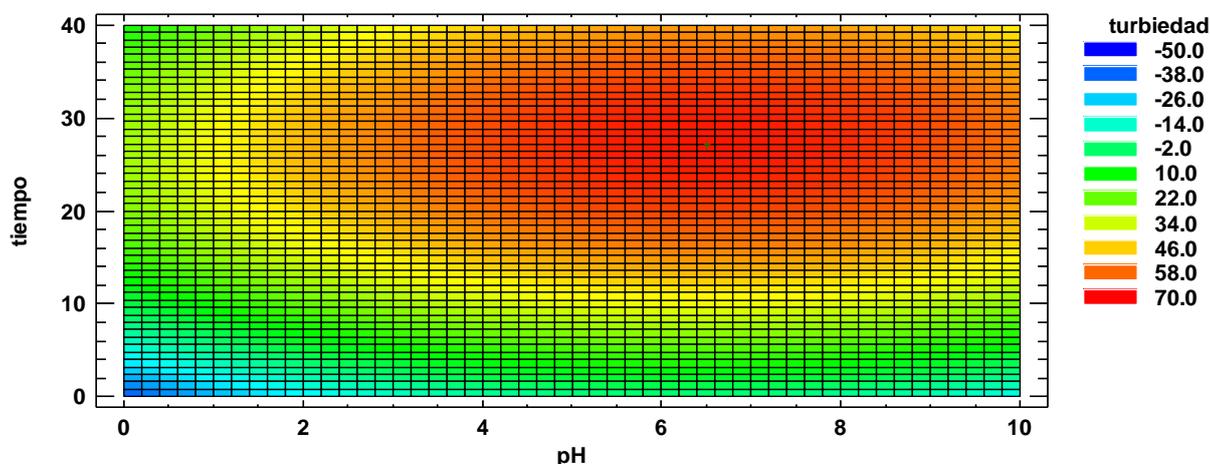


Figura 20. Contorno de superficie de efecto del pH y tiempo vs Turbiedad

Los p-valores comprueban la importancia estadística de cada uno de los factores, dado que 3 p-valores son inferiores a 0.05 tal como se muestra en el cuadro 10, estos factores tienen un efecto significativo en el porcentaje de remoción de DQO, para un nivel de confianza del 95%.

Cuadro 11. Análisis de Varianza de Turbiedad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>	<i>sign</i>
A:pH	41.2465	1	41.2465	1.32	0.2889	ns
B:tiempo	1563.98	1	1563.98	49.92	0.0002	**
AA	406.998	1	406.998	12.99	0.0087	***
AB	1.5625	1	1.5625	0.05	0.8297	ns
BB	668.266	1	668.266	21.33	0.0024	**
Error	219.329	7	31.3326			
Total	2806.66	12				

Fuente: elaboración propia, (2016).

$$R^2 = 92.1854 \%$$

En el cuadro 12, se muestra el análisis de varianza en el que se observa que el tiempo de residencia, tiene un efecto significativo en la disminución de la turbiedad, mientras que los factores de pH no son factores determinantes.

Para la determinación de los parámetros óptimos de pH y tiempo que proporcionen un nivel de disminución de Turbiedad (NTU), se derivó el modelo anterior en función a cada variable estudio (X_1 : pH y X_2 : tiempo de retención en electrocoagulación) y se resolvió las ecuaciones simultaneas, determinándose los siguientes valores presentados en el cuadro 12.

Cuadro 12. Optimización de Turbiedad

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
pH	1.75736	10.2426	6.50267
tiempo	5.85786	34.1421	27.2137

Optimizar Respuesta: Valor óptimo = 66.633%

Fuente: elaboración propia, (2016).

4.3. Comparación de Demanda Química de Oxígeno de lactosuero residual tratado por electrocoagulación respecto a las normas nacionales.

En el Cuadro 13 se presenta los resultados de la disminución de DQO por electrocoagulación, en donde se observa que la depuración de lactosuero residual fue de 267.0 mg/l que se encuentra dentro del rango de los Valores Máximos Admisibles de 1000mg/l, y superior a los ECAs de agua de 40mg/l, los Límites Máximos permisibles no indican ningún valor, sin embargo, con los valores determinados indican que la electrocoagulación es un tratamiento eficiente. Estos resultados son similares a lo reportado por: (Arango y Garcés, 2007). que la disminución de carga contaminante, superiores comportamiento en las remociones de DQO fueron del orden del 94 % y la de grasas y aceites del orden del 99 %, Esto de debido a que, las mejores remociones se han obtenido para valores de pH cercanos a 7. (Chen, Guohua; Chen, Xueming, and YUE, Po Lock. , 2000).(Huanca, 2015)

Una investigación realizada con las aguas residuales de los restaurantes de Hong Kong, las cuales fueron tratadas por electrocoagulación y electroflotación, mostró remociones de 99 % en grasas (Wiblbrett, 2000).

Cuadro 13. Comparación de resultados de electrocoagulación con normas nacionales

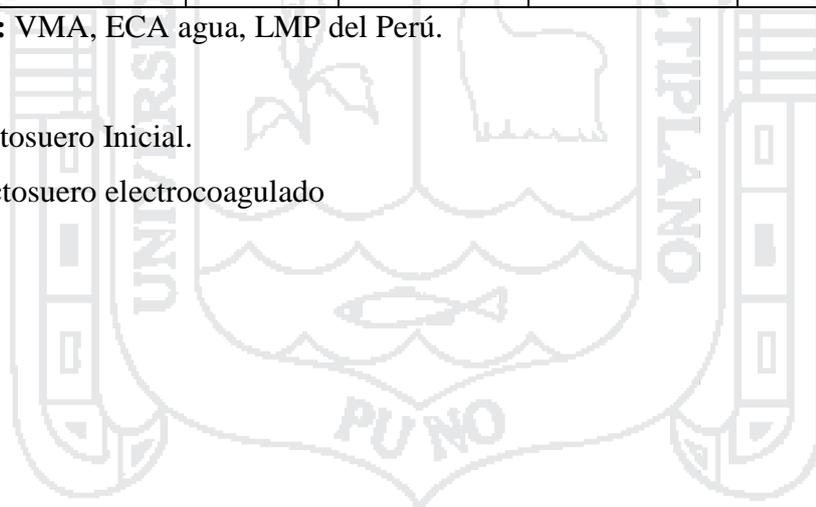
PARÁMETRO	Unidad	Li	LEC	LMP	ECA Agua	VMA
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	1264.85	267.0	---	40	1000
pH	--	4.8	5.8	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6-9
Sólidos Suspendidos Totales (S.S.T)	mg/L	---	---	---	---	500
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	300	150	---	1	100

Fuente: VMA, ECA agua, LMP del Perú.

Donde:

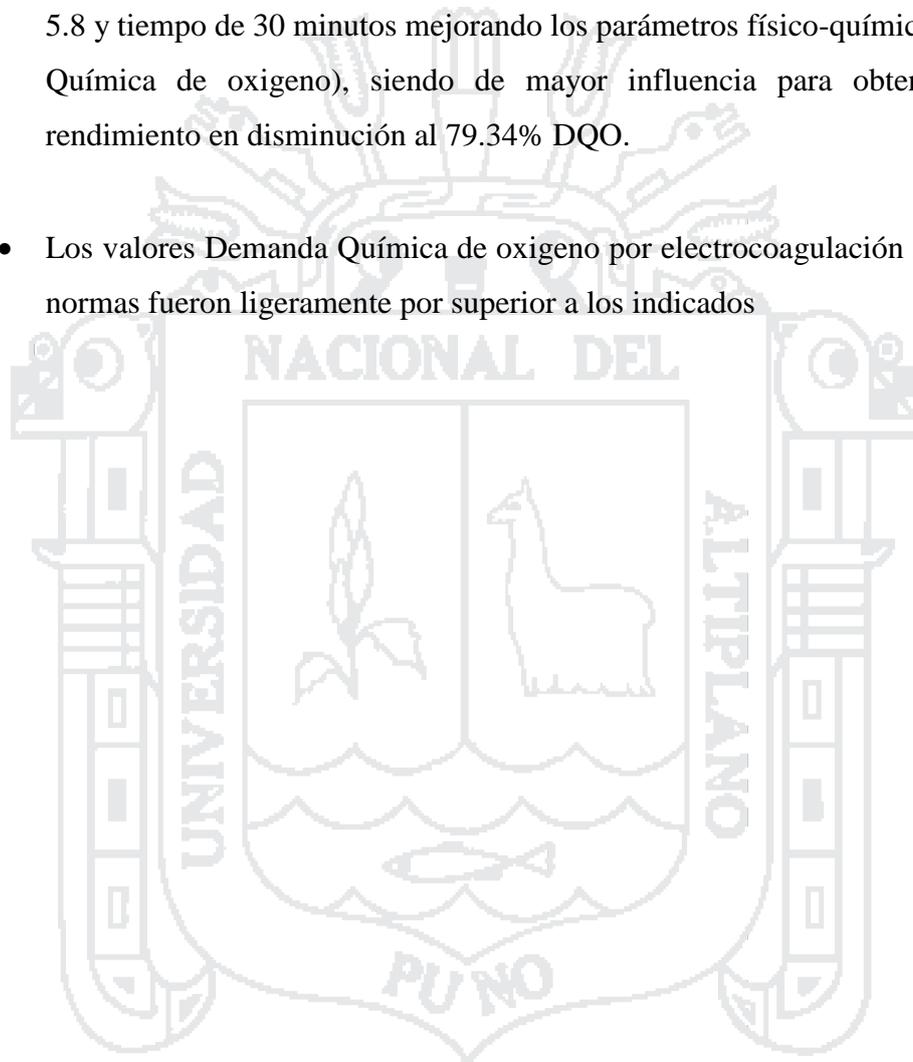
Li : lactosuero Inicial.

