



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



**REDUCCIÓN DE DQO Y DBO DE LACTOSUERO ÁCIDO DE
QUESO TIPO PARIA, MEDIANTE EL METODO DE
ELECTROCOAGULACIÓN**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. RICAR MECHILL MACHACA VARGAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios por iluminarme y darme este conocimiento y bendición a diario, que a lo largo de mi vida me proteja y me lleve por el camino del bien.

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mis padres, Ceferino Machaca y Susana Vargas y a mis hermanos y hermanas en especial a mi hermano Rene Machaca por apoyarme en uno de mis objetivos, porque ellos han dado razón a mi vida, por sus consejos, sus apoyos incondicionales y su paciencia, todo lo que hoy soy es gracias a ellos, pues sin ellos no lo había logrado.

Richard



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, a los docentes y compañeros por haber compartido sus conocimientos en mi formación profesional.

En segundo lugar, a mi asesor de tesis y jurados dictaminadores de tesis: M. Sc. Saire Roenfi Guerra Lima, D. Sc. Rosario Edely Ortega Barriga, Dr. Ronald Astete Tebes, Ing. Juan Quispe Ccama por sus constantes apoyos y recomendaciones durante el proyecto de investigación.

Al Lic. Oskar Villamar Valdivia por su apoyo incondicional, Ing. Rene Machaca Vargas, a todas las personas de mi contorno social y compañeros de estudio por sus buenos consejos y recomendaciones.

Richard



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ANEXOS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 13

ABSTRACT..... 14

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. INDUSTRIA LÁCTEA EN EL PERÚ..... 17

2.1.1. Producción anual de leche fresca en el Perú..... 17

2.1.2. Producción anual de queso fresco en el Perú..... 17

2.2. LACTOSUERO 18

2.2.1. Lactosuero dulce 18

2.2.2. Lactosuero ácido 19

**2.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LACTOSUERO DULCE Y LACTOSUERO
ÁCIDO** 19

2.3.1. La industria láctea y sus residuos 20

2.3.2. Eliminación anual de lactosuero 21

2.3.3. Contaminación del suelo..... 21

2.4. ELECTROCOAGULACIÓN 21

2.4.1. Reacciones principales..... 22

2.4.2. Partes básicas del sistema de electrocoagulación 23

2.5. FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN
..... 24

2.5.1. Densidad de corriente 24

2.5.2. Tiempo 24

2.5.3. pH 25



2.5.4. Temperatura	25
2.5.5. Arreglo de los electrodos	25
2.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ELECTROCOAGULACIÓN	26
2.6.1. Ventajas	26
2.6.3. Desventajas	27
2.7. ANTECEDENTES DE ELECTROCOAGULACIÓN DE LACTOSUERO ...	27
2.8. NORMATIVA NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE	28
2.8.1. Valores máximos admisibles	28
2.8.2. Normativa internacional	29
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. LUGAR DE EXPERIMENTACIÓN	30
3.2. MATERIAL EXPERIMENTAL.....	31
3.2.1. Materia prima.....	31
3.3. MATERIALES Y EQUIPOS.....	31
3.3.1. Materiales	31
3.3.2. Equipos	31
3.3.3. Reactivos.....	32
3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	32
3.4.1 Caracterización físico química de lactosuero ácido de queso Tipo Paria para la reducción de DQO y DBO.....	32
3.4.1.1 Determinación de DQO	32
3.4.1.2 Determinación de demanda bioquímica de oxígeno.....	33
3.4.1.3 Determinación de pH.....	33
3.4.1.4 Determinación de tiempo.....	33
3.4.1.5 Determinación de aceites y grasas	33
3.4.1.6 Determinación de turbiedad.....	34
3.4.2. Diseño y construcción del equipo de electrocoagulación.....	34
3.4.2.1 Elección del material de electrodos	35
3.4.2.2 Fuente de alimentación y voltaje	36
3.4.3 Análisis del efecto de electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido con agua destilada al 0, 10 y 20 % en la reducción de DQO y DBO.	38
3.4.3.1 Muestreo de lactosuero ácido	38
3.4.3.2 Almacenamiento:	38



3.4.3.3 Dilución de agua destilada a 0, 10 y 20 %	38
3.4.3.4 Electrocoagulación	38
3.4.3.5 Filtrado.....	39
3.4.3.6 Variable de respuesta	39

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL LACTOSUERO ÁCIDO DE QUESO TIPO PARIÁ PARA LA REDUCCIÓN DE DQO Y DBO.	40
4.1.1 Medición de parámetros de turbiedad, pH, aceite y grasa antes de la electrocoagulación	41
4.1.2 Caracterización de turbiedad, aceite, grasa y pH en el lactosuero ácido de queso Tipo Paria con agua destilada al 0, 10 y 20 % y tiempo 20, 30 y 40 min.	42
4.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE ELECTROCOAGULACIÓN A ESCALA DE LABORATORIO	49
4.3. EFECTO DE ELECTROCOAGULACIÓN DE LACTOSUERO ÁCIDO DE QUESO TIPO PARIÁ DILUIDO CON AGUA DESTILADA AL (0, 10 Y 20 %) EN LA REDUCCIÓN DE DQO Y DBO.	50
4.3.1. Medición de parámetros fisicoquímicos de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido con agua destilada al (0, 10 y 20 %) en la reducción de DQO y DBO	50
4.4. EFECTO DE ELECTROCOAGULACIÓN DE LACTOSUERO ÁCIDO DE QUESO TIPO PARIÁ CON TRES VARIABLES DE TIEMPO DE (20, 30 Y 40 MIN) EN LA REDUCCIÓN DE DQO Y DBO.....	57
4.5 EFECTO DE ELECTROCOAGULACIÓN DE LACTOSUERO ÁCIDO DE QUESO TIPO PARIÁ CON AGUA DESTILADA (0, 10 Y 20 %) Y TIEMPO DE (20, 30 Y 40 MIN) EN LA REDUCCIÓN DE DQO.....	62
V. CONCLUSIONES.....	66
VI. RECOMENDACIONES	67
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
ANEXOS.....	73

Área : Ingeniería y Tecnología.

Tema : Seguridad, Gestión y Control en Agroindustrias.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 05 de noviembre de 2021.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de electrocoagulación con ánodo de aluminio y cátodo de hierro.....	22
Figura 2. Arreglo monopolar conectado en paralelo	26
Figura 3. Arreglo monopolar conectado en serie.....	26
Figura 4. Ubicación de la planta industrial de procesamiento de derivados lácteos Huata	30
Figura 5 . Equipo de Electrocoagulación.....	34
Figura 6. Electrodo de hierro	35
Figura 7. Electrodo de aluminio	36
Figura 8. Fuente de alimentación.....	37
Figura 9. Parámetros de DQO y DBO antes de la electrocoagulación	40
Figura 10. Medición de turbiedad, aceite, grasa y pH antes de la electrocoagulación ...	41
Figura 11. Factor de agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de turbiedad de lactosuero ácido de queso Tipo Paria.	44
Figura 12. Factor de agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de aceite y grasa de lactosuero ácido de queso Tipo Paria.	46
Figura 13. Factor de agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de pH de lactosuero ácido de queso Tipo Paria.	48
Figura 14. Equipo de electrocoagulación para el tratamiento de lactosuero ácido de queso Tipo Paria	49
Figura 15. Demanda Química de Oxígeno por el porcentaje de agua destilada.....	51
Figura 16. Porcentaje de reducción después de la electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido con agua destilada.	53
Figura 17. Demanda Bioquímica de Oxígeno con respecto al porcentaje de agua destilada	54



Figura 18. Porcentaje reducción de DBO después de la electrocoagulación de lactosuero de queso tipo paria diluido con agua destilada.....	56
Figura 19. DQO por el tiempo de electrocoagulación	57
Figura 20. Porcentaje reducción de DQO después de la electrocoagulación de lactosuero de queso Tipo Paria diluido respecto al tiempo de evaluación.	59
Figura 21. DBO por el tiempo de electrocoagulación	60
Figura 22. Porcentaje reducción de DBO después de la electrocoagulación de lactosuero de queso Tipo Paria diluido respecto al tiempo de evaluación	61
Figura 23. Factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de DQO	63
Figura 24. Factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de DBO	65



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Producción anual de queso fresco en el Perú	18
Tabla 2.	Composición de lactosuero dulce y lactosuero ácido.....	20
Tabla 3.	Valores promedios de lactosuero	21
Tabla 4.	Valores máximos admisibles para descargar al sistema de alcantarillado.	29
Tabla 5.	Valores recomendables en el efluente de la industria láctea	29
Tabla 6.	Parámetros de DQO y DBO antes de electrocoagulación.....	40
Tabla 7.	Parámetros de, turbiedad, aceite, grasa y pH antes de la electrocoagulación	41
Tabla 8.	Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de turbiedad de lactosuero ácido de queso Tipo Paria.....	43
Tabla 9.	Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de aceite y grasa de lactosuero ácido de queso Tipo Paria ...	45
Tabla 10.	Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de pH de lactosuero ácido de queso Tipo Paria.	47
Tabla 11.	Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada sobre su efecto en la reducción de DQO.....	51
Tabla 12.	Porcentaje reducción después de la electrocoagulación de lactosuero de queso Tipo Paria diluido con agua destilada	52
Tabla 13.	Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor Agua destilada sobre su efecto en la reducción de DBO.....	54
Tabla 14.	Porcentaje reducción de DBO después de la electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido con agua destilada.	55
Tabla 15.	Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor tiempo sobre su efecto en la reducción de DQO	57



Tabla 16. Porcentaje reducción de DQO después de la electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido respecto al tiempo de evaluación.....	58
Tabla 17. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor tiempo sobre su efecto en la reducción de DBO.....	60
Tabla 18. Porcentaje de reducción de DBO después de la electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido respecto al tiempo de evaluación.....	61
Tabla 19. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de DQO.	63
Tabla 20. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de DBO.	64



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Equipo para la obtención de la DBO.....	73
Anexo 2. Lactosuero ácido de queso Tipo Paria	73
Anexo 3. Equipo para la obtención de aceites y grasas	74
Anexo 4. Equipo para obtención de la turbiedad.....	74
Anexo 5. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 2.....	75
Anexo 6. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 2.....	76
Anexo 7. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 2.....	77
Anexo 8. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 2.....	78
Anexo 9. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 1	79
Anexo 10. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 1	80
Anexo 11. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 1	81
Anexo 12. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 1	82
Anexo 13. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 3.....	83
Anexo 14. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 3.....	84
Anexo 15. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 3.....	85
Anexo 16. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 3.....	86



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

DQO: Demanda Química de Oxígeno

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

NTU: Unidad Nefelometría de Turbidez

A: Amperio

V: Voltaje

VMA: Valores Máximos Admisibles

LMP: Límites Máximos Permisibles

EC: Electrocoagulación

pH: Potencial Hidrógeno

A y G: Aceites y Grasas

I: Intensidad de corriente eléctrica



RESUMEN

En este trabajo de investigación se estudió los parámetros fisicoquímicos de lactosuero ácido de queso Tipo Paria por el método de electrocoagulación, por ello, el objetivo fue disminuir la DQO y DBO de lactosuero ácido de queso Tipo Paria mediante celdas de electrocoagulación. La metodología que se aplicó para la disminución de DQO y DBO, consistió en hacer pasar una corriente eléctrica directa a través de dos electrodos que son aluminio y hierro. El reactor tiene una capacidad de 9 litros; se utilizó acrílico transparente para la fabricación de la celda, los electrodos empleados fueron puestos en paralelo, con un distanciamiento de 1cm entre placas. Los resultados se analizaron bajo un diseño completamente al azar (DCA), acondicionado para un experimento factorial de dos factores tiempo y dilución, con 3 repeticiones por cada ensayo, obteniendo en total 27 unidades experimentales. Las características fisicoquímicas indican los niveles de DQO y DBO que son de 3000 y 2670 mg/L respectivamente; entre otros la turbiedad 1100 NTU; aceite y grasa 290 mg/L y un pH 4.11. Para el DQO el de mayor eficacia es la muestra en agua destilada al 20 % y con un tiempo de 40 min que obtuvo una reducción de 75.79 %, también para DBO el mayor porcentaje de reducción se logra con agua destilada al 20 % y con un tiempo de 40 min obteniendo una reducción de 65.68 %. Llegando a la conclusión de que el tiempo y la dilución de agua destilada influyen en los tratamientos realizados, por lo tanto el uso del proceso de electrocoagulación puede ser utilizado para la reducción de DQO y DBO de lactosuero ácido de queso Tipo Paria.

Palabras Clave: Electrocoagulación, contaminación, fisicoquímicas, lactosuero, reducción.



ABSTRACT

The physicochemical parameters of Paria acid whey type cheese were studied by electrocoagulation method in this research work. The objective of this was to decrease the Chemical Oxygen Demand and Biological Oxygen Demand of Paria acid milk whey type cheese using electrocoagulation cells. The methodology that was applied for the reduction of Chemical Oxygen Demand and Biological Oxygen Demand consisted of passing a direct electric current through two aluminum and iron electrodes. The reactor has a capacity of 9 liters; Transparent acrylic was used to manufacture the cell, the electrodes used were placed in parallel, with a distance of 1cm between plates. The results were analyzed under a Completely Random Design (DCA), conditioned for a factorial experiment of two factors time and dilution with 3 repetitions for each test, obtaining a total of 27 experimental units. The Physicochemical characteristics indicate Chemical Oxygen Demand and Biological Oxygen Demand levels are 3000 and 2670 mg / l respectively; the Turbidity 1100 NTU; Oil and fat 290 mg / l and a PH of 4.11 among others. For Chemical Oxygen Demand and therefore the one with the highest efficiency is the sample of 20% distilled water with 75.79 % reduction, also for Chemical Oxygen Demand the highest reduction percentage is achieved with 20 % distilled water with 65.68 %, the greater reduction percentage is 67.17 % at 40 min; Biological Oxygen Demand at 40 min results in a reduction percentage of 62.97 %.