LEC: lactosuero electrocoagulado



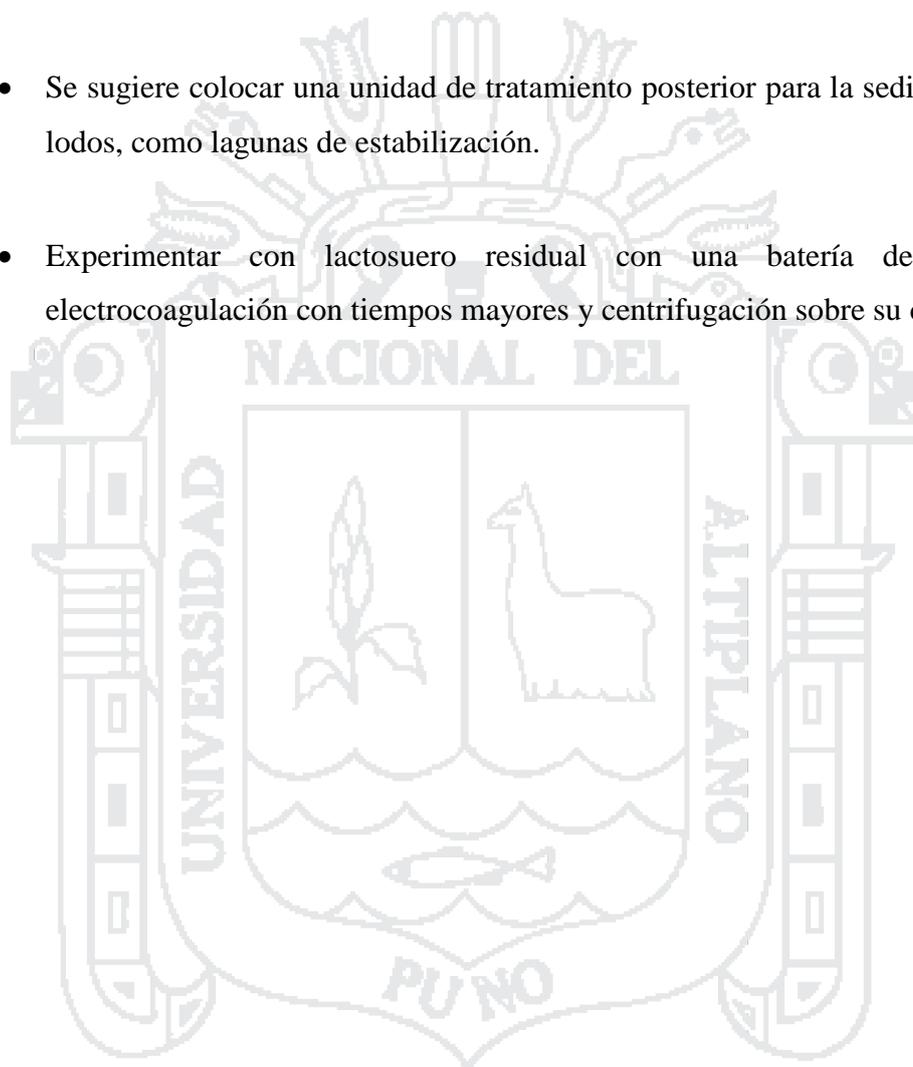
CONCLUSIONES

- La aplicación de proceso de electrocoagulación tuvo un efecto importante en la depuración del lactosuero, los máximos niveles de reducción de demanda química de oxígeno, El pH adecuado para la depuración de lactosuero residual es de pH 5.8 y tiempo de 30 minutos mejorando los parámetros físico-químicos (Demanda Química de oxígeno), siendo de mayor influencia para obtener el mejor rendimiento en disminución al 79.34% DQO.
- Los valores Demanda Química de oxígeno por electrocoagulación respecto a las normas fueron ligeramente por superior a los indicados



RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos similares con la utilización de aguas residuales de mataderos para estudiar los parámetros de electrocoagulación según su distribución geográfica y altitud (msnm).
- Se sugiere colocar una unidad de tratamiento posterior para la sedimentación de lodos, como lagunas de estabilización.
- Experimentar con lactosuero residual con una batería de equipo de electrocoagulación con tiempos mayores y centrifugación sobre su calidad final.



BIBLIOGRAFÍA

- Abaigar, A. (2009). El lactosuero en la alimentacion del ganado porcino. ITG Ganadero, 13-17. ISSN -948-5656.
- Aguilar, A. E. (2015). "Evaluacion de la eficiencia de uan celda de electrocoagulacion a escala de laboratorio para el tartamiento de agua. Tesis Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Lima, Perú: Facultad de Ingenieria Geologica, Minera,Metalurgica y Geografica.
- Aider,M; Halleux,D; D.And Melnikova,I. (2009). Skim acidic milk whey cryoconcentration and assesment of its functionalpropeties.
- Alcazar, d. C. (2002). Diccionario tecnico de Indsutrias Alimentarias. Peru: segunda Edicicon.
- Álvarez M, Rodolfo & Silvia Ponce (2013). Química (11a. ed. edición). México; Madrid [etc.]: MacGraw-Hill. ISBN 978-607-15-0928-4.
- Álvaro, A. R., y Garcés, G. L. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de agua residual .
- Alvaro, A. R., y Garcés, G. L. (2009). Influencia de la conductividad eléctrica en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. Influence of electric conductivity in the electro coagulation of waste water from dairy industries. 1 Grupo GAMA. Corporación Universitaria.
- APHA-AWWA-WPCF. (1992). Metodos Normalizados para Aguas potables y Residuales. Diaz de Santos S.A.
- Arango R. (2012) proyecto de investigación "Evaluación técnico-económica del uso de electrocoagulación en aguas residuales dela industria láctea", Corporación Universitaria La sallista, Artículo aprobado: 15/05/2012, Producción + Limpia - Enero - Junio de 2012. Vol.7, No.1 - 59•67.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (2014). Autoridad Nacional del Agua. boletin informativo Gestion de la Calidad del Agua. Lima, Peru: Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI.
- Arango, A. G. (2 de mayo-agosto de 2012). 3262-9418-1-PB.pdf. En N. 2. tecnologia quimica Vol XXXII, tecnologia quimica Vol XXXII,Nº 2 (págs. 202-213). Mexico.

- Arnaiz, C., & Lebrato, I. I. (2000). Tratamiento biológico de aguas residuales. Revista Tecnología del Agua, Marzo de 2000, 7.
- Arundel, J. (2008). tratamiento de aguas negras y efluentes industriales. España: Acribia S.A.
- Aymerich, S. (2000). conceptos para tratamiento de residuos lácteos. Costa Rica: P 12.
- Barnechea, A. (2004). tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida Manual I capítulo 1-4. Lima: CEPIS.
- Bayramoglu, Mahmut; et al (2004) Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. En: Separation and Purification Technology. Vol. 37.. p. 117-125.
- Ben-Hassan, R., & Ghaly, A. (1994). Continuous propagation of *Kluyveromyces fragilis* in cheese whey for pollution potential reduction Appl. En Appl. Biotechnol (págs. 89-105).
- Bermúdez L y et al (2015), Determinación del tiempo estándar, proceso de archivo, citado por Turnero I.
- Berk, N Kenneth, CAREY, Patrick. "Análisis de Datos". Ed. Thomson Learning, 1a Edición, pp. 311-312, 402-403, 2001.
- Bueno, A. (2007). "El diseño Factorial 2k y su optimización". En Recopilación de Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Perú.
- Casado, P. (1995). "Nuevas tecnologías de aprovechamiento del Lactosuero" Universidad Cantabria Santander. Santander España: uc.
- Castro de Esparza, M. I. (1995). procedimientos simplificados de Análisis de Aguas Residuales. Lima, Perú: OPS/CEPIS.
- Centro de Investigación del Agua, C. (2000). CENTRO DE INVESTIGACION DEL AGUA. lagunas de oxidación. Maracaibo-Venezuela, ciudad universitaria.
- Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL). Prevención de la contaminación en la industria láctea [on-line],[Citado en mayo de 2002]: http://www.medioambiente.gov.ar/ciPLYCS/documentos/archivos/Archivo_104.pdf
- Centro Peruano de Estudios Sociales, C. (2010). vida láctea. Producción de leche fresca enero 2010. Perú: Editado por la Asociación de Ganaderos Lecheros del Perú.

- Conde García, Erika, (2012). Evaluación del proceso de electrocoagulación sobre aguas de lavado con contenido de lactosuero, Universidad del Valle Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Química Cali, Colombia.
- Corwell, D. M. (1998). Introducción a la Ingeniería del Medio Ambiente. Nueva York: 3ra ed. MacGraw Hill.
- Cristancho, D., & Morales, N. J. (2010). Descripción del comportamiento de un prototipo para tratamiento electroquímico de aguas residuales industriales. Revista Academia y Virtualidad. Universidad militar. Nueva Granada, 125-136.
- Del Angel, J. A.; Hernández, J.; V.M.; Musule, R. (2009). Tratamiento de lactosueros. Diseño mediante la aplicación de un evaporador solar.
- Dockhorn, T. (2007). Stoffstrommanagement und Ressourcenökonomie in der kommunalen Abwasserwirtschaft, TU Braunschweig 74, ISSN 0934-9731.
- Foegeding, E. & Luck, P. (2002). Whey protein products. In B. Caballero, & P. Finglas, Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, Academic Press (págs. 1957-1960). New York.
- Grupo Tyspa, P. (2012). Nuevas tendencias del tratamiento, control y reutilización de efluentes industriales. Consultora Grupo Tyspa, 22.
- Hernández, L. (2011). Investigación sobre procesos avanzados de tratamiento de y depuración de aguas mediante electrocoagulación. Obtenido de investigación sobre procesos avanzados de tratamiento de y depuración de aguas mediante electrocoagulación:
http://oa.upm.es/7755/1/PABLO_SANTIAGO_HERNANDEZ_LEHMANN.pdf
- Hernández Callejas, Judith, García Prieto, Francisco, Cruz Reyes, Víctor E, Santillán Marmolejo, Yolanda & Marzo Méndez, María A. (2002) Caracterización físico-química de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo.
- Huanca, A. F. (2015). Efecto de electrocoagulación en las aguas residuales de las plantas queseras. Puno.
- Ibañez, V. (2005). "Guía central Compuesto con Estadística", Facultad de Ingeniería Estadística e Informática, UNA PUNO. Puno.
- INSTITUTO DEL AGUA Y MEDIO AMBIENTE. Manual de Curso Teórico –Práctico de Control de Calidad para Agua de Bebida – Lima 2007
- INSACAN, I. d. (1995). Contaminación en la industria láctea. Andalucía, Sevilla, España.

- Jaramillo Terán Enelio X.(2012), Diseño y construcción de un reactor de electrocoagulación para el estudio de tratamiento de agua residual de tintura y acabado textil, Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas carrera de Ingeniería Textil- Ibarra Ecuador.
- Jimeno Blasco; Enrique. Análisis de Aguas y Desagües. 2da Edición. Ediciones Banco de Libros. Dirección de Bienestar universitario. UNI
- Kerwick M. Reddy S. M., C. A. (2005). electrochemical disinfection, an environmental acceptable method of drinking water disinfection. ELECTROCHIMICA ACTA 50,5270-5277, (pág. 48). Madrid. Obtenido de http://oa.upm.es/7755/1/PABLO_SANTIAGO_HERNANDEZ_LEHMANN.pdf
- Ley de Aguas del Perú, (2002). LEY DE AGUAS DEL PERU. Lima.
- Lope, R. S. (2015). Reduccion de la demanda Quimica de Oxigeno de efluentes de Queseria mediante Biodigestor Anaerobico. Puno.
- Mackenzie, L. D. (2010). Ingenieria y Ciencias Ambientales. MEXICO: Mc Graw Hill.
- Madrid, V. A. (1999). Tecnología Quesera. Madrid, España: Mundi-prensa.
- Martínez Navarro, F. (2007). Tratamiento de aguas residuales Industriales mediante Electrocoagulación y coagulación convencional. Ciudad Real, Castilla-La Mancha: Universidad de Castilla-La Mancha, Facultad de Ciencias Químicas.
- Metclaf, Leonard H P Eddy. (1995). ingenieria de aguas residuales , tratamientos, vertidos, reutilización. caracas: 1ra Graw Hill vol.2.
- Ministerio de Agricultura. (2008). "Plan Regional de Desarrollo Ganadero de Puno al 2015 pag. 16. Puno, Puno, Perú.
- MINISTERIO SECRETARIA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. (2000). Decreto Supremo N°90, norma de emisión para la regulación de contaminantes asociadas a descargas de líquidos a aguas marinas y continentes superficiales. Gobierno de Chile: Santiago 21.
- Mollah, M. (2010). Electrocoagulación (EC) Science and applications. Journal of Hazardous materials, 29-41.
- Monge, 2004, "La naturaleza del agua como recurso. Perspectiva social, económica e institucional de una gestión integral", Congreso Ibérico sobre gestión y planificación del agua, Tortosa, diciembre, versión electrónica. Disponible en http://www.congreso.us.es/ciberico/archivos_acrobat/zaracomun5segura.pdf.

- Mouedhen, G., Feki, M., De Petris Wery, M., Ayedi, H. (2008). Behavior of aluminum electrodes in electrocoagulation process. *Journal of Hazardous Materials* 150
- ORGANIZACIÓN DE COOPERACIÓN Y DESARROLLO ECONOMICO, OCDE. (1999). Descripción de contaminantes. 87p. Francia
- ORGANISMO DE FISCALIZACIÓN AMBIENTAL, O. d. (abril de 2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Lima, Lima, Perú.
- Pérez Cuásquer Jacqueline 2015, Tratamiento de aguas residuales de la industria Textil mediante procesos Electroquímicos, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química. QUITO
- Perulactea. (25 de 10 de 2013). www.perulactea.com. Obtenido de <http://www.perulactea.com/2013/10/25/produccion-de-leche-en-puno-se-incremento-a-450000-litros-por-dia/>
- Piskulich, R. (2001). mercado peruano de lacteos. *Rev Inv Vet Perú* 2001; 12(2): 29-32, 4.
- POWELL WATER SYSTEMS, I. (16 de marzo de 2011). Powell electrocoagulation sustentable technology for the future. Obtenido de Powell watersystems inc. 2001 p.2-27: www.powellwater.com/data/technical%20manual.pdf
- Prieto, G. F., & Callejas, e. J. (2012). Electrocoagulación : una alternativa para depuración de lactosuero residual. *AIDIS*, vol.5, N° 3,6.
- Procontrol, S. (01 de MAYO de 2009). Procontrol Automatización y control de procesos. Obtenido de <http://www.procontrolsl.com/productos-patentados/proelec-sistema-de-tratamiento-de-aguas-por-electrocoagulation>
- Programa de Gestión de Efluentes, P. (2000). Programa de Gestión de efluentes. cooperativa Agrícola Lechera de Santiago (CALSA).
- Respreto, A., & Gl, A. A. (2006). La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Producción + Limpia*. 1(2) 58-77.
- Restrepo, M. A., Álvaro, A. R., & Garcés, G. L. (2007). La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Producción + Limpia* - Julio - Diciembre 2007 -Vol. 1 No. 2, 4-5.
- Riera, F, Álvarez. A & Muñiz. D. (2004). Avances en el fraccionamiento de proteínas del lactosuero no desnaturalizadas. *Alimentación: equipos y tecnología*, Vol 23, No 192 pp47-56.

- Rodríguez, 2003, Agua y Metrópoli: logrando la sustentabilidad, PUEC, UNAM, México, p.1.
- Romero, R. J. (1994). Tratamiento de Aguas Residuales Industriales. Escuela Colombiana de Ingeniería. Santa Fe, Colombia: 1ra edición Eci.
- Ronda, E. (2000). "El suero de quesería del ayer y el presente" Real Academia de Ciencias Veterinarias. España.
- Serway, Raymond A. "Electricidad y Magnetismo" Ed. Cengage Learning, 3a Edición, pp 141-150, 2005. ISBN 9706865381.
- Sipae y Ecuador, S. d. (2013). Producción campesina lechera en los países andinos: Dinámicas de articulación a los mercados. Quito Ecuador: Claire, A.; Hernández, M.; Lacroix, P.; Mafla, H.; Proaño, V.
- Trompette, J. V. (2009). on the crucial influence of some supporting electrolytes during electrocoagulation in the presence of aluminium electrodes,. Journal of hazardous materials 163, 1282-1288.
- Wiblbrett, G. (2000). Limpieza y desinfección en la industria alimentaria. Zaragoza: Acribia, 2000, 349p.
- Yilmaz, A. Erdem, Boncukcuoğlu, Recep, Kocakerim, M. Muhtar, Kocadağistan, Erdem, "An empirical model for kinetics of boron removal from boron-containing wastewater by electrocoagulation method in a batch reactor", Desalination, Vol. 230, pp. 288-297, 2008.
- Zamora, R (2011). Tecnología purgado seruma miksitan sistem uzante fiksian-elecho anaerobias anaerobia (tesis de grado). Universidad Tecnología de la Mixteca, Oaxaca.

ANEXOS

ANEXO 01

Cuadro 14. Resultado de análisis físico-químico del lactosuero residual

características	unidad	Lactosuero residual	Lactosuero tratado
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	69 200	267.0
pH	H ⁺ /OH ⁻	4.9	6.1
Conductividad Eléctrica	mS/cm	48.4	22.2
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	2850	1 800
Temperatura (°C)	°C	17	25
Turbiedad (NTU)	mg/l	531	80
Aceites y Grasas (A y G)	mg/l	11.5	0.6

Fuente: propia desarrollado en LCCS-FIQ. UNA PUNO 2016.

Cuadro 15. Valores promedio de los residuos acuosos de la industria láctea.

Constituyente	Rango	Media
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	450-4800	1885
DQO (mg O ₂ /L)	675-7200	2820
Sólidos en suspensión (mg/L)	24-5700	1500
Sólidos totales (mg/L)	135-8500	2400
pH	5.3-9.4	-
Grasas (mg/L)	35-500	209
Proteínas (mg/L)	210-560	350
Carbohidratos (mg/L)	252-930	522
Fósforo (mg/L)	11-160	50

Fuente: París, 2009

Cuadro 16. número de tratamientos para los factores en un DCC.

N° tratamientos	Factores Naturales		Factores Codificables	
	X ₁	X ₂	(pH)	(Tiempo =min)
1	-1	-1	6.0	20.0
2	+1	-1	6.0	20.0
3	-1	+1	3.0	10.0
4	+1	+1	6.0	20.0
5	0	0	6.0	35
6	0	0	9.0	10.0
7	0	0	2	20.0
8	0	0	6.0	6.0
9	0	0	10	20.0
10	-1.414	0	6.0	20.0
11	+1.414	0	9.0	30.0
12	0	-1.414	3.0	30.0
13	0	+1.414	6.0	20.0

Fuente: elaboración propia.2016.

Cuadro 17. Concentraciones Inicial y final de Demanda Química de Oxígeno.

Muestra	Concentración Inicial (mg/l)	concentración Final (mg/l)	%DQO
1	1536.52	405.33	73.62
2	1625.81	414.74	74.49
3	1945.87	1064.78	45.28
4	1648.26	426.40	74.13
5	1264.85	267.01	78.89
6	1568.25	849.05	45.86
7	2569.25	1328.8	48.28
8	2568.21	1481.60	42.31
9	1968.87	1033.85	47.49
10	2116.98	543.64	74.32
11	1899.67	705.35	62.87
12	2036.91	855.50	58.00
13	1356.30	350.89	74.13

Fuente: LCCS. Ing. Química UNA PUNO,2016

Cuadro 18. Resultados de DQO, Turbiedad y Grasas en porcentajes.