Key Words: Electrocoagulation, contamination, physicochemical, whey, reduction.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La pequeña industria quesera en la región Puno genera cantidades significativas de efluentes líquidos, mayormente leche diluida, leche separada y lactosuero ácido, incluyendo grasas, aceites, sólidos suspendidos y nitrógeno, el lactosuero como subproducto representa el 80 % a 90 % del volumen de la leche procesada. (Humpire, 2017). La descarga de este líquido a ríos y suelos sin tratamiento previo se convierte en un foco contaminante, es así como el tratamiento de electrocoagulación, se considera una alternativa de proceso para colaborar con la protección del medio ambiente (Manrique, 2018). La causa actualmente es que muchas empresas no emplean sistemas de tratamiento por falta de gestión de los residuos; a pesar de que existen tecnologías para aprovechar el lactosuero ácido (Apaza, 2018), así mismo muchas empresas no optan por implementar porque la mayoría son micro empresas y resulta un costo elevado; por lo que optan a desechar estos residuos a ríos, suelos y alcantarillados. (López y *et al*, 2016). El efecto de este mal manejo de lactosuero ácido traerá serios problemas en el futuro, dando una infertilidad y poca producción en suelos y ríos, ya que al desechar reduce el oxígeno que es el vital elemento para que respiren los seres vivos (Minagri, 2017); Donde al electrocoagular y construir un equipo eficiente para el proceso de electrocoagulación el lactosuero ácido de queso Tipo Paria tendrá una disminución en la DQO y DBO, y así enfrentar este problema en la contaminación del medio ambiente. (Prakasj & Chandra, 2010). La aplicación de un sistema no convencional para remover los contaminantes de aguas residuales industriales y domésticas (Şengil y *et al*, 2006) es necesario para evaluar la disminución de la DQO y DBO de lactosuero ácido de queso Tipo Paria porque presenta valores altos en la DQO y DBO, en el cual viene convirtiéndose en un problema;



al no encontrar un tratamiento adecuado para el lactosuero ácido (Aguilar, 2015), y teniendo en cuenta que los tratamientos existentes son costosos y carecen el alcance de la pequeña industria de la región Puno. La problemática descrita, uno de los métodos no tradicionales pero efectivos es el método de electrocoagulación, es una tecnología de poca aplicación en el Perú, que tiene como ventaja de no usar coagulantes como el sulfato de aluminio, así como polímeros sintéticos los cuales encarecen los costos del tratamiento. (López, 2016). En esta investigación se busca plantear una alternativa para el adecuado manejo de lactosuero ácido, que pueda estar al servicio de los productores con menores costos y facilidad en su manejo (Barrera, 2014), evitando así que el lactosuero ácido sea vertido a ríos y suelos, de manera que se pueda contribuir con la preservación del medio ambiente (Madhusudhan y *et al*, 2015), disminuyendo los niveles de contaminación ambiental producido por esta actividad económica que viene surgiendo en la región Puno, consiguiendo así un desarrollo sostenible con una producción más amable con el medio ambiente. (Arango, 2007).

Los objetivos son:

- Caracterizar físico químicamente el lactosuero ácido de queso Tipo Paria para la reducción de DQO y DBO.
- Diseñar y construir un equipo de electrocoagulación a escala de laboratorio.
- Analizar el efecto de electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido con agua destilada al 0, 10 y 20 % en la reducción de DQO y DBO.
- Analizar el efecto de electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria con tres variables de tiempo de 20, 30 y 40 min.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. INDUSTRIA LÁCTEA EN EL PERÚ

La industria láctea es un sector que genera importantes recursos económicos en el Perú. Así, a partir de la leche, se puede elaborar otros productos lácteos, como pueden ser el yogur, queso y la mantequilla (Minagri, 2017).

2.1.1. Producción anual de leche fresca en el Perú

De acuerdo al IV Censo Nacional Agropecuario del año 2012, la población de ganado bovino totalizó 5.2 millones de cabezas, de las cuales 2.0 millones corresponden a vacas, que representan el 39.8 % del total de la población bovina. Según el propósito de crianza, el 74.8 % de la población de vacas está orientada únicamente a la producción de leche, la misma que es generada por ganado criollo (63.0 % del total de vacas) y ganado de raza Holstein (11.8 % del total de vacas) (Minagri, 2017).

2.1.2. Producción anual de queso fresco en el Perú

Según la Asociación de Ganaderos del Perú, la producción de queso fresco en el Perú tiene la tendencia a seguir incrementándose su producción de acuerdo al cuadro descrito a continuación (Minagri, 2017).

Tabla 1. Producción anual de queso fresco en el Perú

Producción anual de queso fresco (Tn)													
Año	Ene	Febre	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2000	-	-	-	164	183	184	176	212	199	194	211	181	1704
2001	166	166	172	173	174	171	155	158	172	190	185	185	2067
2002	200	189	225	225	213	216	203	212	201	197	212	249	2542
2003	200	191	235	212	189	195	269	181	238	345	216	263	2734
2004	344	330	335	321	286	337	330	342	351	341	355	363	4035
2005	369	376	330	297	326	304	298	291	297	307	286	310	3791
2006	313	315	332	312	323	319	325	346	356	365	360	372	4038
2007	339	369	339	388	377	407	394	413	378	412	585	442	4843
2008	548	482	628	629	645	649	644	625	643	666	611	644	7414
2009	506	512	554	542	545	512	412	397	416	396	416	398	5606
2010	433	398	501	449	444	458	437	420	448	491	460	472	5411
2011	535	528	558	534	506	465	453	498	673	532	490	560	6332
2012	561	671	485	466	470	484	472	475	450	478	489	484	5986
2013	455	447	484	465	465	473	486	477	455	801	456	452	5915
2014	502	495	527	529	503	466	514	472	480	518	501	502	6011
2015	523	507	535	544	549	555	545	527	539	562	557	531	6474
2016	563	555	585	598	525	583	537	541	511	560	550	556	6664

Fuente: (Minagri, 2017)

2.2. LACTOSUERO

El lactosuero es definido como la sustancia líquida obtenida por separación de coágulo de leche en la elaboración de queso (Abaigar, 2009). 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. (Arango, 2007).

2.2.1. Lactosuero dulce

El lactosuero dulce es producido en la fabricación de quesos denominados queso Tipo Paria, queso andino entre otros. El suero dulce 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 (Casado, 1995).



2.2.2. Lactosuero ácido

El lactosuero 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 (Hernandez, 2011).

2.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LACTOSUERO DULCE Y LACTOSUERO ÁCIDO

Según las propiedades fisicoquímicas, el suero de leche puede ser clasificado como ácido o dulce. El suero ácido, se encuentran en aquellos que provienen de la fabricación de quesos frescos de pasta blanda, obtenidos a partir de leche de vaca y/o de cabra; en ellos, la lactosa se ha transformado en ácido láctico, son ricos en calcio y fósforo; el pH es menor a 4,5 y los grados Dormic es menor a 20°D, el lactosuero dulce en cambio, proviene de la fabricación de quesos de pasta cocida y prensada (vaca) y quesos de ovejas; es pobre en ácido láctico, en calcio y fósforo; el pH es mayor a 6,0 y presentan mayor a 50°D (Aider y *et al*, 2009; Jovanovic y *et al*, 2005).

El lactosuero ácido es obtenido de una coagulación ácida de la caseína de la leche, teniendo un pH alrededor de 4.5, el suero se produce al alcanzar el punto isoeléctrico de la caseína con anulación de las cargas eléctricas que las mantienen separadas por las fuerzas de repulsión que generan, impidiendo así la floculación, esto implica una total destrucción de la estructura micelar. El suero tiene una característica muy mineralizada pues contiene más del 80 % de los minerales de la leche de partida. (Aider y *et al*, 2009).

Tabla 2. Composición de lactosuero dulce y lactosuero ácido.

	Lactosuero dulce (g/kg de lactosuero)	Lactosuero ácido (g/kg de lactosuero)
Materia seca (MS)	55-75	55-65
Lactosa	40-50	40-50
Grasa bruta (GB)	0-5	0-5
Proteína bruta (PB)	Set-14	07-Dic
Cenizas	04-Jun	06-Ago
Calcio	0,4-0,6	1,2-1,4
Fósforo (Fosfato g/L)	0,4-0,7 (1,0-3,0)	0,5-0,8 (2,0-4,5)
Potasio	1,4-1,6	1,4-1,6
Cloruros	2,0-2,2	2,0-2,2
Ácido Láctico	0-0,3	07-Ago
pH	>6.0	<4.5
Grados Dornic	<20°	>50°

Fuente:(Abaigar, 2009)

2.3.1. La industria láctea y sus residuos

Los procesos que se llevan a cabo en el sector lácteo son muy variados, tanto como los productos lácteos presentes en el mercado. Debido a su complejidad, no es posible generalizar sobre la contaminación generada, que será muy específica de acuerdo al tipo de producto. (Holt, 2005).

En las centrales lecheras se producen diariamente una considerable cantidad de aguas residuales industriales, que suelen oscilar entre 4 y 10 L de agua por cada litro de leche tratada, según el tipo de planta. La mayor parte de éstas 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 y otros), aunque también se vierten aguas de refrigeración que, si no se recuperan de forma adecuada, pueden suponer hasta 2 a 3 veces la cantidad de leche que entra en la central (Veisseyre, 1988).

2.3.2. 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 de lo producido a nivel mundial es descartado sin tratamiento (Aider y *et al*, 2009).

2.3.3. Contaminación del suelo

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

Tabla 3. Valores promedios de lactosuero

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

Fuente: (Veisseyre, 1988)

2.4. ELECTROCOAGULACIÓN

Es un tratamiento en el cual se aplica corriente eléctrica para tratar y flocular contaminantes sin tener que añadir coagulantes químicos. Involucra la generación de coagulantes in situ por la disolución electrolítica de un metal siendo estos principalmente

el aluminio y hierro. En el sistema de electrocoagulación ocurren múltiples reacciones electroquímicas en el ánodo y cátodo, estos pueden ser divididos en mecanismos principales que causan la desestabilización de los contaminantes. (Butler y *et al*, 2011).

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). La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca una serie de reacciones químicas, cuyo resultado final es la estabilidad de las moléculas contaminantes (Barrera, 2014).

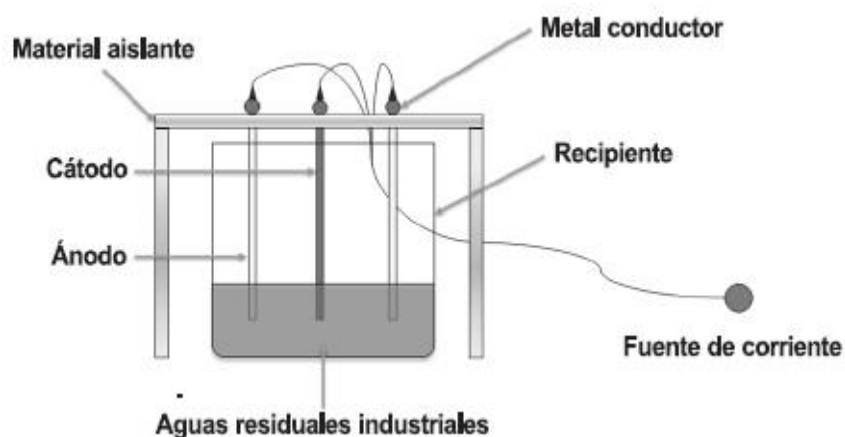


Figura 1. Sistema de electrocoagulación con ánodo de aluminio y cátodo de hierro.

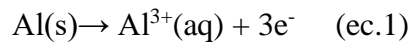
Fuente: (Barrera, 2014)

2.4.1. Reacciones principales

Los electrodos que producen los coagulantes están hechos principalmente de aluminio o hierro. Adicionalmente, se encuentran los electrodos inertes que son los cátodos, para las reacciones que se explicarán a continuación se harán en base



a la química del aluminio que fue el electrodo que produjo el coagulante en la presente investigación.



El primer paso para la formación del coagulante in situ es la disolución/oxidación del ánodo de sacrificio. La disolución anódica ideal por transferencia de cargas está dada por la ley de Faraday.

$$m = \frac{I \cdot t \cdot M}{z \cdot F} \quad (\text{ec.2})$$

Donde m es la masa liberada en el ánodo (g), I es la corriente en (A), t es el tiempo de reacción (s), M es la masa molar (g/mol), z es el número de valencia y F es la constante de Faraday (C/mol) (Heffron, 2009).

2.4.2. Partes básicas del sistema de electrocoagulación

Reactor electroquímico: es donde se llevan a cabo la electrocoagulación, los electrodos ánodo y cátodo, a través de los cuales circula la corriente eléctrica para llevar a cabo la reacción química de la electrocoagulación, fuente de alimentación de corriente directa: suministra la energía eléctrica para llevar a cabo la electrocoagulación (Diaz, 2014).

Se afirma que el proceso de electrocoagulación se puede describir en tres etapas fundamentales (Aguilar, 2015).

- Formación de agentes coagulantes por la oxidación electrolítica del electrodo de sacrificio, debido al paso de la corriente eléctrica.
- Desestabilización de contaminantes partículas en suspensión y rupturas de emulsiones.



- Agregación de elementos desestabilizadores para la formación de flóculos.

2.5. FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN

Entre los principales factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación se encuentran: densidad de corriente, tiempo de reacción, arreglo de los electrodos, distancia entre electrodos, tipo de electrodos, temperatura y pH, a continuación se describe la influencia que tienen algunos factores sobre la eficiencia en el proceso de electrocoagulación.

2.5.1. Densidad de corriente

La densidad de corriente afecta la producción de coagulantes, la velocidad y cantidad de burbujas de hidrogeno. La cantidad de iones Al^{3+} y Fe^{2+} producidos por sus respectivos electrodos depende de la corriente aplicada al sistema de electrocoagulación. Para un determinado voltaje, una alta densidad de corriente es producida en un área pequeña comparada con un reactor de un área grande. Si la corriente producida es demasiado grande, entonces hay una posibilidad de desperdicio de energía, ya que una parte es usada para incrementar la temperatura del agua (Gunukula, 2011).

2.5.2. 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 (Prieto y *et al*, 2012).

2.5.3. pH

Uno de los factores que más influye sobre la eficiencia del proceso de electrocoagulación es el pH, pues el pH influye sobre la eficiencia de la corriente en el proceso de solubilidad del metal para formar hidróxido. En diferentes investigaciones se ha reportado que el pH varía durante el proceso de electrocoagulación y esta variación es dependiente del material de los electrodos y del pH inicial del agua a tratar (Bayramoglu y *et al*, 2004).

2.5.4. Temperatura

En el proceso de la electrocoagulación los efectos de la temperatura no han sido extensamente estudiados, pero se ha encontrado que la eficiencia en la corriente se incrementa inicialmente hasta llegar a 60 °C, punto donde se hace máxima para luego decrecer. El incremento de la eficiencia con la temperatura es atribuida al incremento en la actividad de destrucción de la película de óxido de aluminio de la superficie del electrodo (Restrepo y *et al*, 2006).

2.5.5. Arreglo de los electrodos

Los electrodos se pueden arreglar de un modo monopolar o bipolar, en el modo monopolar, una placa conductiva es introducida entre los electrodos y es bien conectada a un electrodo o a la fuente de corriente continua. Los electrodos monopolar pueden estar conectados en serie o en paralelo, en el arreglo monopolar en paralelo (Figura 2), la corriente eléctrica es dividida entre todos los electrodos en relación a la resistencia de cada una de las celdas (Kabdaşlı y *et al*, 2012).