Muestra	codificación	pH	Tiempo (minutos)	% DQO	%Turbiedad (UNT)	%Grasa
1	M1	6.0	20.0	73.62	61.00	54.35
2	M2	6.0	20.0	74.49	61.71	66.67
3	M3	3.0	10.0	45.28	32.55	80.85
4	M4	6.0	20.0	74.13	61.50	36.96
5	M5	6.0	34.1421	78.89	66.60	33.33
6	M6	9.0	10.0	45.86	27.52	60.87
7	M7	2	20.0	48.28	38.98	32.61
8	M8	6.0	5.85786	42.31	20.40	72.34
9	M9	10	20.0	47.49	57.89	69.57
10	M10	6.0	20.0	74.32	61.18	27.47
11	M11	9.0	30.0	62.87	52.03	28.26
12	M12	3.0	30.0	58.00	54.56	26.09
13	M13	6.0	20.0	74.13	61.18	71.74

Cuadro 19. Coef. de regresión para DQO

Coeficiente	Estimado
constante	14.3821
A:pH	8.26764
B:tiemp	1.41125
AA	-0.56935
AB	-0.04625
BB	-0.0105708

Cuadro 20. Análisis de Varianza de grasas y aceites

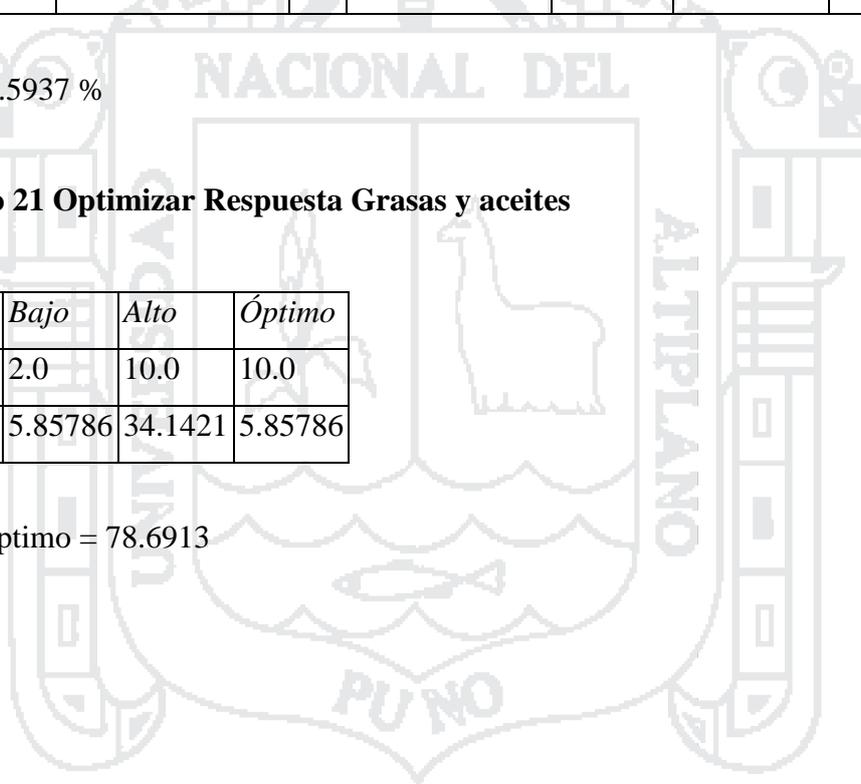
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>	<i>sign</i>
A:pH	1107.37	1	1107.37	5.86	0.0460	**
B:tiempo	851.577	1	851.577	4.51	0.0514	**
AA	388.164	1	388.164	2.05	0.1949	ns
AB	358.156	1	358.156	1.90	0.2110	ns
BB	238.882	1	238.882	1.26	0.2979	ns
Error	1322.68	7	188.954			
Total	4211.5	12				

$R^2 = 68.5937 \%$

Cuadro 21 Optimizar Respuesta Grasas y aceites

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
pH	2.0	10.0	10.0
tiempo	5.85786	34.1421	5.85786

Valor óptimo = 78.6913



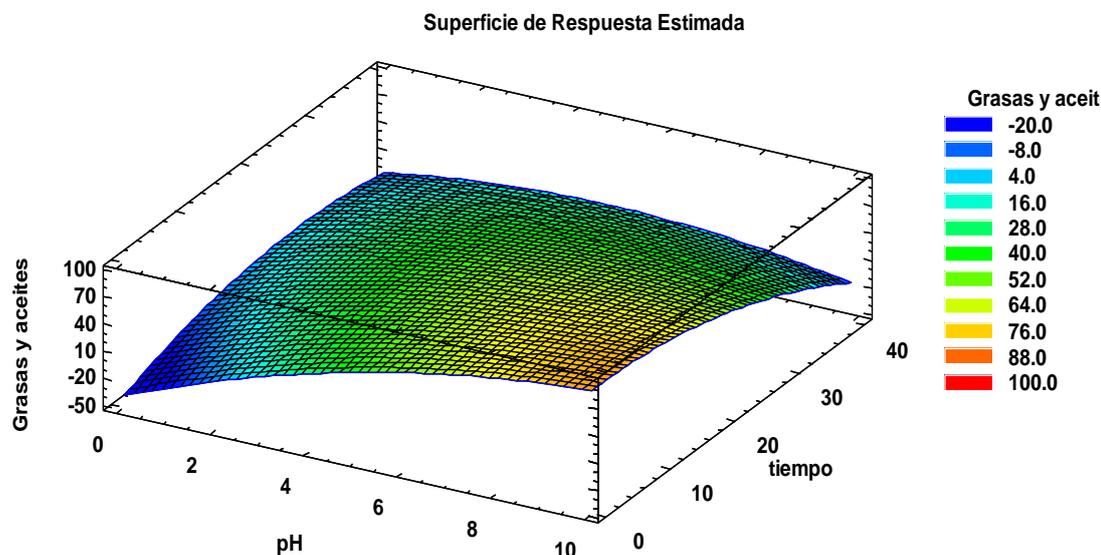


Figura 21. Grafica de Superficie de Respuesta del efecto pH y tiempo vs Grasas.

Gráfica de Efectos Principales para Grasas y aceites

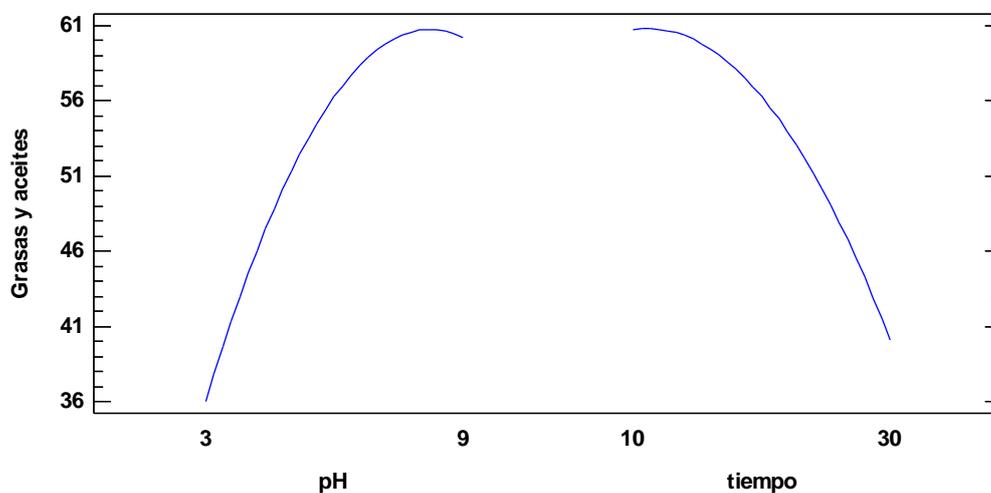


Figura 22. Grafica del efecto principal de pH y tiempo en la disminución Grasas.

Cuadro 22. Valores de variables intervinientes en celda de electrocoagulación.

Muestra	codificación	pH	Tiempo (minutos)	Conductividad eléctrica (mS/cm)	Intensidad de corriente (Amperios)	voltaje
1	M1	6.0	20.0	17	3	10
2	M2	6.0	20.0	17	3	10
3	M3	3.0	10.0	17	3	10
4	M4	6.0	20.0	17	3	10
5	M5	6.0	34.1421	17	3	10
6	M6	9.0	10.0	17	3	10
7	M7	2	20.0	17	3	10
8	M8	6.0	5.85786	17	3	10
9	M9	10	20.0	17	3	10
10	M10	6.0	20.0	17	3	10
11	M11	9.0	30.0	17	3	10
12	M12	3.0	30.0	17	3	10
13	M13	6.0	20.0	17	3	10

ANEXO 02

Resumen del método de Demanda Química de Oxígeno (DQO)

se basa en la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica, presente en las muestras de agua, con dicromato de potasio y ácido sulfúrico a ebullición (digestión). La cantidad de materia oxidable se mide como oxígeno equivalente y es proporcional al oxígeno consumido. Volúmenes pequeños de muestras de aguas son pipeteados dentro de frascos que contienen reactivos promedios, incluyendo catalizadores y compensadores de la interferencia de los cloruros. Los frascos son incubados hasta que la digestión es completa y entonces enfriados. La medición de DQO es realizado con un espectrofotómetro.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO): La determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) proporciona la cantidad de oxígeno requerida para oxidar bajo condiciones específicas, la materia orgánica susceptible de oxidarse contenida en una muestra de agua. Se expresa en mg/L de oxígeno y proporciona una medida de la cantidad de sustancias, bajo las condiciones en las que se efectúa esta prueba.

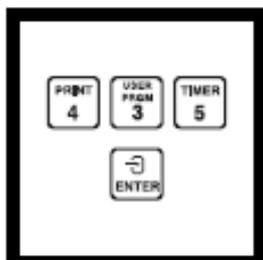


Figura 23.Espectrometro de Laboratorio de Ingeniería Química-UNA PUNO, 2016

- Espectrofotómetro: Instrumento usado en la física óptica que sirve para medir, en función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones.
- Gradilla: Soporte de Viales o tubos de ensayo
- Reactivos: Sustancias que se emplea para descubrir la presencia de otra.

- Reactor: Instrumento para calentar las muestras.
- Viales: frasquito destinado a contener reactivos medidos, realizar ensayos o reacciones y hacer lecturas en el espectrofotómetro.

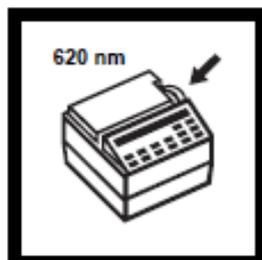
Determinación colorimétrica, 0 a 1500 y 0 a 15000 mg/l de DQO



1. Ingresar el número de programa almacenado para demanda química de oxígeno, alto rango.

Presionar: 4 3 5 ENTER

La pantalla mostrará:
Fijar nm par 620



2. Girar el cuadrante de longitud de onda hasta que la pantalla pequeña muestre:

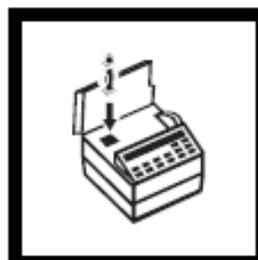
620 nm

Cuando se ajuste la longitud de onda correcta, en la pantalla aparecerá rápidamente:

Muestra cero

luego:

mg/LCOD HR



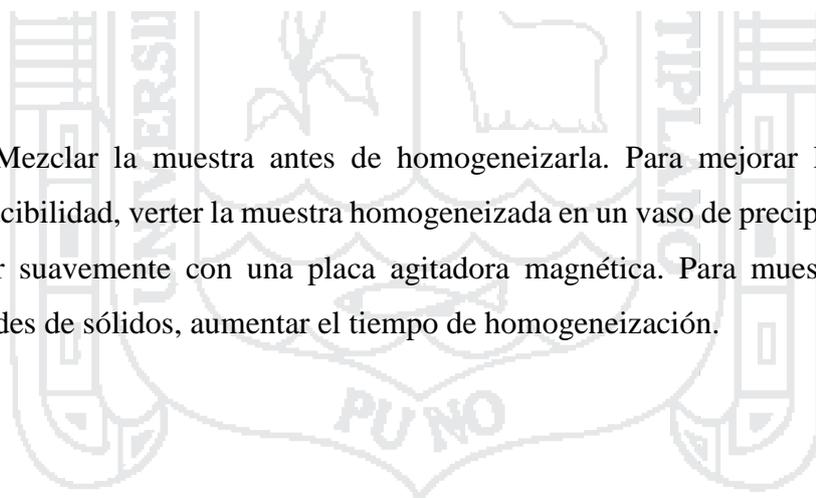
3. Colocar el adaptador para tubos de DQO en el soporte de celdas con el marcador hacia la derecha.

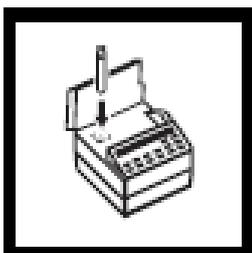


4. Limpiar la parte exterior del blanco con una toalla.

Nota: Limpiarla con una toalla húmeda seguida de una seca eliminará las huellas dactilares y otras marcas.

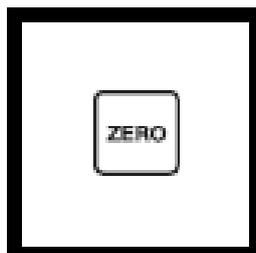
Nota: Mezclar la muestra antes de homogeneizarla. Para mejorar la exactitud y la reproducibilidad, verter la muestra homogeneizada en un vaso de precipitación de 250 ml y agitar suavemente con una placa agitadora magnética. Para muestras con grandes cantidades de sólidos, aumentar el tiempo de homogeneización.



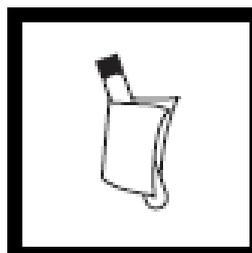


5. Colocar el blanco en el adaptador con el logotipo de Hach hacia el frente del instrumento. Colocar la tapa en el adaptador.

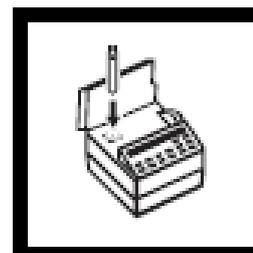
Nota: El blanco es estable cuando se almacena en la oscuridad; remitirse a Blancos para determinación colorimétrica a continuación de estos procedimientos.



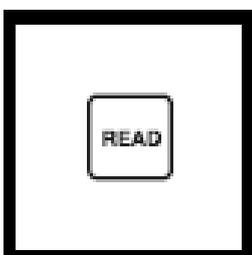
6. Presionar: ZERO
La pantalla mostrará:
Puesta a cero...
luego:
0 mg/L COD HR.



7. Limpiar la parte exterior del tubo de muestra con una toalla.



8. Colocar el tubo en el adaptador con el logotipo de Hach hacia el frente del instrumento. Colocar la tapa en el adaptador.



9. Presionar: READ

La pantalla mostrará:
Leyendo...
luego aparecerá el resultado en mg/l de DQO.

Nota: Al utilizar los tubos de reactivos para digestión DQO Plus para alto rango, multiplicar la lectura por 10.

Nota: Para obtener resultados óptimos con muestras cercanas a los 1500 ó 15000 de mg/l DQO, repetir el análisis con una muestra diluida.

ANEXO 03

Método de medición de pH-metro

El pH-metro es un sensor utilizado en el método electroquímico para medir el pH de una disolución. La determinación de pH consiste en medir el potencial que se desarrolla a través de una fina membrana de vidrio que separa dos soluciones con diferente concentración de protones. En consecuencia, se conoce muy bien la sensibilidad y la selectividad de las membranas de vidrio durante el pH.

Una celda para la medida de pH consiste en un par de electrodos, uno de calomel (mercurio, cloruro de mercurio) y otro de vidrio, sumergidos en la disolución de la que queremos medir el pH.

La varita de soporte del electrodo es de vidrio común y no es conductor, mientras que el bulbo sensible, que es el extremo sensible del electrodo, está formado por un vidrio polarizable (vidrio sensible de pH). Se llena el bulbo con la solución de ácido clorhídrico 0.1M saturado con cloruro de plata. El voltaje en el interior del bulbo es constante, porque se mantiene su pH constante (pH 7) de manera que la diferencia de potencial solo depende del pH del medio externo. El alambre que se sumerge al interior (normalmente Ag/AgCl) permite conducir este potencial hasta un amplificador.

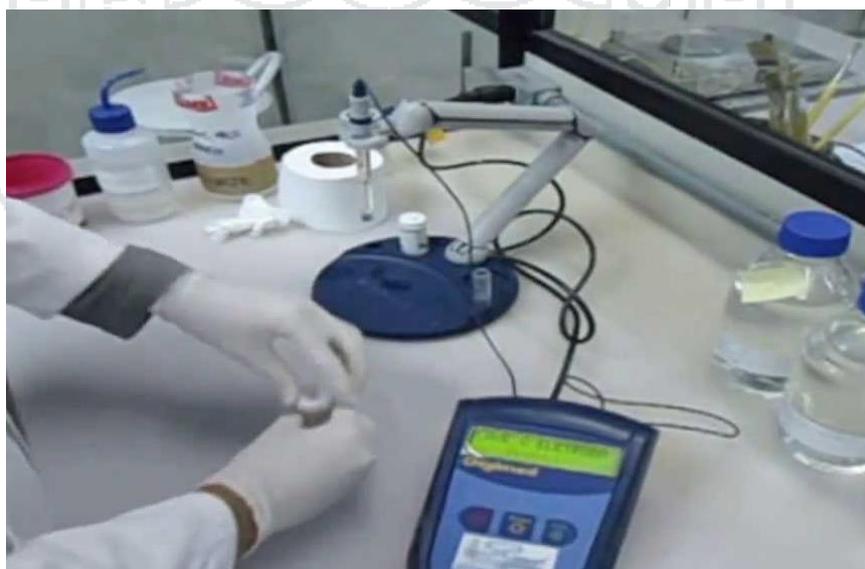


Figura 24. pH-metro de LCCS. de Ingeniería Química-UNA PUNO, 2016

ANEXO 04**A. Método de Medición de Grasas y Aceites**

Para la medición de grasas y aceites, se empleó el método Soxhlet (APHA, 2007).

Procedimiento:

- Acidular la muestra de 1 litro hasta pH 2 con HCl, en dilución 1:1.
- Filtrar con el filtro de muselina y vació hasta que no quede residuos, esto con el fin de evitar interferencias.
- Pasar el papel filtro a un vidrio de reloj que contenga sílice diatomeas empapado con disolvente, con el fin de disminuir interferencias.
- Colocar la muestra en el dedal de extracción de papel, Secar en horno a 103°C durante 30 minutos.
- Pesar el matraz de extracción. A
- Extraer la grasa y aceite en un equipo soxhlet, utilizando una mezcla de 80% MTBE y 20% n-Hexano a 20 ciclos/h durante 4 horas.
- Destilar el disolvente y recuperarlo.
- Pesar el matraz de extracción con la grasa y aceite. B
- Realizar un blanco con el solvente y el mismo tratamiento.