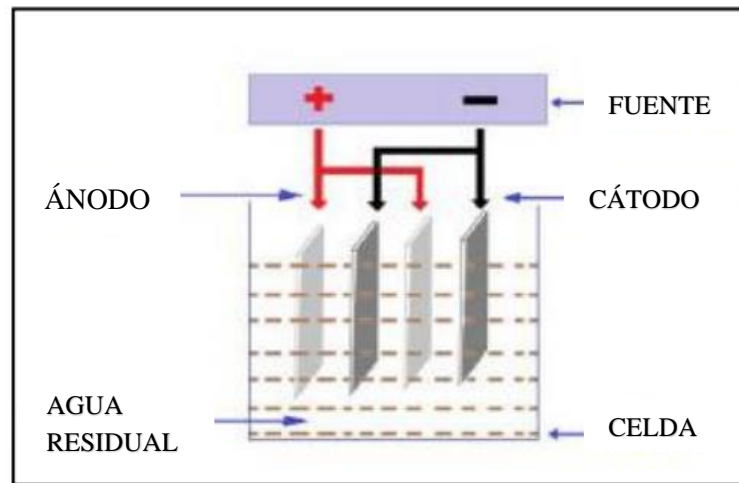


Figura 2. Arreglo monopolar conectado en paralelo

Fuente: (Aguilar, 2015)

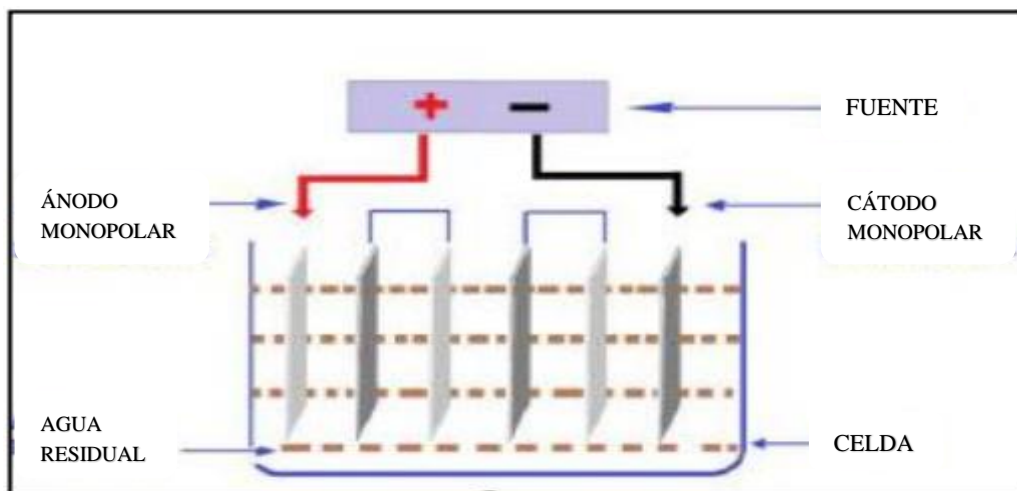


Figura 3. Arreglo monopolar conectado en serie

Fuente: (Aguilar, 2015)

2.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ELECTROCOAGULACIÓN

2.6.1. 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.
- Genera lodos más compactos y en menor cantidad, que involucra menor problemática de disposición de estos lodos.
- Alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes.
- Purifica el agua y permite su reciclaje.
- Remueve las partículas coloidales más pequeñas, ya que el campo eléctrico aplicado las pone en movimiento más rápidamente facilitando la coagulación (Arango, 2007).

2.6.3. Desventajas

- Reposición de los electrodos de sacrificio.
- Los lodos contienen concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo utilizado.
- 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. (Arango, 2007).

2.7. ANTECEDENTES DE ELECTROCOAGULACIÓN DE LACTOSUERO

Analizó la influencia de los electrolitos soporte en la oxidación de electrodos de aluminio y la variación del pH durante la electrocoagulación de una muestra de leche sin desnatar, una emulsión de aceite de corte, evaluando la remoción de (DQO) y la disminución de la turbidez. Encontraron que los iones de cloro y amonio fueron beneficiosos en la corrosión del aluminio y en la regulación del pH, mientras que los cationes de sodio tuvieron un rol neutral, la electrocoagulación se realizó a un potencial anódico bajo. (Trompette, 2009).



Estudió el tratamiento de efluentes de la industria láctea por electrocoagulación usando electrodos de aluminio. La experimentación fue llevada a cabo sobre un agua residual artificial derivada de una solución de leche en polvo. Los flóculos generados durante este tratamiento fueron separados por filtración, el análisis del filtrado mostró que la DQO, se redujo al 61 %, mientras que la reducción de los contenidos de fósforo y nitrógeno y la disminución de la turbiedad, fueron de 89.81 % y 100 % respectivamente. (Darchen, 2010).

Estudió el tratamiento electroquímico de aguas residuales de suero desproteínizado, determinaron que el material apropiado para el electrodo era el hierro y aluminio a raíz de su alta remoción de la DQO y de su alta remoción de turbidez, la concentración de los residuos y el porcentaje de remoción de DQO fueron maximizados a 25 °C. Las condiciones óptimas fueron estimadas a 11.29 V, 100 % concentración del agua residual (40 g/L lactosa) y una concentración de electrolito de 19.87 g/L que alcanzó una remoción de 29.27 % DQO (Guray, 2008).

2.8. NORMATIVA NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

La normativa ambiental vigente que aplica al siguiente trabajo es el DS N°001-2015- Vivienda que es una modificatoria del DS N°021-2009 que aprobó los valores máximos admisibles. Esta normativa se aplica ya que el agua residual de la planta piloto de leche se vierte a la red de alcantarillado (Von Hesse, 2015)

2.8.1. Valores máximos admisibles

Entiéndase por valor máximo admisible (VMA) como aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no domestico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedidos causa daño inmediato o progresivo a

las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencia negativa en los procesos de tratamiento de aguas residuales (Von Hesse, 2015)

Tabla 4. Valores máximos admisibles para descargar al sistema de alcantarillado.

Parámetro	Unidad	Expresión	Valor máximo admisible
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	S.S.T	500
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	100
Sólidos sedimentables	ml/L	S.S	8.5
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NH ₄ ⁺	80
pH		pH	6 a 9
Temperatura	°C	T	<35

Fuente: (Von Hesse, 2015)

2.8.2. Normativa internacional

Conocido en español como Grupo del Banco Mundial, da la referencia internacional de valores del agua residual en caso se encuentren realizando buenas prácticas por la industria láctea. En el cuadro 5, se puede apreciar los valores dados por el Banco Mundial. (World Bank Group, 2007).

Tabla 5. Valores recomendables en el efluente de la industria láctea

Parámetro	Unidad	Valor
pH	Unidades de pH	6 a 9
DBO	mg/L	50
DQO	mg/L	250
Nitrógeno total	mg/L	10
Fosforo total	mg/L	2
Aceites y grasas	mg/L	10
Sólidos suspendidos totales	mg/L	50
Incremento de temperatura	°C	< 3
Coliformes totales	UFC/100ml	400
Antibióticos	A determinar en base a un caso específico	

Fuente: (Grupo del Banco Mundial, 2007)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EXPERIMENTACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó entre los meses de Noviembre del 2020 a Marzo del 2021, el muestreo de lactosuero residual se realizó de la "planta industrial de procesamiento de derivados lácteos Huata". Los análisis fisicoquímicos de lactosuero ácido de queso Tipo Paria se analizó en el laboratorio de control de calidad de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, donde la zona de estudio fue en el distrito de Huata, provincia de Puno departamento de Puno, ubicado a una altitud de 3820 msnm.



Figura 4. Ubicación de la planta industrial de procesamiento de derivados lácteos Huata

Fuente: (Google Earth, 2021)



3.2. MATERIAL EXPERIMENTAL

3.2.1. Materia prima

El lactosuero ácido de queso Tipo Paria fue recogido de la planta industrial de procesamiento de derivados lácteos Huata. El lactosuero ácido proviene del segundo desuerado de la etapa de desuerado del proceso de elaboración de queso Tipo Paria, que fue recogido a las 11:00 am para su posterior almacenamiento y tratamiento en el laboratorio de control de calidad.

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1. Materiales

- Vasos precipitados de 25, 50, 500 y 1000 ml
- Pipetas volumétricas 5, 10 y 20 ml
- Probeta graduada de 50 ml
- Tubo de ensayo
- Bureta de 25 ml
- Envases de vidrio de 500 ml
- Espátula
- Envase de 10 L
- Placa de hierro y aluminio
- Cronometro

3.3.2. Equipos

- Colorímetro HACH DR/850-220v
- Equipo de velp. Marca FOC225E
- Turbidímetro Portátil. Marca 2020wi LaMotte



- pH/conductometer 914 metrohm H.W. Kessel SAC.
- Fuente de alimentación

3.3.3. Reactivos

- Agua destilada
- Solución digestora
- Ácido sulfúrico 0.025 N
- Indicador ferroina
- Hidróxido de sodio 1.54 N
- Sulfato de plata
- Sulfato de mercurio

3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.4.1 Caracterización físico química de lactosuero ácido de queso Tipo Paria para la reducción de DQO y DBO

Se determinó las características físico químicas como la DQO, DBO, pH, aceite grasa y tiempo como se observa a continuación.

3.4.1.1 Determinación de DQO

La DQO 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 la DQO directamente en el espectrómetro DRB-200. Generalmente con un error de medida es siempre inferior al 10 %.

3.4.1.2 Determinación de demanda bioquímica de oxígeno

La medición de la DBO se determinó mediante el método de incubación por 5 días a temperatura de 20 °C. Establecido en la norma estándar, mediante el equipo de velp. Marca FOC225E.

3.4.1.3 Determinación de pH.

Método potenciómetro, empleado un pH/conductometer 914 metrohm H.W. Kessel SAC.

3.4.1.4 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 y *et al* 2015).

3.4.1.5 Determinación de aceites y grasas

Para la medición de grasas y aceites, se empleó por el método Kjendal que se utilizó para la determinación de aceites y grasas en lactosuero ácido de queso Tipo Paria.

3.4.1.6 Determinación de turbiedad

Para la medición de turbiedad se utilizó el equipo de Turbidímetro Portátil. Marca 2020wi la Motte.

3.4.2. Diseño y construcción del equipo de electrocoagulación

Se realizó la construcción y operación de un equipo de electrocoagulación a escala de laboratorio, el proceso de electrocoagulación se llevó a cabo con una celda electrolítica de volumen de nueve litros en la cual están sumergidos seis electrodos, tres placas de aluminio y tres placas de hierro dispuesto en paralelo, el electrodo de aluminio y hierro con dimensiones de 7 cm x 10 cm con un espesor de 3 mm que se estableció con un distanciamiento de 1cm entre placas. Los electrodos fueron conectados a una fuente de poder que suministró corriente eléctrica requerida para el proceso de electrocoagulación, y se instaló una llave de paso en la parte inferior de la celda para la obtención de la muestra (Arango, 2007).

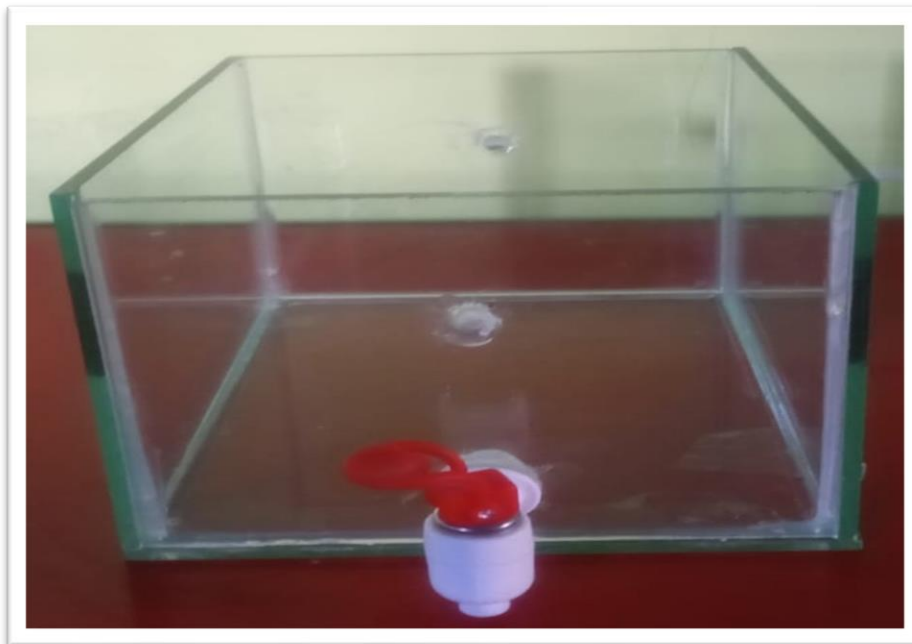


Figura 5 . Equipo de Electrocoagulación
Fuente: elaboración propia

3.4.2.1 Elección del material de electrodos

Se compraron y se cortaron los electrodos de hierro y aluminio por las siguientes razones:

- Disponibilidad de los metales.
- Son materiales relativamente económicos.

Según las referencias bibliográficas, en la que se reportan buenas remociones de contaminantes con estos materiales en la electrocoagulación, adicionalmente son los metales más utilizados en el proceso (Willem, 2001).

Los electrodos se diseñaron como placas rectangulares dispuestas en serie. “Comercialmente estos metales se encuentran disponibles como láminas de 3 mm de espesor. Se calculó una distancia de 1 cm entre el arreglo de placas y cada una de las caras laterales de la celda, para permitir de esta forma el flujo del agua residual durante la electrólisis” (Willem, 2001).

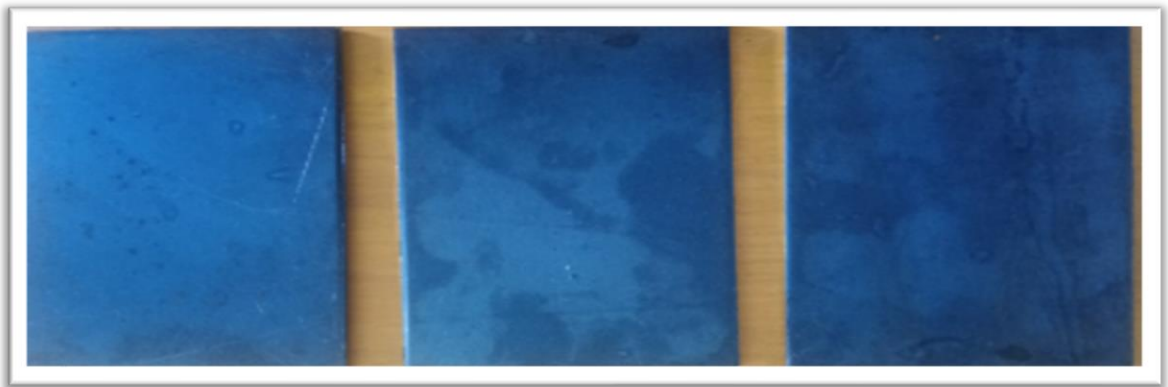


Figura 6. Electrodo de hierro

3.4.2.2 Fuente de alimentación y voltaje

Se conectó a una fuente de alimentación que fue a un voltaje de 12 V y 5 A ya establecidos, la verificación de las lecturas de los medidores digitales de intensidad de corriente se utilizó una pinza amperimétrica, un voltímetro y un cronometro para mediciones de tiempo. Para el suministro de corriente continua a los electrodos se conectaron cables de uso eléctrico y cocodrilos para conectarlos a las placas de fierro y aluminio.