Cálculos:

$$mg_grasa_y_Aceite = \frac{(A - B) * 8000}{ml_muestra}$$



Figura 25. Digestor de L.C.C.S. de Ingeniería Química-UNA PUNO, 2016

b. Determinación de Turbiedad

Procedimiento

- presiona el botón PRGM, escoger turbidez
- presionar 95 ENTER en la pantalla de velara el valor NTU
- llenar una de las celdas con 25ml de agua destilada (blanco)
- colocar el blanco en lugar de la abrazadera y cubrirlo
- presionar ZERO, la pantalla mostrara 0 NTU.
- Echar 25 ml de muestra de lactosuero residual agitada en a celda (muestra)
- Colocar la muestra en un lugar de la abrazadera y cubrirlo
- Presionar READ, muestra el resultado de turbiedad NTU



Figura 26. Equipo HACH para medición de Turbiedad de L.C.C.S. de Ingeniería Química-UNA PUNO, 2016

ANEXO 05

Análisis de potencia.

Con el objetivo de determinar la potencia necesaria para remover el 80% de los contaminantes principales (DQO y grasas y aceites), es necesario realizar el tratamiento por 245 minutos, por lo tanto, es el tiempo utilizado para calcular el consumo de energía del proceso. (Serway, 2005).

$$P = V * I^2$$

Donde:

P: potencia, en kw.

V: voltaje, en voltios.

I: corriente, en Amperaje.

$$P = 10 \text{ v} * 3\text{A} = 30 \text{ kw.}$$

La potencia obtenida para el estudio cinético para las condiciones óptimas es de 30 kw, que representa un consumo de energía en el tiempo de 240 minutos (4 horas), de 120 kwh.

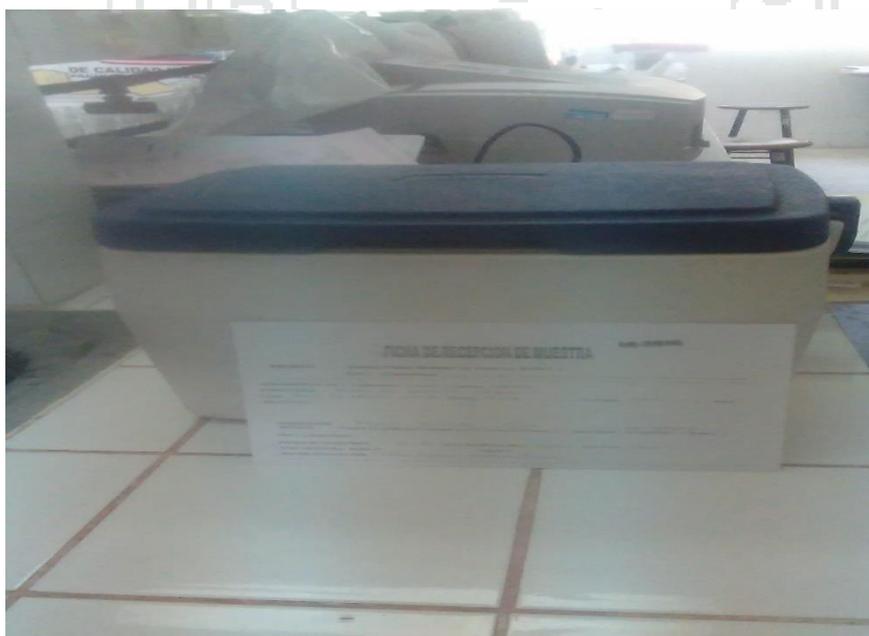
ANEXOS 06

Panel Fotográfico

Zona de vertimiento de aguas residuales a laguna de oxidación Huata



Coller con muestras de lactosuero residual



Equipo de electrocoagulación



Investigador realizando pruebas de Electrocoagulación



**Proceso de Electrocoagulación laboratorio de Control de calidad y saneamiento de
Ingeniería Química Una Puno**



Probetas con lactosuero Electrocoagulado



Probetas con lactosuero electro coagulado luego de sedimentación de 48 horas



Investigador realizando mediciones de tiempo



Tubos de ensayo con lactosuero Electrocoagulado luego de su sedimentación 72 horas



Equipo Espectrómetro para determinación de Turbiedad.



Análisis de Demanda Química de Oxígeno laboratorio Ing. Química Una Puno



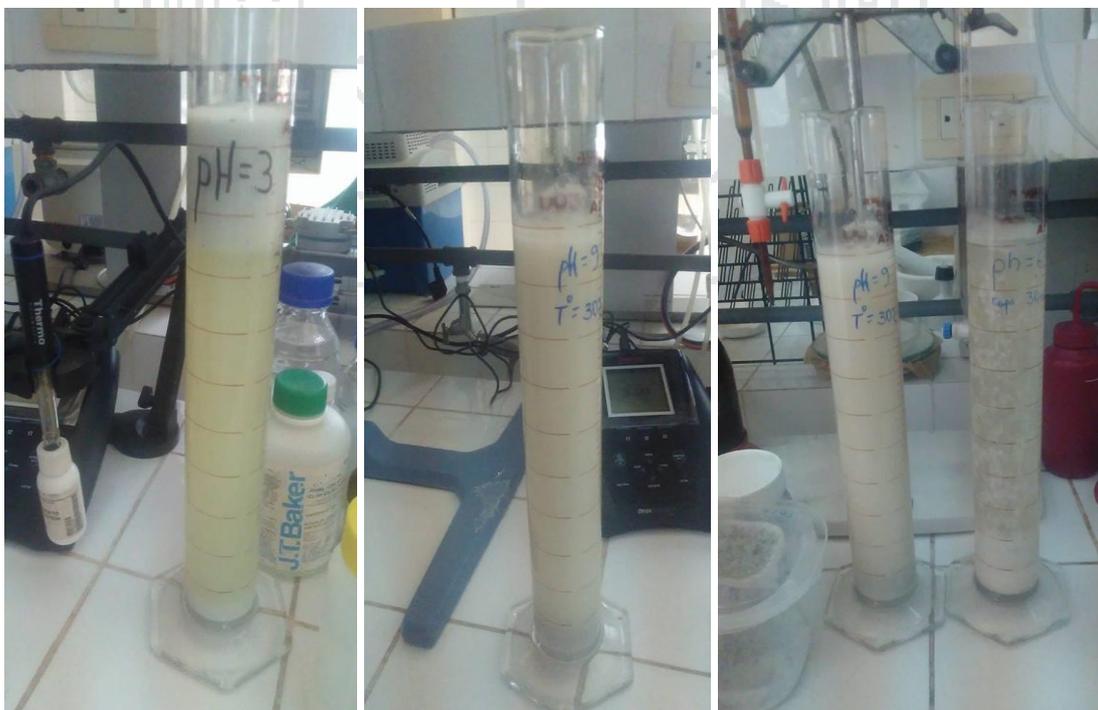
Foto de vertimiento de lactosuero salado impermeabilizando el suelo en localidad de santa Lucia



**Contenedor de salmuera para adición al procesamiento de quesos planta Eco lácteos
Huata**



Lactosuero luego del tratamiento de electrocoagulación



**Equipos de laboratorio Control de calidad y Saneamiento de ingeniería
Química UNA PUNO**



Digestor para DQO



decantación de grasas



Espectrómetro HACH 300 (turbiedad)



pH metro Orión star 2111

Muestras de lactosuero para medición de turbiedad

Muestras de lactosuero depurado luego de 30 minutos



Investigador realizando mediciones de tiempo y pH



Ensayos de laboratorio de control de calidad y saneamiento -Ingeniería Química Una Puno



ANEXOS 07

PARÁMETROS DE CALIDAD Y LÍMITES MÁXIMO PERMISIBLES

El agua potable, también llamada para consumo humano, debe cumplir con las disposiciones legales nacionales, a falta de éstas, se toman en cuenta normas internacionales. Los límites máximo permisibles (LMP) referenciales (**) para el agua potable de los parámetros que se controlan actualmente, se indican en el cuadro siguiente.

LÍMITES MÁXIMO PERMISIBLES (LMP) REFERENCIALES DE LOS
PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

PARÁMETRO	LMP	Referencia
Coliformes totales, UFC/100 mL	0 (ausencia)	(1)
Coliformes termotolerantes, UFC/100 mL	0 (ausencia)	(1)
Bacterias heterotróficas, UFC/mL	500	(1)
pH	6,5 – 8,5	(1)
Turbiedad, UNT	5	(1)
Conductividad, 25°C uS/cm	1500	(3)
Color, UCV – Pt-Co	20	(2)
Cloruros, mg/L	250	(2)
Sulfatos, mg/L	250	(2)
Dureza, mg/L	500	(3)
Nitratos, mg NO ₃ /L (*)	50	(1)
Hierro, mg/L	0,3	0,3 (Fe + Mn = 0,5) (2)
Manganeso, mg/L	0,2	0,2 (Fe + Mn = 0,5) (2)
Aluminio, mg/L	0,2	(1)
Cobre, mg/L	3	(2)
Plomo, mg/L (*)	0,1	(2)
Cadmio, mg/L (*)	0,003	(1)
Arsénico, mg/L (*)	0,1	(2)
Mercurio, mg/L (*)	0,001	(1)
Cromo, mg/L (*)	0,05	(1)
Flúor, mg/L	2	(2)
Selenio, mg/L	0,05	(2)

Notas:

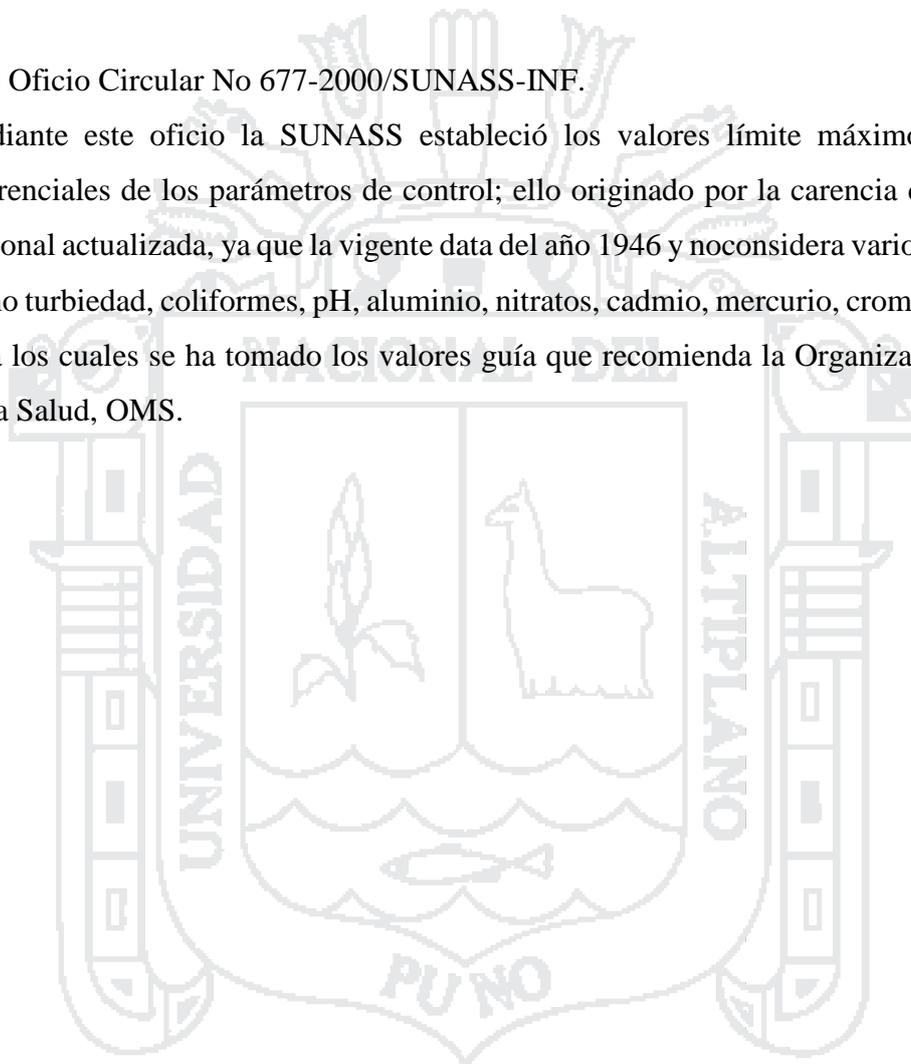
- (1) Valores tomados provisionalmente de los valores guía recomendados por la Organización Mundial de la Salud (1995)
- (2) Valores establecidos en la norma nacional “Reglamento de Requisitos Oficiales físicos, químicos y bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas potables”, aprobado por Resolución Suprema del 17 de Diciembre de 1946

(3) En el caso de los parámetros de conductividad y dureza, considerando que son parámetros que afectan solamente la calidad estética del agua, tomar como referencia los valores indicados, los que han sido propuestos para la actualización de la norma de calidad de agua para consumo humano especialmente para aguas subterráneas.

(*) Compuestos tóxicos.

(**) Oficio Circular No 677-2000/SUNASS-INF.

Mediante este oficio la SUNASS estableció los valores límite máximo permisibles referenciales de los parámetros de control; ello originado por la carencia de una norma nacional actualizada, ya que la vigente data del año 1946 y no considera varios parámetros, como turbiedad, coliformes, pH, aluminio, nitratos, cadmio, mercurio, cromo, entre otros: para los cuales se ha tomado los valores guía que recomienda la Organización Mundial de la Salud, OMS.



El Peruano

Lima, miércoles 17 de marzo de 2010



NORMAS LEGALES

415675

de impuestos o de derechos aduaneros de ninguna clase o denominación.

Artículo 5º.- La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

469446-6

AMBIENTE

Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

DECRETO SUPREMO
Nº 003-2010-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3º de la Ley Nº 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el numeral 32.1 del artículo 32º de la Ley General del Ambiente define al Límite Máximo Permissible - LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos,

que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33º de la Ley Nº 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplique el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7º del Decreto Legislativo Nº 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, establece como función específica de dicho Ministerio, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial Nº 121-2009-MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el año fiscal 2009 que contiene dentro de su anexo la elaboración del Límite Máximo Permissible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de fuentes domésticas;

Que el artículo 14º del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aprobado mediante Decreto Supremo Nº 019-2009-MINAM, establece que el proceso de evaluación de impacto ambiental comprende medidas que aseguren, entre otros, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental, los Límites Máximos Permisibles y otros parámetros y requerimientos aprobados de acuerdo a la legislación ambiental vigente; del mismo modo, en su artículo 28º el citado reglamento señala que, la modificación del estudio ambiental o la aprobación de instrumentos de gestión ambiental complementarios,

implica necesariamente y según corresponda, la actualización de los planes originalmente aprobados al emitirse la Certificación Ambiental;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118º de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11º de la Ley Nº 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1º.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)

Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

Artículo 2º.- Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.

- **Límite Máximo Permissible (LMP):** Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

- **Protocolo de Monitoreo:** Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.

Artículo 3º.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR

3.1 Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

3.2 Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.

3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

3.4 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

Artículo 4º.- Programa de Monitoreo

4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPI.

Artículo 5º.- Resultados de monitoreo

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

Artículo 6º.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.

Artículo 7º.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

Única.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en coordinación con el MINAM, aprobará el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de PTAR en un plazo no mayor a doce (12) meses contados a partir de la vigencia del presente dispositivo.

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

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales Suspensión	en mL/L	150
Temperatura	°C	<35

469446-2

Designan responsable de brindar información pública y del contenido del portal de internet institucional del Ministerio

RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº 036-2010-MINAM

Lima, 16 de marzo de 2010

CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Legislativo Nº 1013, se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

Que, la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, cuyo Texto Único Ordenado fue aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM, tiene por finalidad promover la transparencia de los actos del Estado y regular el derecho fundamental del acceso a la información consagrado en el numeral 5 del artículo 2º de la Constitución Política del Perú;

Que, el artículo 3º de la citada Ley, señala que el Estado tiene la obligación de entregar la información que demanden las personas en aplicación del principio de publicidad, para cuyo efecto se designa al funcionario responsable de entregar la información solicitada;

Que, asimismo, de acuerdo a lo previsto en el artículo 5º de la mencionada Ley, las Entidades Públicas deben identificar al funcionario responsable de la elaboración de los Portales de Internet;

Que, mediante Resolución Ministerial Nº 070-2008-MINAM, se designó a la señorita Cristina Miranda Beas, como funcionaria responsable de brindar información que demanden las personas, y responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet del Ministerio del Ambiente;

Que, por razones del servicio y considerando la renuncia al cargo que desempeñaba en el Ministerio del Ambiente

la servidora citada en el considerando precedente, resulta necesario designar al personal responsable de brindar información en el marco de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y responsable del Portal de Internet Institucional;

Con el visado de la Secretaría General y de la Oficina de Asesoría Jurídica; y

De conformidad con lo establecido en el Decreto Legislativo Nº 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente; el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM; y el Decreto Supremo Nº 007-2008-MINAM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

SE RESUELVE:

Artículo 1º.- Designar al abogado Hugo Milko Ortega Polar como Responsable de brindar la información pública del Ministerio del Ambiente y Responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet Institucional, de conformidad con el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM.

Artículo 2º.- Todos los órganos del Ministerio del Ambiente, bajo responsabilidad, deberán facilitar la información y/o documentación que les sea solicitada como consecuencia de lo dispuesto en el artículo precedente, dentro de los plazos establecidos en la normatividad vigente.

Artículo 3º.- Disponer que la presente Resolución se publique en el Diario Oficial El Peruano y en Portal de Internet del Ministerio del Ambiente.

Artículo 4º.- Notificar la presente Resolución a todos los órganos del Ministerio del Ambiente, al Órgano de Control Institucional y al responsable designado.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

469445-1

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Sub Categoría A. Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

Entiéndase como aquellas aguas, que por sus características de calidad reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

(...)

Sub Categoría B. Aguas superficiales destinadas para recreación

Son las aguas superficiales destinadas al uso recreativo, que en la zona costera marina comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea y que en las aguas continentales su amplitud es definida por la autoridad competente

(...)

Categoría 2: Actividades de Extracción y Cultivo Marino Costeras y Continentales

Sub Categoría C1. Extracción y cultivo de moluscos bivalvos en aguas marino costeras

(...)

Sub Categoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras

(...)

Sub Categoría C3. Otras Actividades en aguas marino costeras

Entiéndase a las aguas destinadas para actividades diferentes a las precisadas en las subcategorías C1 y C2, tales como infraestructura marina portuaria, de actividades industriales y de servicios de saneamiento.

Sub Categoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Entiéndase a los cuerpos de agua destinadas a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales

Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto.

Entiéndase como aguas utilizadas para el riego de plantas, frecuentemente de porte herbáceo y de poca longitud de tallo (tallo bajo), tales como plantas de ajo, lechuga, fresa, col, repollo, apio, arvejas y similares) y de plantas de porte arbustivo o arbóreo (tallo alto), tales como árboles forestales, frutales, entre otros.

Sub Categoría D2: Bebida de Animales.

(...)

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Están referidos a aquellos cuerpos de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento y que cuyas características requieren ser protegidas.

(...)