Figura 7. Electrodo de aluminio

los rangos de corriente eléctrica y voltaje se trabaja en base de una densidad de corriente de 10 a 20 V/m² rango promedio reportado en la bibliografía con buenos resultados en la remoción de contaminantes, adicionalmente teniendo en cuenta la conductividad de las aguas residuales que permite realizar un estimativo de estos parámetros eléctricos. (Abaigar, 2009).

La fuente de alimentación utilizada en las pruebas definitivas nos permitió regular la cantidad de corriente suministrada a la celda para el proceso de electrocoagulación, esta tenía una capacidad de suministrar hasta 20 amperios y un voltaje de 0 a 30 V, los cuales se podrían monitorear con medidores digitales de amperaje y voltaje (Arango, 2007).

En la Fig. 8 se observa fuente de alimentación de 12 V y 5 A. Que será utilizado

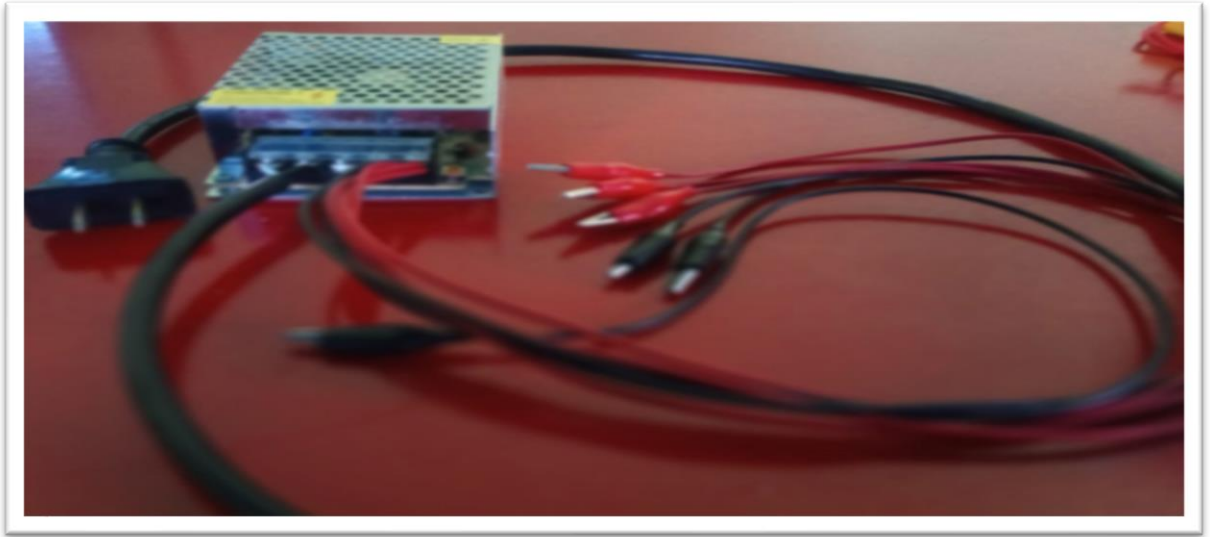


Figura 8. Fuente de alimentación
en la Electrocoagulación de lactosuero ácido de que Tipo Paria.

En la Fig. 9, se observa los equipos de amperímetro y voltímetro que será utilizado



Figura 9. Amperímetro y Voltímetro
en la medición del voltaje y amperímetro.



3.4.3 Análisis del efecto de electrocoagulación de lactosuero ácido de queso

Tipo Paria diluido con agua destilada al 0, 10 y 20 % en la reducción de DQO y DBO.

3.4.3.1 Muestreo de lactosuero ácido

Se recolectó en envase de polietileno de 10 L previamente lavado de la planta procesadora de Huata, que produce una cantidad de 8000 L diarios de lactosuero, luego fue llevado a refrigeración a 4 °C, inmediatamente para que se preserve hasta el momento de su uso.

3.4.3.2 Almacenamiento:

Se procedió el almacenamiento de la muestra por un tiempo de 24 horas, en recipientes de plástico con capacidad de 10 litros, para luego ser transportada al laboratorio para su posterior análisis.

3.4.3.3 Dilución de agua destilada a 0, 10 y 20 %

Una vez recolectado el lactosuero ácido de queso Tipo Paria se realizó las diluciones con agua destilada al 0, 10 y 20 %, se trabajó con 1000 ml. de lactosuero ácido por cada tratamiento.

3.4.3.4 Electrocoagulación

En la primera etapa será la conexión del equipo, colocación de electrodos (placas) de aluminio y hierro previamente lijado y limpiado y luego se realizó los ensayos con el lactosuero ácido con una tensión de corriente de 12 V, para determinar la disminución de DQO y DBO.



3.4.3.5 Filtrado

Se realizó con el fin de separar el sólido, líquido con papel filtro de porosidad intermedia para realizar el análisis para posteriormente realizar el análisis de lactosuero ácido de queso Tipo Paria para la determinación de la DQO y DBO.

3.4.3.6 Variable de respuesta

Variable independiente

- Tiempo 20, 30 y 40 min
- Agua destilada 0, 10 y 20%

Variable dependiente

- % de remoción de DQO
- % de remoción de DBO

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caracterización físico química del lactosuero ácido de queso Tipo Paria para la reducción de DQO y DBO.

En la tabla 6, se muestra los resultados de la caracterización inicial del lactosuero ácido, se realizó las mediciones de DQO y DBO en diferentes porcentajes de agua.

Tabla 6. Parámetros de DQO y DBO antes de electrocoagulación.

Parámetros	Agua 0 %	Agua 10 %	Agua 20 %
DQO (mg/L)	3000.00	2840	2300
DBO (mg/L)	2670	1230	1180

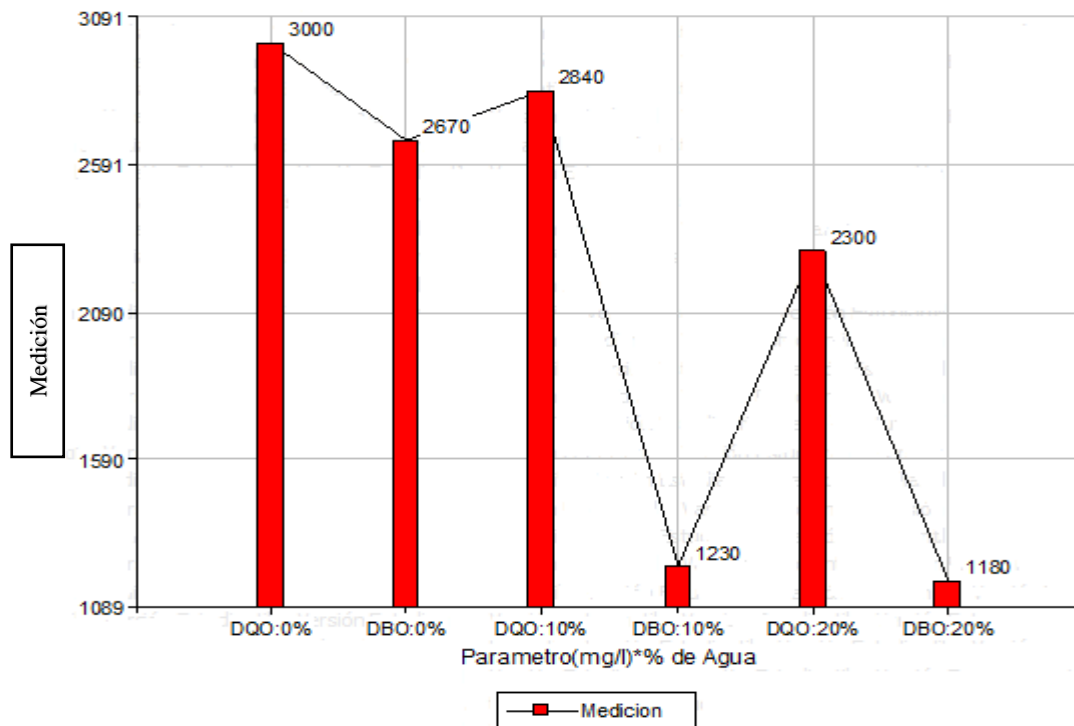


Figura 9. Parámetros de DQO y DBO antes de la electrocoagulación

La fig. 9, muestra la medición inicial de DQO y DBO en diferentes porcentajes de agua, para el caso de la DQO al 0 % de agua indica 3000 mg/L y al 20 % de agua se da 2300

mg/L; así mismo la DBO al 0 % de agua se da 2670 mg/L y al 20 % de agua se da 1180 mg/L.

4.1.1 Medición de parámetros de turbiedad, pH, aceite y grasa antes de la electrocoagulación

En la tabla 7, se muestran los resultados de la caracterización inicial de lactosuero ácido, en donde se realizó las mediciones de turbiedad, aceite, grasa y pH en diferentes porcentajes de agua.

Tabla 7. Parámetros de, turbiedad, aceite, grasa y pH antes de la electrocoagulación

Parámetros	Agua 0 %	Agua 10 %	Agua 20 %
turbiedad (NTU)	1110	750	350
aceite y grasa (mg/L)	290	135.39	87.91
pH	4.11	5.44	7.08

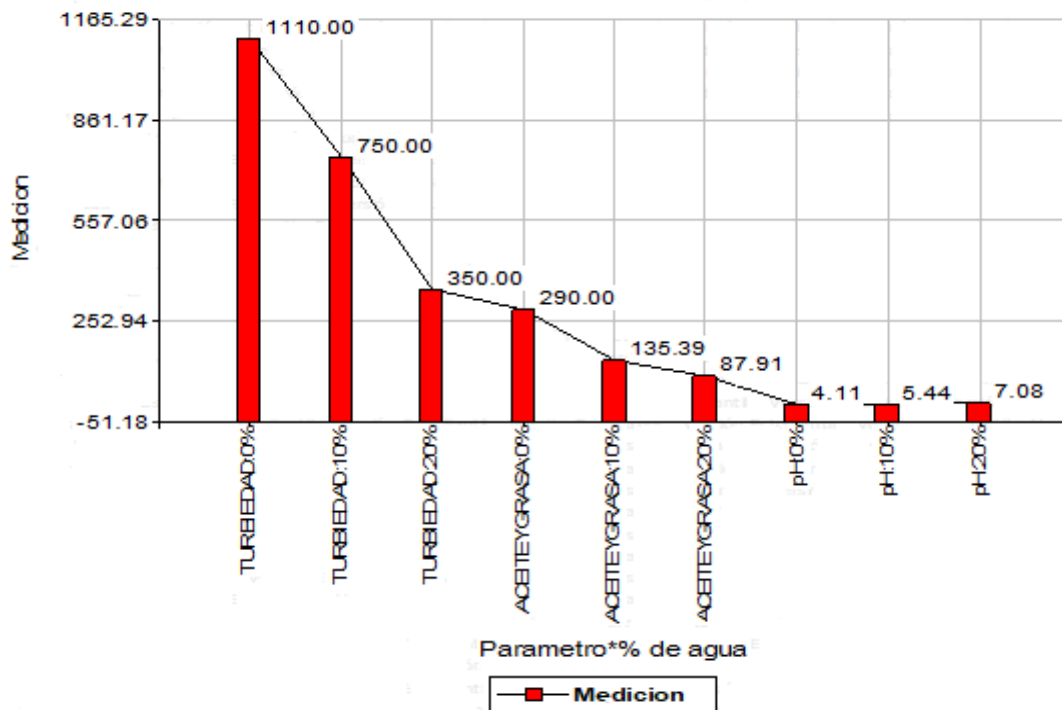


Figura 10. Medición de turbiedad, aceite, grasa y pH antes de la electrocoagulación

La fig. 10 Se observa que el lactosuero ácido de queso Tipo Paria antes de efectuar la electrocoagulación muestra los parámetros iniciales, la turbiedad al 0 % de agua indica

1110.00 NTU; también para el caso de aceite y grasa al 0 % de agua da un valor de 290 mg/L; finalmente el pH se alcaliniza en un 7.08 al 20 % de agua. Existe una relación entre turbiedad y concentración de sólidos en suspensión de agua no tratada (Metcalf y *et al*, 1995); así mismo (Velásquez, 2017) indica que el aluminio generado contribuya con la generación de la turbidez. Pasado 15 min y 10 min para 1 A y 1.5 A los flóculos generados empezaron a decantar y así iniciando la disminución de la turbidez. Según (Velásquez, 2017), los valores obtenidos de aceites y grasas antes del tratamiento resultó en una concentración 20 mg/L. Estos valores obtenidos tanto antes y después del tratamiento resultaron ser muy inferiores a los que indican los VMA con 100 mg/L. El pH durante el proceso de electrocoagulación se incrementa en aguas acidas, efecto atribuido a la generación de hidrogeno molecular que se origina en el cátodo y en el cual se termina liberando OH (Barboza, 2011). Asi mismo (Humpire, 2017) el tiempo optimo es 34 minutos, mientras que con relación al pH observamos que se logra mejorar la reducción de la DQO. Tambien se sabe que un suero ácido se produce cuando el coágulo se forma por la adición de ácidos, presentando un pH próximo a 4,5 (Doyle, 2002).

4.1.2 Caracterización de turbiedad, aceite, grasa y pH en el lactosuero ácido de queso Tipo Paria con agua destilada al 0, 10 y 20 % y tiempo 20, 30 y 40 min.

a) Turbiedad

En la tabla 8, se observa la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de turbiedad de lactosuero ácido de queso Tipo Paria, en donde el tratamiento conformado por agua destilada al 0 % con el tiempo de 20 min tuvo mayor turbiedad con 700.27 NTU, el cual fue estadísticamente superior a los demás tratamientos, seguido del tratamiento

conformado por agua destilada al 0 % con el tiempo de 30 min con 660.41 NTU, el tratamiento agua destilada al 0 % con el tiempo de 40 min tuvo 610 NTU. En último lugar se ubica el agua destilada al 20 % con los tiempos de 20, 30 y 40 min con valores de turbiedad de 170.35, 130.42 y 93.50 NTU respectivamente, los cuales estadísticamente son diferentes entre sí.

Tabla 8. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de turbiedad de lactosuero ácido de queso Tipo Paria

Orden de mérito	Porcentaje de agua destilada (%)	Tiempo de evaluación (min)	Promedio de turbiedad (NTU)	$P \leq 0.05$
1	0	20	700.27	1
2	0	30	660.41	2
3	0	40	610.34	3
4	10	20	380.42	4
5	10	30	335.44	5
6	10	40	295.31	6
7	20	20	170.35	7
8	20	30	130.42	8
9	20	40	93.50	9

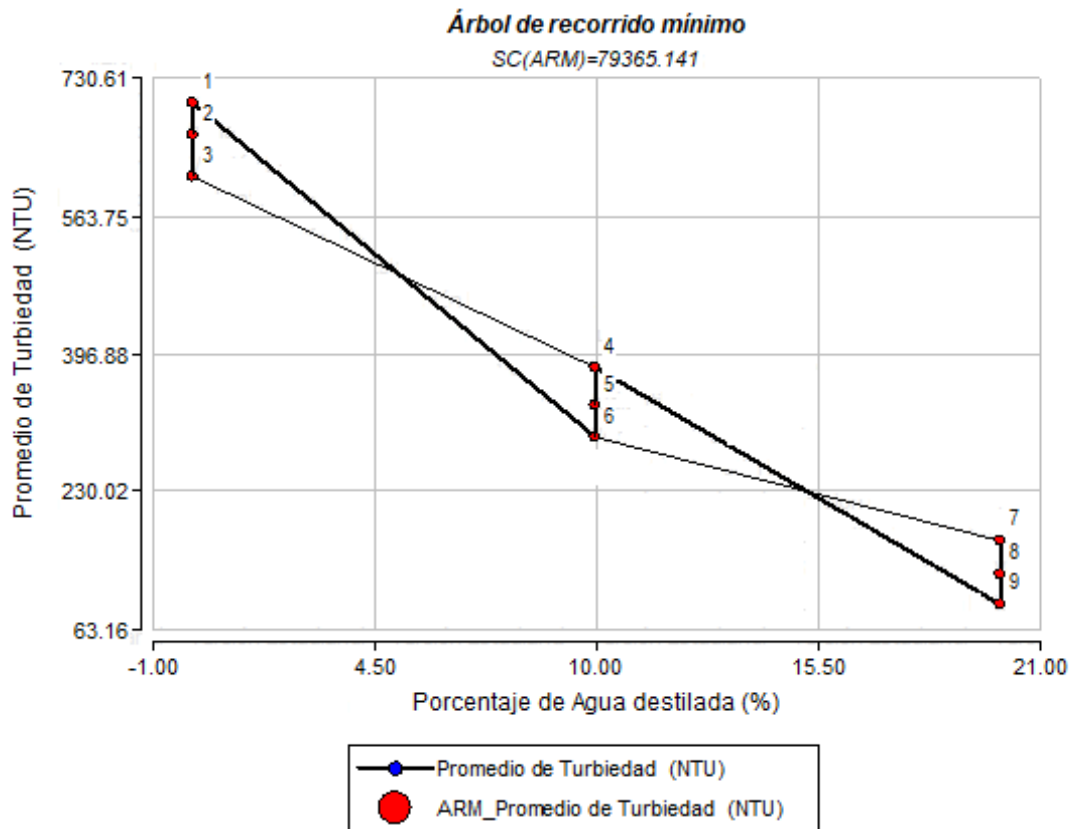


Figura 11. Factor de agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de turbiedad de lactosuero ácido de queso Tipo Paria.

En la Fig. 11, se observa el factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de turbiedad de lactosuero ácido de queso Tipo Paria; la tendencia indica que a menor porcentaje de agua destilada mayor promedio de turbiedad. Al 0 % de agua destilada y 20 min de electrocoagulación se obtiene un promedio de 700.24 NTU de turbiedad; el tratamiento más efectivo es a 20 % de agua destilada y 40 min de electrocoagulación se obtiene 93.5 NTU de promedio de turbiedad. Según (Hendricks, 2006), La premisa siempre ha sido que la remoción de la turbidez conlleva a la remoción de las partículas orgánicas. Así mismo la turbidez se midió a los siguientes tiempos 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40 y 50 minutos trabajando con valores de amperaje en vez de densidad de corriente (Velásquez, 2017). Finalmente (Humpire, 2017) asume la influencia de los parámetros evaluados



sobre la turbidez y proporcionó una idea de que tan ajustados están los datos experimentales al modelo.

b) Aceite y grasa

En la tabla 9, se observa la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor de agua destilada y Tiempo sobre su efecto en la reducción de aceite y grasa de lactosuero ácido de queso Tipo Paria, en donde el tratamiento conformado por agua destilada al 0 % con el tiempo de 20 min tuvo mayor aceite y grasa con 170.33 mg/L, el cual fue estadísticamente superior a los demás tratamientos, seguido del tratamiento conformado por agua destilada al 0 % con el tiempo de 30 min con 150.34 mg/L de aceite y grasa, el tratamiento agua destilada al 0 % con el tiempo de 40 min tuvo 130.41 mg/L. En último lugar se ubica el agua destilada al 20 % con los tiempos de 20, 30 y 40 min con valores de aceite y grasa de 48.36, 45.34, y 31.95 mg/L respectivamente, los cuales estadísticamente son diferentes entre sí.

Tabla 9. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de aceite y grasa de lactosuero ácido de queso Tipo Paria

Orden de mérito	Porcentaje de agua destilada (%)	Tiempo de evaluación (min)	Promedio de aceite y grasa (mg/L)	$P \leq 0.05$
1	0	20	170.33	1
2	0	30	150.34	2
3	0	40	130.41	3
4	10	20	98.39	4
5	10	30	66.40	5
6	10	40	65.42	6
7	20	20	48.36	7
8	20	30	45.34	8
9	20	40	31.95	9

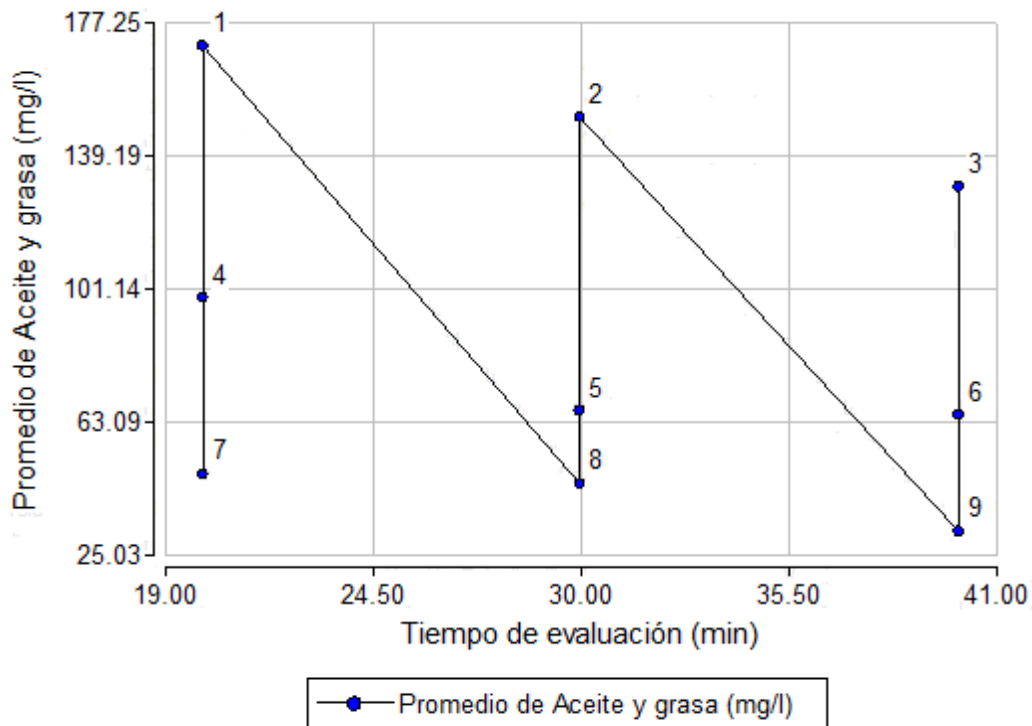


Figura 12. Factor de agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de aceite y grasa de lactosuero ácido de queso Tipo Paria.

En la Fig. 12, se muestra el factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de aceite y grasa de lactosuero ácido de queso Tipo Paria. Al 0 % de agua destilada y 20 min de electrocoagulación se obtiene un promedio de 170.33 mg/L de aceites y grasas; el tratamiento más efectivo es a 20 % de agua destilada y 40 min de electrocoagulación, 31.95 mg/L de aceites y grasas. Según (Velásquez, 2017) la reducción se debe a que el aceite y grasa se acumulan en la superficie del agua que en este caso es favorecida por la producción de burbujas se llevan a las partículas hacia la superficie. El consumo de energía a 35 ° C en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con aceites. (Arango, 2007). Finalmente un tiempo de tratamiento óptimo de 25 min, con una densidad de corriente de 84,81 A/m², obteniendo a estas condiciones los mejores porcentajes de remoción los cual fueron: 97,48 % de DBO, 97,81 % de DQO y 99,11 % de aceites y grasas (Ramirez, 2019).



c) pH

En la tabla 10, se observa la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de pH de lactosuero ácido de queso Tipo Paria, en donde el tratamiento conformado por agua destilada al 20 % con el tiempo de 40 min tuvo mayor pH con 7.45, el cual fue estadísticamente superior a los demás tratamientos, seguido del tratamiento conformado por agua destilada al 20 % con el tiempo de 30 min con un pH de 7.30, el tratamiento agua destilada al 20 % con el tiempo de 20 min tuvo un pH de 7.12. En último lugar se ubica el agua destilada al 0 % con los tiempos de 40, 30 y 20 min con valores de pH de 5.49, 5.40 y 5.31 respectivamente, los cuales estadísticamente son diferentes entre sí.

Tabla 10. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de pH de lactosuero ácido de queso Tipo Paria.

Orden de mérito	Porcentaje de agua destilada (%)	Tiempo de evaluación (min)	Promedio de pH	$P \leq 0.05$
1	20	40	7.45	A
2	20	30	7.30	A
3	20	20	7.12	A
4	10	40	6.66	A
5	10	30	6.43	A
6	10	20	6.37	A
7	0	40	5.49	A
8	0	30	5.40	A
9	0	20	5.31	A

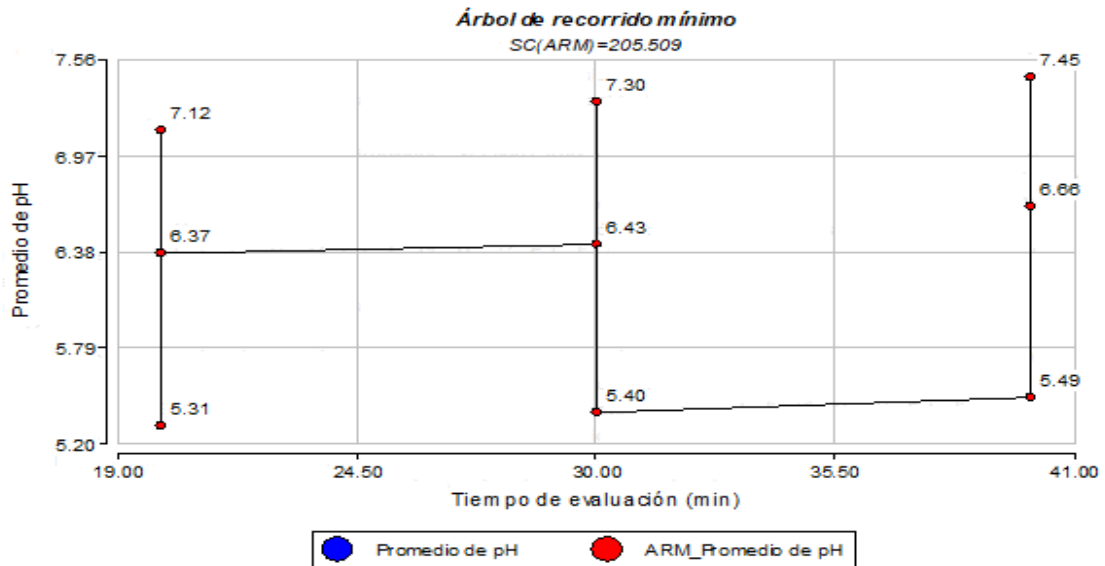


Figura 13. Factor de agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de pH de lactosuero ácido de queso Tipo Paria.

En la Fig. 13, se muestra el factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de pH de lactosuero ácido de queso Tipo Paria, se indica que no existe variación en las medias en las diferentes repeticiones. Al 20 % de agua destilada se obtiene un pH de 7.45. Así también el menor pH resulta 5.31 a 0 % de agua destilada y un tiempo de 20 min. (Velásquez, 2017) el mejor funcionamiento para el sistema de electrocoagulación los cuales fueron 30 minutos, 3 A y 8.5 pH, así que el mejor tratamiento son los que se acerca al pH alcalino. Según (Grupo del Banco Mundial, 2007), los valores recomendables en el efluente para la industria láctea son de 6 a 9 de pH siendo los tratamientos de 10 y 20 % los más óptimos en el sistema de electrocoagulación. Finalmente (Willem, 2001), coincide con los resultados afirmando que el pH inicial fue de 4,8 para todos los tratamientos y se fue incrementado en el transcurso del tratamiento hasta alcanzar un valor de 6,7 en el tratamiento 5 teniendo los mejores resultados en dicho tratamiento.

4.2 Diseño y construcción del equipo de electrocoagulación a escala de laboratorio

A continuación, se diseñó el equipo de electrocoagulación con las características y medidas correspondientes como se muestra en la siguiente figura.

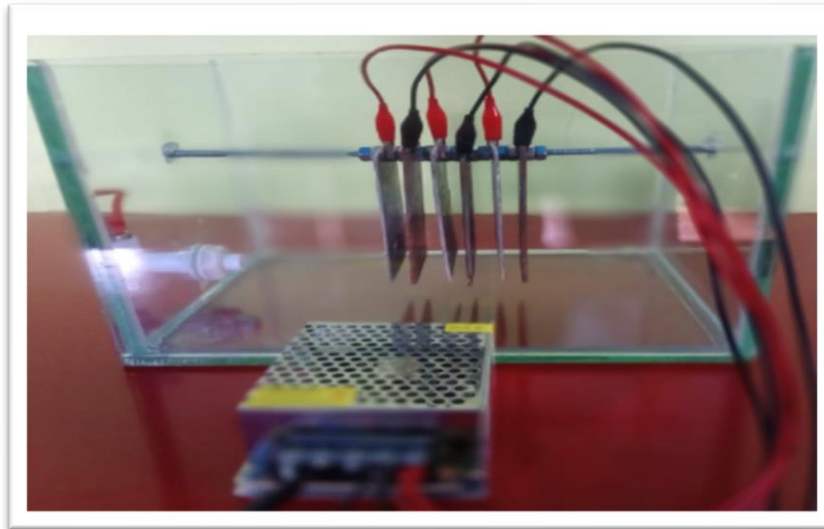


Figura 14. Equipo de electrocoagulación para el tratamiento de lactosuero ácido de queso Tipo Paria

El reactor a escala de laboratorio para un régimen Batch, con dimensiones de 30 cm de largo, 20 cm de ancho y 15 cm de altura, este reactor tiene la capacidad de 9 litros; se utilizó acrílico transparente para la fabricación de la celda, y se construyó en forma de paralelepípedo rectangular. Los electrodos empleados fueron 6 placas rectangulares metálicas 3 de hierro y 3 de aluminio dispuesto en paralelo, el electrodo de aluminio obtuvo dimensiones de 7 cm x 10 cm con un espesor de 3 mm y las dimensiones del electrodo de hierro serán de 7 cm x 10 cm con un espesor de 3 mm. Se estableció un distanciamiento de 1cm entre placas. Los electrodos están conectados a la fuente de poder la cual suministró la corriente eléctrica requerida para el proceso de electrocoagulación, y se instaló una llave de paso en la parte inferior de la celda para la obtención de la muestra. EL prototipo de (Humpire, 2017), 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, cuyas dimensiones son de 10 cm x 11 cm, con capacidad para unos 2 L de aguas residuales en una única zona de operación. (Apaza, 2018), finalmente el diseño tipo batch o continuo; la transferencia de masa entre los electrodos debe ser óptima y para esto se debe garantizar flujo dentro del reactor; la conductividad de la solución y la sustancia electrolito.