Sub Categoría E1: Lagunas y Lagos

Comprenden todas las aguas que no presentan corriente continua, de origen y estado natural y léntico incluyendo humedales.

Sub Categoría E2: Ríos

(...)

Sub Categoría E3: Ecosistemas Marino Costeros

(...)

Marino.- Entiéndase como zona del mar comprendida desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional."

(...)

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

OLLANTA HUMALA TASSO
Presidente de la República

JUAN MANUEL BENITES RAMOS
Ministro de Agricultura y Riego

MANUEL PULGAR-VIDAL OTALORA
Ministro del Ambiente

ROSA MARÍA ORTIZ RÍOS
Ministra de Energía y Minas

ANÍBAL VELÁSQUEZ VALDIVIA
Ministro de Salud

TABLA N° 01.- PARÁMETROS Y VALORES CONSOLIDADOS.

CATEGORÍA 1 - A

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que Pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Avanzado

FÍSICOS - QUÍMICOS

Aceites y grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Unidad de Color verdadero escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(uS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de origen antropogénico.		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de Material Flotante de origen antrópico	Ausencia de Material Flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Agua que Pueden ser potabilizadas con desinfección	Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Agua que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Avanzado
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
Hidrocarburos de petróleo emulsionado o disuelto (C10 - C28 y mayores a C28)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	(c)	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0,06	**	**
Compuestos Orgánicos Volátiles				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Agua que Pueden ser potabilizadas con desinfección	Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Agua que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Avanzado
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados:				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
DDT	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro - Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	Retirado
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamatos:				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
Policloruros Bifenilos Totales				
PCB's	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales (35-37°C)	NMP/100 ml	50	5 000	50 000
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
Vibrio cholerae	Presencia/100ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nematodos, en todos sus estadios evolutivos) (d)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

- (a) 100 (Para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural)
- (b) Después de la filtración simple
- (c) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

569080

NORMAS LEGALES

Sábado 19 de diciembre de 2015 / El Peruano

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{ECA_{\text{Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Cibromoclorometano}}}{ECA_{\text{Cibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Cromodiodoclorometano}}}{ECA_{\text{Cromodiodoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Cromoformo}}}{ECA_{\text{Cromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:
 C = Concentración en mg/L y
 ECA: Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodiodoclorometano)
 (d) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares.
 - **: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.
 - Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales salvo que se indique lo contrario.
 - Δ 3: variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multiannual del área evaluada

CATEGORÍA 1 – B

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas para recreación	
		B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS - QUÍMICOS			
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,06	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (5AAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de origen antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	10	**
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0.05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0.006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas para recreación	
		B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Totales (35-37°C)	NMP/100 ml	1000	4 000
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	200	1 000
Escherichia coli	E.coli /100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas parasitarias	N° Organismo/L	0	**
Giardia duodenalis	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
Salmonella sp	Presencia/100 ml	0	0
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

- UNT : Unidad Nefelométrica de Turbiedad
- NMP/100 ml : Número más probable en 100 ml
- **: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

CATEGORIA 2

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 2			
		AGUA DE MAR			AGUA CONTINENTAL
		Sub Categoría 1 (C1)	Sub Categoría 2 (C2)	Sub Categoría 3 (C3)	Sub Categoría 4 (C4)
		Extracción y Cultivo de Moluscos	Extracción y cultivo De otras Especies hidrobiológicas	Otras Actividades	Extracción y cultivo De otras Especies hidrobiológicas
FÍSICOS - QUÍMICOS					
Aceites y grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Unidad de Color verdadero escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de origen antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de Material Flotante	Ausencia de Material Flotante	Ausencia de Material Flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥4	≥3	≥2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,6 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	80	60	70	**

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 2			
		AGUA DE MAR			AGUA CONTINENTAL
		Sub Categoría 1 (C1)	Sub Categoría 2 (C2)	Sub Categoría 3 (C3)	Sub Categoría 4 (C4)
		Extracción y cultivo de Moluscos	Extracción y cultivo De otras Especies hidrobiológicas	Otras Actividades	Extracción y cultivo De otras Especies hidrobiológicas
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoniaco	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0062	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0061	0,0061	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0006
Zinc	mg/L	0,061	0,061	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos de Petróleo Totales (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
POLICLORUROS BIFENILOS TOTALES					
(PCB's)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	≤14 (área Aprobada)(c)	≤30	1 000	200
	NMP/100 mL	*≤88 (área restringida)(c)			

(a) 100 (Para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

- **: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales salvo que se indique lo contrario.

- Δ 3: variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

(1) Nitrógeno Amoniaco para Aguas Dulce :

Estándar de calidad de concentración del nitrógeno amoniaco en diferente pH y temperatura para la protección de la vida acuática (mg/L de NH3)

Temp (°C)	pH							
	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	10.0
0	231	73.0	23.1	7.32	2.33	0.749	0.25	0.042
5	153	48.3	15.3	4.84	1.54	0.502	0.172	0.034
10	102	32.4	10.3	3.26	1.04	0.343	0.121	0.029
15	69.7	22.0	6.98	2.22	0.715	0.239	0.089	0.026
20	48.0	15.2	4.82	1.54	0.499	0.171	0.067	0.024
25	33.5	10.6	3.37	1.08	0.354	0.125	0.053	0.022
30	23.7	7.50	2.39	0.767	0.256	0.094	0.043	0.021

Nota: Las mediciones de amoniaco total en el medio ambiente acuático a menudo se expresan en mg / L de amoniaco total -N. Los actuales valores de referencia (mg / L de NH3) se pueden convertir a mg/L de amoniaco total -N multiplicando el valor de referencia correspondiente por 0.8224. No recomendado pauta para las aguas marinas

CATEGORÍA 3

PARÁMETRO	UNIDAD	ECA AGUA: CATEGORIA 3	
		PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES	PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES
		D1: RIEGO DE CULTIVOS DE TALLO ALTO Y BAJO	D2: BEBIDA DE ANIMALES
FÍSICOS - QUÍMICOS			
Aceites y grasas	mg/L	5	10
Bicarbonatos	mg/L	518	**
Cianuro Wad	mg/L	0,1	0,1
Cloruros	mg/L	500	**
Color (b)	Color verdadero escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)
Conductividad	(uS/cm)	2 500	5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	40	40
Detergentes (SAAM)	mg/l	0,2	0,5
Fenoles	mg/l	0,002	0,01
Fluoruros	mg/l	1	**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/l	100	100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/l	10	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	4	5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1000	1000
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Bario	mg/L	0,7	**
Berilio	mg/L	0,1	0,1
Boro	mg/L	1	5
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Cobre	mg/l	0,2	0,5
Cobalto	mg/l	0,05	1
Cromo Total	mg/l	0,1	1
Hierro	mg/l	5	**
Litio	mg/l	2,5	2,5
Magnesio	mg/l	**	250
Manganeso	mg/l	0,2	0,2
Mercurio	mg/l	0,001	0,01
Níquel	mg/l	0,2	1
Plomo	mg/l	0,05	0,05
Selenio	mg/l	0,02	0,05

569082

NORMAS LEGALES

Sábado 19 de diciembre de 2015 / El Peruano

CATEGORIAS		ECA AGUA: CATEGORIA 3	
PARÁMETRO	UNIDAD	PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES	PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES
		D1: RIEGO DE CULTIVOS DE TALLO ALTO Y BAJO	D2: BEBIDA DE ANIMALES
Zinc	mg/l	2	24
PLAGUICIDAS			
Parathión	ug/l	35	35
Organoclorados			
Aldrin	ug/l	0,004	0,7
Clordano	ug/l	0,006	7
DDT	ug/l	0,001	30
Dieldrin	ug/l	0,5	0,5
Endosulfan	ug/l	0,01	0,01
Endrin	ug/l	0,004	0,2
Heptacloro y heptacloro epóxido	ug/l	0,01	0,03
Lindano	ug/l	4	4
CARBAMATO:			
Aldicarb	ug/l	1	11
POLICLORUROS BIFENILOS TOTALES			
Policloruros Bifenilos Totales (PCB's)	ug/l	0,04	0,045
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS			
Coliformes Totales (35-37°C)	NMP/100 ml	1 000	5 000
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	1 000	1 000
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	20	20
Escherichia coli	NMP/100 ml	100	100
Huevos y larvas de helmintos	Huevos/L	<1	<1

(a) para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural)
 (b) Después de Filtración Simple.

- **: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales salvo que se indique lo contrario.
 - Δ 3: variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multifanual del área evaluada.

CATEGORIA 4

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 4				
		E1: LAGUNAS Y LAGOS	E2: RÍOS COSTA Y SIERRA		E3: ECOSISTEMAS MARINO COSTERAS	
FÍSICOS - QUÍMICOS						
Aceites y grasa (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cenuro Total	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(uS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fosforo Total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco	mg/L	1,9	1,9	1,9	0,4	0,55
Nitrogeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	30

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 4				
		E1: LAGUNAS Y LAGOS	E2: RÍOS COSTA Y SIERRA		E3: ECOSISTEMAS MARINO COSTERAS	
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,61	1,6	0,61	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Niquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
I. Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos totales de petróleo HTPP	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antreceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
PLAGUICIDAS						
Organofosforados:						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Parathión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
ORGANOCLORADOS						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Sumado 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,000019	0,000019
Endosulfan	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,000087	0,000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,000023	0,000023
Heptacloro	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036
Heptacloro epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
CARBAMATO:						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,00015	0,00015	0,00015
POLICLORUROS BIFENILOS TOTALES						
(PCB's)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 mL	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

(a) 100 (Para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural)
 (b) Después de la filtración simple

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales salvo que se indique lo contrario.
 - **: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

NOTA GENERAL:

- Todos los parámetros que se norman para las diferentes categorías se encuentran en concentraciones totales, salvo se indique lo contrario

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.

- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1325630-1