4.3. Efecto de electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido con agua destilada al (0, 10 y 20 %) en la reducción de DQO y DBO.

La DBO, Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD en inglés, Biological Oxygen Demand), y la DQO, Demanda Química de Oxígeno (COD en inglés, Chemical Oxygen Demand), son unos de los parámetros más importantes en la caracterización (medición del grado de contaminación) de las aguas residuales.

4.3.1. Medición de parámetros fisicoquímicos de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido con agua destilada al (0, 10 y 20 %) en la reducción de DQO y DBO

a) DQO

En la tabla 11, se observa de prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada sobre su efecto en la reducción de DQO, en donde se observa que el porcentaje de agua destilada al 0 % tuvo mayor DQO con 1448.33 mg/L, el cual fue estadísticamente superior a la dosis de agua destilada del 10 % y 20 % con 908.33 y 561.33 mg/L de DQO respectivamente.

Tabla 11. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada sobre su efecto en la reducción de DQO.

Orden de merito	Porcentaje de agua destilada	Promedio de DQO (mg/L)	$P \leq 0.05$
1	0	1448.33	A
2	10	908.33	B
3	20	561.33	C

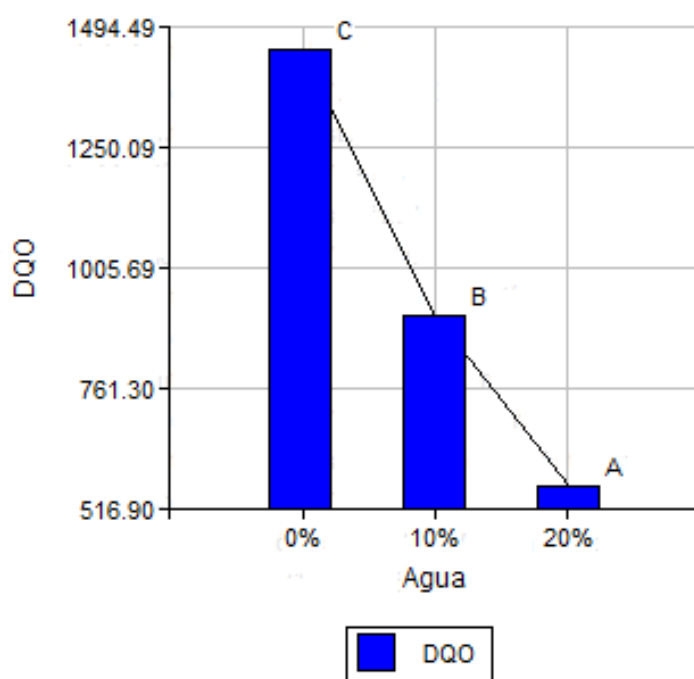


Figura 15. Demanda Química de Oxígeno por el porcentaje de agua destilada

En la Fig15; se muestra la DQO por el porcentaje de agua destilada muestra diferencia significativas en las medias del porcentaje de agua al 0, 10 y 20 % como se muestra con las letras A, B y C. Existe una tendencia a mayor agua destilada menos DQO en el lactosuero ácido de queso Tipo Paria. La cantidad de oxígeno requerida para oxidar bajo condiciones específicas, la materia orgánica susceptible de oxidarse contenida en una muestra de agua (Rodriguez, 2006); así mismo (Humpire, 2017); el comportamiento de la DBO antes y después de la electrocoagulación con la muestra diluida al 25 %, presenta una variación significativa de hasta 353 mg/L de DBO después de realizar los 13 tratamientos

en sus diferentes combinaciones de tiempo y voltaje en el trabajo la muestra diluida al 20 % presenta una reducción de 561.33 mg/L sin controlar el voltaje. Finalmente sabemos que la DBO es la cantidad de oxígeno disuelto que la muestra absorbe (Bryon, 1999).

En la tabla 12, se observa que el mayor porcentaje de reducción se logra con agua destilada al 20 % con 78.17 % de reducción, seguida de agua destilada al 10 % con 70.02 % y agua destilada al 0 % con 53.32 %.

Tabla 12. Porcentaje reducción después de la electrocoagulación de lactosuero de queso Tipo Paria diluido con agua destilada

	DQO antes de electrocoagulación	DQO después de electrocoagulación	Diferencia entre antes y después de la electrocoagulación	Porcentaje de reducción
Agua destilada al 0 %	3000	1448.33	1551.67	51.72
Agua destilada al 10 %	2840	908.33	1931.67	68.01
Agua destilada al 20 %	2300	561.33	1738.67	75.79

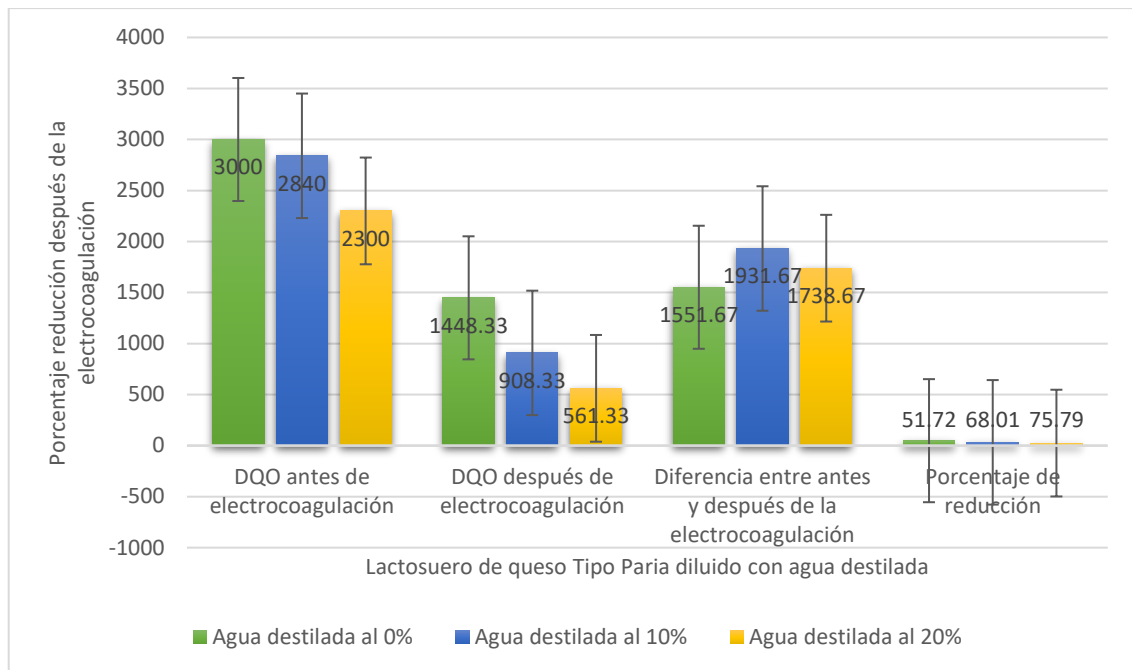


Figura 16. Porcentaje de reducción después de la electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido con agua destilada.

En la Fig. 16. Se observa el porcentaje de reducción después de la electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido con agua destilada; las repeticiones con el mayor porcentaje de reducción de DQO y por lo tanto mayor eficacia es la muestra en agua destilada al 20 % con 75.79 % de reducción. (Lope, 2015), logra caracterizar el efluente quesero compuesto por 60 % del proceso de desuerado, 30 % del proceso de salado y 10 % del proceso de lavado según el tipo de producción de quesos Tipo Paria de la planta procesadora de lácteos Juliandino – Huata - Perú, cuyos resultados obtenidos son: DQO (66 400 mg/L); (Parra y *et al*, 2014), logran una eficiencia de remoción de 79,97 % y 66,35 % para cargas orgánicas de 3000 y 4000 mg/L. Finalmente (Almeida, 2011), logra un 97 % de reducción con respecto a la DQO, esto con la adición de radiación ultravioleta a una potencia de 28W. La adición de agua destilada es necesaria para la reducción de DQO y posterior electrocoagulación ya que existen diferencias significativas en los diferentes porcentajes de agua al 10 y 20 %.

b) DBO

En la tabla 13, se observa la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor de agua destilada sobre su efecto en la reducción de DBO, en donde se observa que el porcentaje de agua destilada al 0 % tuvo mayor DBO con 1281.44 mg/L, el cual fue estadísticamente superior a la dosis de agua destilada del 10 % y 20 % con 504.33 y 404.89 mg/L de DBO respectivamente.

Tabla 13. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada sobre su efecto en la reducción de DBO.

Orden de merito	Porcentaje de agua destilada	Promedio de DBO (mg/L)	$P \leq 0.05$
1	0	1281.44	a
2	10	504.33	b
3	20	404.89	c

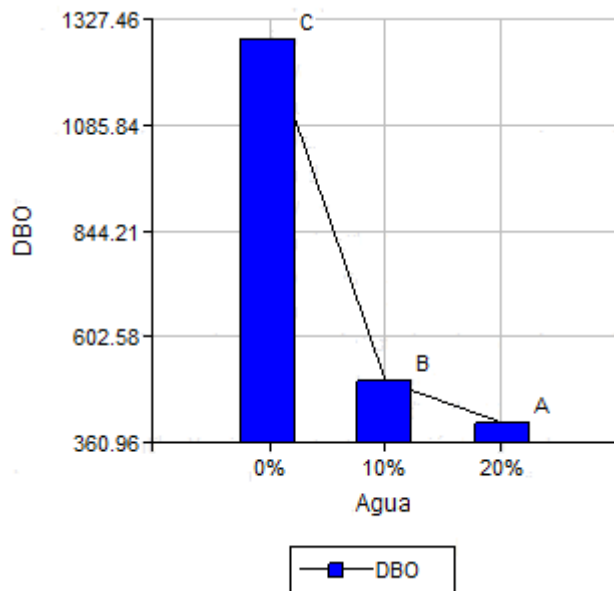


Figura 17. Demanda Bioquímica de Oxígeno con respecto al porcentaje de agua destilada

En la Fig. 17, se observa que el mayor porcentaje de reducción se logra con agua destilada al 20 % con 70.22 %, seguido de agua destilada al 10 % con

64.09 % y agua destilada al 0 % con 54.60 %, las letras A, B y C indican diferencias significativas en la medias a diferentes porcentajes de agua 0 %, 10 % y 20 %. Así mismo los resultados para tratamientos híbridos, mostro porcentajes de reducción de 83 % para DBO (Almeida, 2011). Sin embargo (Bazrafshan *et al.* 2013), reportan en su caracterización de aguas residuales lácteas una DBO de 3486.3 ± 235.17 mg/L, por su parte (París, 2009) reporta valores promedio de los residuales acuosos de la industria láctea DBO rango de 450 – 4800 mg/L.

En la tabla 14, se observa el Porcentaje reducción de DBO después de la electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido con agua destilada.

Tabla 14. Porcentaje reducción de DBO después de la electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido con agua destilada.

	DBO antes de electrocoagulación	DBO después de electrocoagulación	Diferencia entre antes y después de la electrocoagulación	Porcentaje de reducción
Agua destilada al 0%	2670	1281.44	1388.56	52.005
Agua destilada al 10%	1230	504.33	725.67	58.997
Agua destilada al 20%	1180	404.89	775.11	65.68

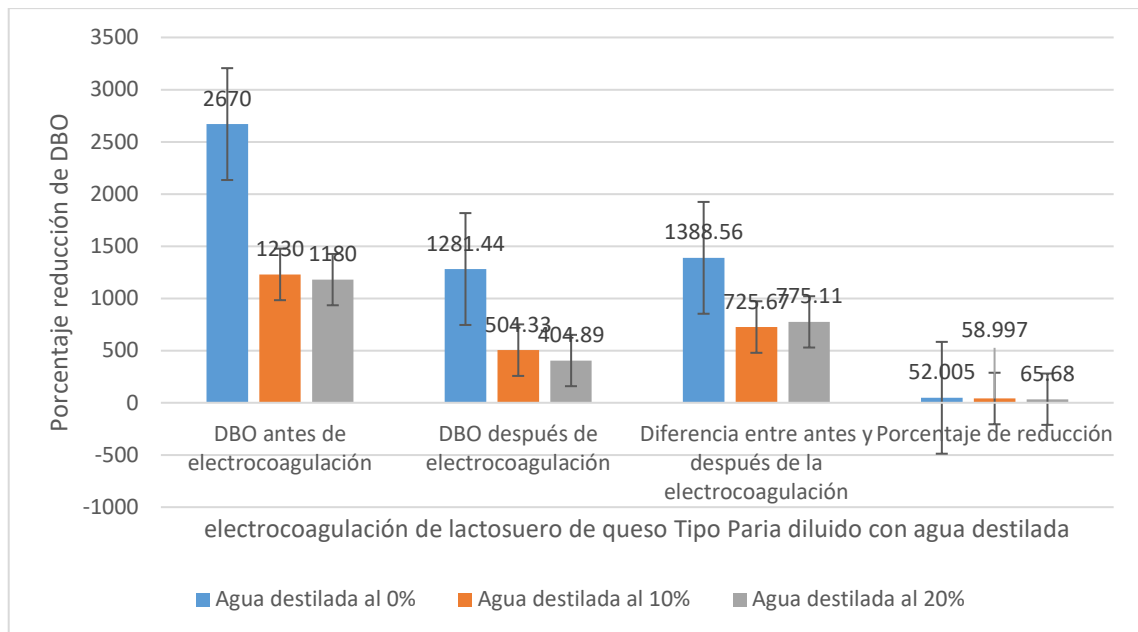


Figura 18. Porcentaje reducción de DBO después de la electrocoagulación de lactosuero de queso tipo paria diluido con agua destilada.

En la Fig. 18, se indica el porcentaje de reducción de DBO después de la electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido con agua destilada, las repeticiones con el mayor porcentaje de reducción de DBO y por lo tanto mayor eficacia es la muestra en agua destilada al 20 % con 65.68 %. El diseño del filtro se estableció una DBO de 1250 mg/L y además un flujo de 0.06 L/h obteniéndose una carga orgánica de: 0.0018 kg/día (Apaza, 2018), El comportamiento de la DBO antes y después de la electrocoagulación con la muestra diluida al 25 %, presenta una variación significativa de hasta 353 mg/L de DBO después de realizar los 13 tratamientos en sus diferentes combinaciones de tiempo y voltaje. (Manrique, 2018). Finalmente el presente trabajo al 20 % de agua destilada se obtiene una reducción de 353 mg/L.

4.4. Efecto de electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria con tres variables de tiempo de (20, 30 y 40 min) en la reducción de DQO y DBO

a) DQO

En la tabla 15, se observa de Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor tiempo sobre su efecto en la reducción de DQO, en donde se observa que el tiempo de 20 min tuvo mayor DQO con 1032.00 mg/L, el cual fue estadísticamente superior al tiempo de 30 min y 40 min con 968.11 y 917.89 mg/L de DQO respectivamente.

Tabla 15. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor tiempo sobre su efecto en la reducción de DQO

Orden de merito	Tiempo de evaluación (min)	Promedio de DQO (mg/L)	$P \leq 0.05$
1	20	1032.00	C
2	30	968.11	B
3	40	917.89	A

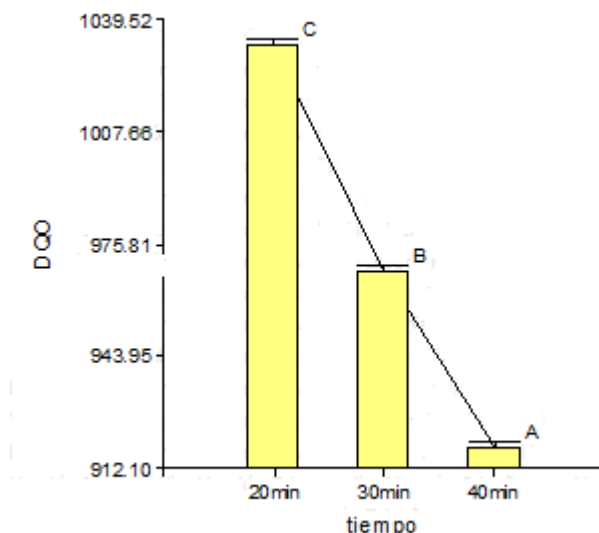


Figura 19. DQO por el tiempo de electrocoagulación

En la Fig. 19, se muestra la DQO por el tiempo de electrocoagulación, el tiempo de electrocoagulación muestra diferencia significativas en las medias del tiempo 20, 30 y 40 min como se muestra con las letras A, B y C. Considerando factores como tiempo, pH y voltaje, teniendo como resultado disminución de DQO de 93 % (López, 2012); también el incremento del tiempo los valores de porcentaje de disminución DQO disminuyen en el rango de parámetros estudiados. (Humpire, 2017). Estos datos son similares a mayor tiempo se reduce el DQO, la electrocoagulación. Finalmente la disminución de carga contaminante, superiores comportamiento en las remociones de DQO fueron del orden del 94 % (Chen, 2000).

En la tabla 16, se observa que el mayor porcentaje de reducción se logra con un tiempo de 40 min con 67.17 %, seguido del tiempo de 30 min con 65.26 % y el menor porcentaje se dio con el tiempo de 20 min 62.89 %.

Tabla 16. Porcentaje reducción de DQO después de la electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido respecto al tiempo de evaluación.

	DQO antes de electrocoagulación	DQO después de electrocoagulación	Diferencia entre antes y después de la electrocoagulación	Porcentaje de reducción
20 min	3000	1032	1968	62.89
30 min	2840	968.11	1871.89	65.26
40 min	2300	917.89	1382.11	67.17

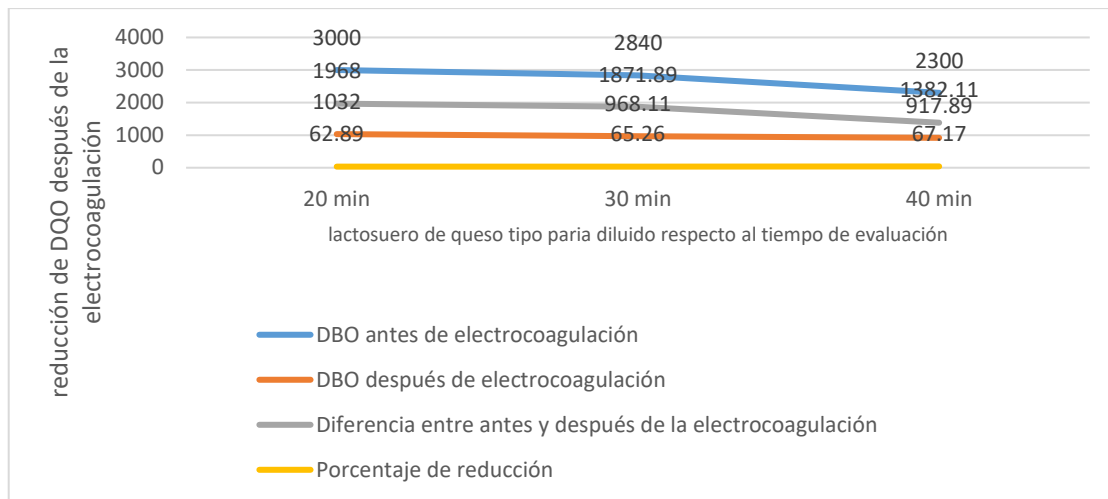


Figura 20. Porcentaje reducción de DQO después de la electrocoagulación de lactosuero de queso Tipo Paria diluido respecto al tiempo de evaluación.

En la Fig. 20, se muestra el porcentaje reducción de DQO después de la electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido respecto al tiempo de evaluación. El mayor porcentaje de reducción de DQO es 67.17 % a 40 min y el menor porcentaje de reducción es a 20 min con 62.89 %. (Callejas y *et al*, 2008), las condiciones de potencial y/o corriente a tiempos prolongados en los cuales ocurre el proceso de electrocoagulación con la mayor eficiencia en la remoción de DQO. La eficacia de eliminación de DQO es directamente proporcional al tiempo de contacto y a la entrada del voltaje, e inversamente proporcional a las separaciones de los electrodos (Ghahremani y *et al*, 2015). Finalmente el porcentaje de remoción de DQO aumenta a medida que aumentan el valor de la densidad de corriente, y el tiempo de tratamiento, obteniendo la mejor remoción de DQO con un 84.96 %, cuando se trabaja con la combinación pH 6.8, densidad de corriente de 44.39 A/m² y un tiempo de reacción de 45 minutos (Apaza, 2018).

b) DBO

En la tabla 17, se observa de prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor tiempo sobre su efecto en la reducción de DBO, en donde se observa que el tiempo de 20 min tuvo

mayor DBO con 794.33 mg/L, el cual fue estadísticamente superior al tiempo de 30 min y 40 min con 728.00 y 668.33 mg/L de DBO respectivamente.

Tabla 17. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor tiempo sobre su efecto en la reducción de DBO

Orden de merito	Tiempo de evaluación (min)	Promedio de DBO (mg/L)	$P \leq 0.05$
1	20	794.33	a
2	30	728.00	b
3	40	668.33	c

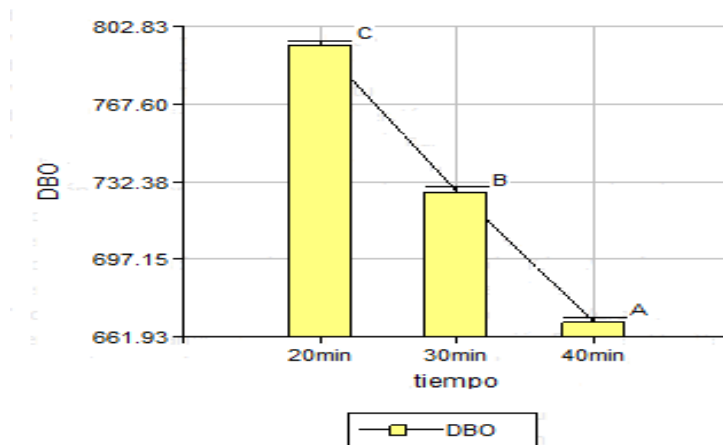


Figura 21. DBO por el tiempo de electrocoagulación

En la Fig.21, Se muestra la DBO por el tiempo de electrocoagulación, indica que existe diferencias significativas a diferentes tiempo 20, 30 y 40 min, las letra A, B y C, asume la diferencias en la medias de los diferentes tiempos. Siendo la tendencia a mayor tiempo mayor reducción de DQO en mg/L. Según (López, 2012), reporta el empleo de electrodos de aluminio y hierro para la electrocoagulación de lactosuero residual, considerando factores como tiempo, pH y voltaje, teniendo como resultado disminución DBO de 86 % siendo en este trabajo a 40 min una reducción de 668.33 mg/L. También (Bazrafshan *et al.*,2013), valora que la electrocoagulación es eficiente y capaz de lograr 98,84 % de eliminación de DQO y 97.95 % de eliminación de DBO, a 60 V durante 60

minutos. Finalmente en un periodo de 30 minutos y para el DBO se redujo de 1991,51 mg/L hasta 100,70 mg/L en el mismo periodo de tiempo donde se alcanzaron las mayores remociones respectivamente. (Perez, 2018), siendo la reducción de la DBO de 794.33 a 668.33 en el presente trabajo.

En la tabla 18, se observa que el mayor porcentaje de reducción se logra con un tiempo de 40 min con 62.97 %, seguido del tiempo de 30 min con 59.09 % y el menor porcentaje se dio con el tiempo de 20 min con 54.61 %.

Tabla 18. Porcentaje de reducción de DBO después de la electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria diluido respecto al tiempo de evaluación.

Tiempo	DBO antes de electrocoagulación	DBO después de electrocoagulación	Diferencia entre antes y después de electrocoagulación	Porcentaje de reducción
20 min	2670	794.33	1875.67	54.61
30 min	1230	728.00	502.00	59.09
40 min	1180	668.33	511.67	62.97

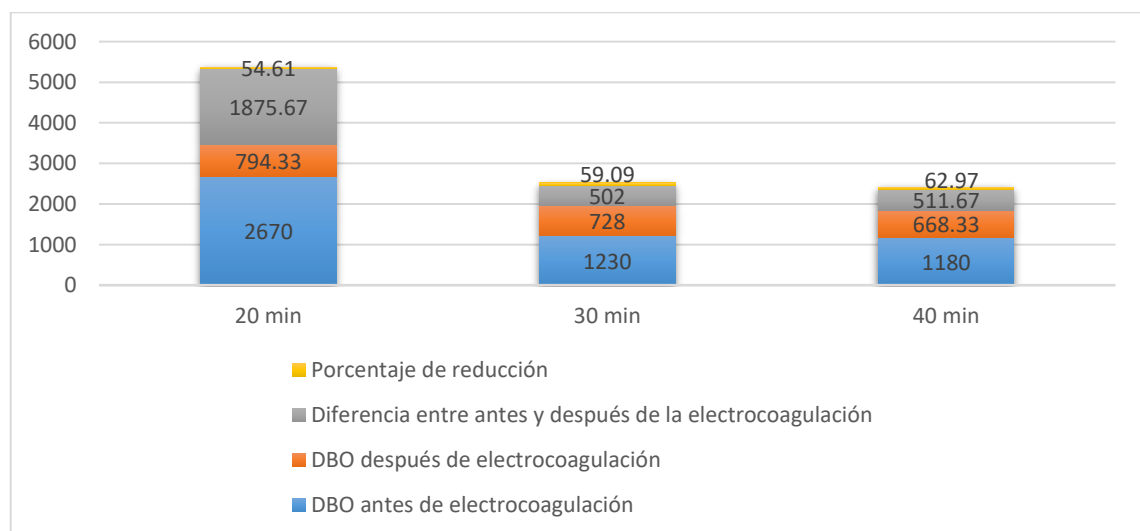


Figura 22. Porcentaje reducción de DBO después de la electrocoagulación de lactosuero de queso Tipo Paria diluido respecto al tiempo de evaluación

En la Fig. 22, se afirma el porcentaje de reducción de DBO después de la electrocoagulación de lactosuero de queso Tipo Paria diluido respecto al tiempo de



evaluación. El que tiene mayor eficacia de reducción a 40 min con un porcentaje de reducción de 62.97 % y el de menor eficacia es de 20 min con una reducción de 54.61 %. El antes y después de la electrocoagulación con la muestra pura y la muestra diluida al 25 %; presenta una disminución máxima de DBO de 90.50 % y 73.12 % respectivamente después de realizar los 13 tratamientos en sus diferentes combinaciones de tiempo y voltaje. (Manrique, 2018), el valor de DBO obtenido antes del tratamiento fue de 5285 mg/L muy superior a lo indicado por los VMA de 500 mg/L, esto se debe a la presencia de compuestos orgánicos disueltos (Velásquez, 2017). Finalmente los tratamientos del suero de leche y su disposición se ha vuelto importante, principalmente por las estrictas normativas actuales en cuanto a su calidad como efluente (Conde, 2012).

4.5 Efecto de electrocoagulación de lactosuero ácido de queso Tipo Paria con Agua destilada (0, 10 y 20 %) y tiempo de (20, 30 y 40 min) en la reducción de DQO

a) DQO

En la tabla 19, se observa la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de DQO, en donde el tratamiento conformado por agua destilada al 0 % con el tiempo de 20 min tuvo mayor DQO con 1503.33 mg/L, el cual fue estadísticamente superior a los demás tratamientos, seguido del tratamiento conformado por agua destilada al 0 % con el tiempo de 30 min con un DQO de 1441.33 mg/L, el tratamiento agua destilada al 0 % con el tiempo de 40 min tuvo una DQO de 1400.33 mg/L. En último lugar se ubica el agua destilada al 20 % con los tiempos de 20, 30 y 40 min con valores de DQO de 620.33, 561.67 y 502.00 mg/L respectivamente, los cuales estadísticamente son diferentes entre sí.

Tabla 19. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de DQO.

Orden de mérito	Porcentaje de Agua destilada (%)	Tiempo de evaluación (min)	Promedio de DQO (mg/L)	$P \leq 0.05$
1	0	20	1503.33	1
2	0	30	1441.33	2
3	0	40	1400.33	3
4	10	20	972.33	4
5	10	30	901.33	5
6	10	40	851.33	6
7	20	20	620.33	7
8	20	30	561.67	8
9	20	40	502.00	9

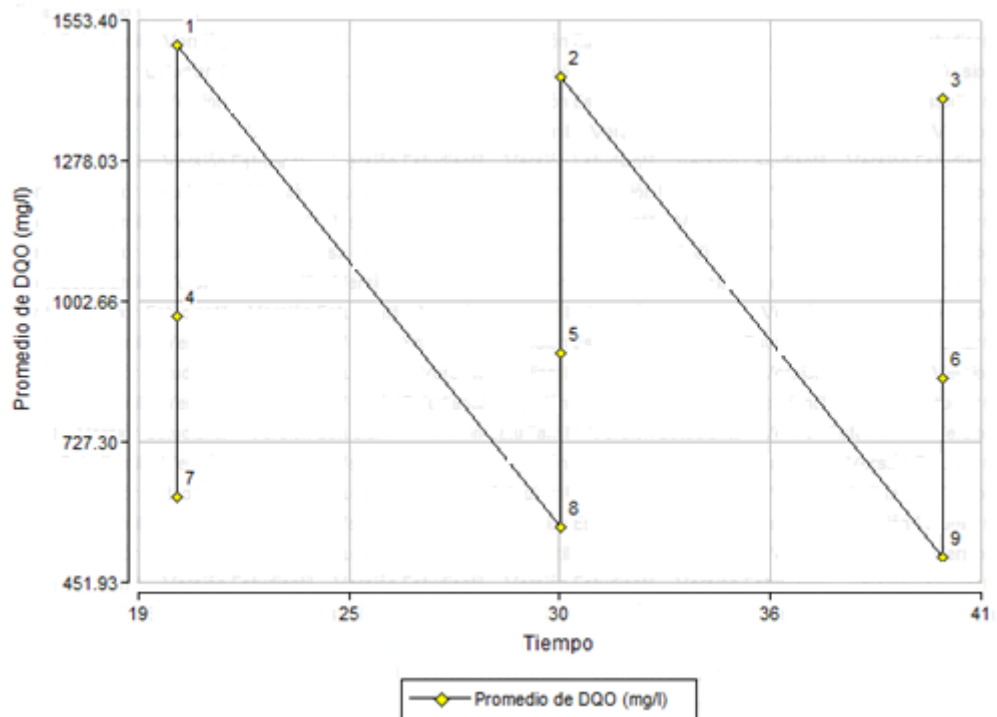


Figura 23. Factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de DQO

En la Fig. 23, se muestra el factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de DQO; a 0 % de agua destilada y 20 min de electrocoagulación para el lactosuero ácido de queso Tipo Paria es de mayor promedio de DQO con 1503.33 mg/L; al 20 % de agua destilada y 40 min de electrocoagulación para el lactosuero ácido de queso Tipo Paria es el de menor promedio de DQO con 502 mg/L por lo tanto el de mejor

resultado. (Parra y *et al*, 2014), Para la carga de 3000 mg DQO L/día y 4 000 mg DQO L/día, la eficiencia de remoción de DQO fue 79,97 % y 66,35 %, respectivamente. Así mismo (Rodriguez, 2018) redujo el DQO, desde de 2761,2 mg/L hasta 263,07 mg/L de DQO.

b) DBO

En la tabla 20, se observa la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de DBO, en donde el tratamiento conformado por agua destilada al 0 % con el tiempo de 20 min tuvo mayor DBO con 1349.67 mg/L, el cual fue estadísticamente superior a los demás tratamientos, seguido del tratamiento conformado por agua destilada al 0 % con el tiempo de 30 min con un DBO de 1282.67 mg/L, el tratamiento agua destilada al 0 % con el tiempo de 40 min tuvo una DBO de 1212.00 mg/L. En último lugar se ubica el agua destilada al 20 % con los tiempos de 20, 30 y 40 min con valores de DBO de 441.67, 402.67 y 351.33 mg/L respectivamente, los cuales estadísticamente son diferentes entre sí.

Tabla 20. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de DBO.

Orden de mérito	Porcentaje de agua destilada (%)	Tiempo de evaluación (min)	Promedio de DBO (mg/L)	$P \leq 0.05$
1	0	20	1349.67	1
2	0	30	1282.67	2
3	0	40	1212.00	3
4	10	20	572.67	4
5	10	30	498.67	5
6	10	40	460.67	6
7	20	20	441.67	7
8	20	30	402.67	8
9	20	40	351.33	9

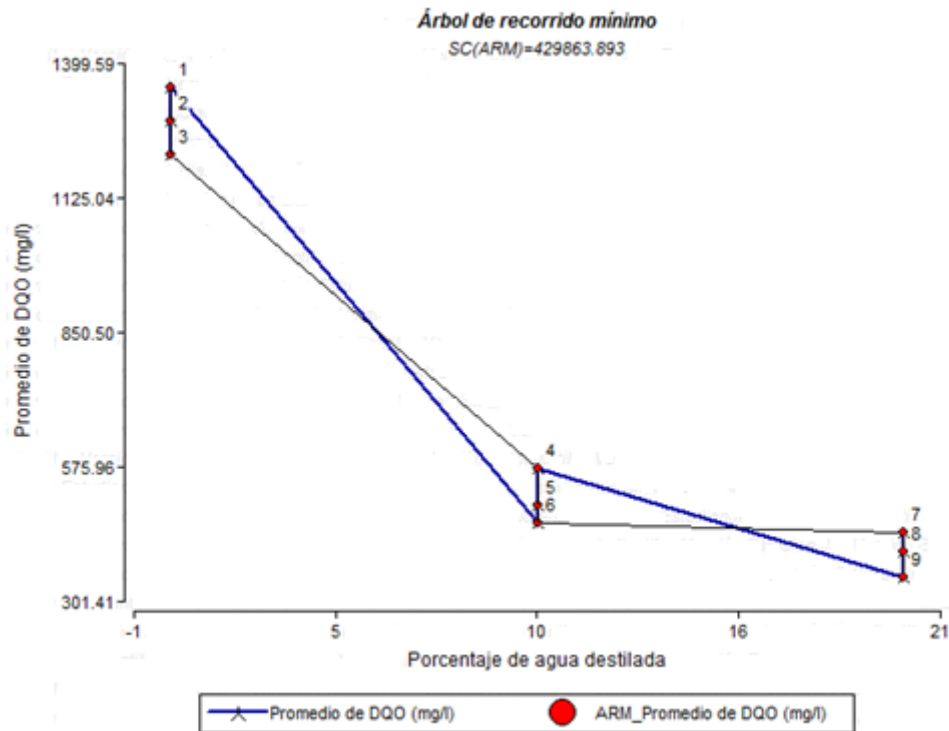


Figura 24. Factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de DBO

En la Fig.24, se observa el factor agua destilada y tiempo sobre su efecto en la reducción de DBO. La tendencia nos indica que a menor porcentaje de agua destilada y menor tiempo de electrocoagulación mayor promedio de DBO. Al 0 % de agua destilada y en 20 min de electrocoagulación se obtiene 1349.67 mg/L del DBO; también al 20 % de agua destilada y en 40 min de electrocoagulación se obtiene 351.33 mg/L lo cual es lo deseable. La reducción de DBO a niveles 10 y 15 voltios: a partir de los 30 minutos vuelve a incrementar gradualmente el DBO debido a la saturación de electrodos conforme aumenta el tiempo (Huijuan, 2010). Con el aumento de la tensión aplicada y el tiempo de reacción; los resultados que obtuvieron indican que la electrocoagulación es eficiente y capaz de lograr 98,84 % (Apaza, 2018). La remoción del DBO, en donde se observa que el mayor porcentaje fue de 94,94 % a las condiciones de 10 voltios y un tiempo de 30 minutos (Rodriguez, 2018).



V. CONCLUSIONES

- Los análisis fisicoquímicos de lactosuero ácido de queso Tipo Paria se obtuvieron un valor inicial de 1110 NTU de turbiedad; el tratamiento más efectivo es de 20 % de agua destilada y 40 min de electrocoagulación se obtiene una disminución de 93.5 NTU. Así mismo en la reducción de aceite y grasa se obtiene un promedio inicial de 290 mg/L, el tratamiento más efectivo es de 20 % de agua destilada y 40 min de electrocoagulación disminuyendo a 31.95 mg/L. Finalmente existe variación en las mediciones del pH. Con un valor inicial de 4.11, al 20 % de agua destilada y un tiempo de 40 min se obtiene un pH de 7.45.
- El reactor a escala de laboratorio. tuvo una excelente disminución en la Demanda Química de oxígeno y demanda Bioquímica de Oxígeno, presentando una alta disminución en lo cual fue importante para los objetivos específicos del proyecto de tesis realizado.
- El lactosuero ácido de queso Tipo Paria para el caso de DQO y DBO existe una tendencia a mayor cantidad de agua destilada y a mayor tiempo menor DQO y DBO en el lactosuero ácido de queso Tipo Paria, las repeticiones que fueron realizados para la reducción de DQO con mayor eficacia fue la muestra al 20 % de agua destilada y a un tiempo de 40 min que se obtuvo una reducción de 75.79 %. Para el DBO el mayor porcentaje de reducción se logró con la muestra al 20 % de agua destilada y a un tiempo de 40 min con una reducción de 65.68%. indicando que existe diferencias significativas a diferentes tiempos y diluciones con agua destilada.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos similares con la utilización de aguas residuales para estudiar los parámetros de electrocoagulación según su distribución geográfica y altitud.
- Se recomienda realizar pruebas con un mayor número de placas para evaluar si estos afectan significativamente en la disminución de la Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno.
- Evaluar el gasto de energía de electrocoagulación por volumen de lactosuero residual tratado con el fin de conocer el costo y beneficio del método electroquímico de electrocoagulación.
- En las pruebas de laboratorio se utilizó como material para los electrodos el aluminio y el fierro, por lo cual se recomienda realizar pruebas con otros materiales como acero inoxidable, cobre, otros.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abaigar, A. (2009). El lactosuero en la alimentación del ganado porcino. *ITG Ganadero*, 13-17.
- Aguilar, E. (2015). *Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. Tesis Magister*. Lima, Perú: UNMSM.
- Aider, M., Halleux, D., & Melnikova, I. (2009). Skim acidic milk whey cryoconcentration and assessment of its functional properties. *Impact of processing conditions. Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 334-341.
- Almeida, C. (2011). *Estudo da Aplicação de UV/F ENTON (Fe²⁺/H₂O₂) no Tratamento de Efluentes de Laticínio*. Sao Paulo: Univ. Sao Paulo.
- Apaza, H. (2018). "Sistema combinado electrocoagulación-filtro biológico para la remoción de carga orgánica de los efluentes lácteos". Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA ESCUELA DE POSGRADO MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES.
- Arango, A., & Garcés, L. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de una planta de una industria láctea. *Universidad EAFIT*, 56-57.
- Arango, R. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Revista Universidad EAFIT*, 56-67.
- Arango, R. (2012). proyecto de investigación "Evaluación técnico-económica del uso de electrocoagulación en aguas residuales de la industria láctea. *Universitaria La sallista*, 59-67.
- Arundel, J. (2008). *tratamiento de aguas negras y efluentes industriales*. España: Acibia.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. (2014). *boletín informativo Gestión de la Calidad del Agua*. Lima. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI.
- Barboza, I. (2011). *Reducción de la carga de los contaminantes de las aguas residuales de la planta de tratamiento de Totoro-Ayacucho empleando la técnica de electrocoagulación*. Lima: Magister.Lima, Peru, UNI.
- Barrera, C. (2014). Historia y Evolución de la electrocoagulación. *Aplicaciones electroquímicas para el tratamiento de aguas residuales*, 165-180 p.
- Bayramoglu, M., Kobya, M., Can, O. T., & Sozbir, M. (2004). Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. *Separation and Purification Technology*, 117-125.
- Bazrafshan, E., Moein, H., Kord Mostafapour, F., & Nakhaie, S. (2013). Application of electrocoagulation process for dairy wastewater treatment. *Journal of Chemistry. Journal of Chemistry*.



- Bryon, H. (1999). *Elementos de tecnología de alimentos*. Mexico: México: Continental, S.A. de C.V.
- Butler, E., Hung, Y., Ruth, & Suleiman, M. (2011). Electrocoagulation in wastewater treatment. *Tesis Magister. Water 3*, 495-525p.
- Callejas , J., Prieto , F., Marmolejo , Y., Reyes , V., & Bustos , E. (2008). Depuración por electrocoagulación en un lactosuero: Cinética del proceso. *Centro de Investigaciones y Desarrollo en Tecnologías Electroquímicas, Querétaro, México*, 246-260.
- Casado, P. (1995). *"Nuevas tecnologías de Aprovechameinto del Lactosuero"*. Universidad Cantabria Santander: santander España: uc.
- Chen, T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Department of Information Management*, 1-9.
- Conde, E. (2012). *Evaluación del proceso de electrocoagulación sobre aguas de lavado con contenido de lactosuero*. cali: Universidad del valle facultad de ingeniería.
- Darchen, A. (2010). Tratamiento de efluentes lacteos por electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio. *Ciencia del Medio Ambiente*, 967-960.
- Diaz, C. E. (2014). *Aplicacines Electroquimicas al tratamiento de aguas residuales*. Reverte.
- Doyle, & P. (2002). *Investigations on the Recovery of Phosphorus from Wastewater by Crystallization*. Texas: Universal - publisher.
- Ghahremani, H., Bagheri, S., Hassani, S., & Khoshchehreh, M. (2012). Treatment of dairy industry wastewater using an electrocoagulation process. . *Advances in Environmental Biology*, 1987-1901.
- Grupo del Banco Mundial. (2007). *valores del agua residua*. Ginebra: World Bank Group.
- Gunukula, S. (2011). Electrocoagulation /Flotation treatment of synthethic surface water. *Tesis Master. Ohio, USA, Cleveland State University*, 116 p.
- Guray, G. (2008). Tratamiento electroquímico de aguas residuales de suero y optimización de las condiciones de tratamiento con metodologia de superficie . *Diario de materiales peligrosos Mexico*, 15(1): 69-80.
- Heffron, J. (2009). Removal of trace heavy metals from drinking water by electrocoagulación. *Tesis magister Wisconsin USA Marquette University*, 93 p.
- Hendricks, D. (2006). Water treatment: physical and chemical (civil and environmental engineering). *CRC Press*, 1266p.
- Hernandez, L. (2011). investigacion sobre procesos avanzados de tratamiento de depuracion de aguas mediante electrocoagulacion. *Obtenido de investigacion sobre procesos avanzados de tratamiento de y depuracion de aguas mediante electrocoagulacion*.



- Holt, P. (2005). The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemosphere*, 355-367.
- Huijuan Liu. (2010). Visible-light sensitive cobalt-doped BiVO₄ (Co-BiVO₄) photocatalytic composites for the degradation of methylene blue dye in dilute aqueous solutions. *Applied Catalysis B: Environmental*, 214-221.
- Humpire, F. (2017). "Efecto del pH y Tiempo en la Depuración de Lactosuero Residual por electrocoagulación". Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Jovanovic, S., Barac, M., & Macej, O. (2005). Whey proteins-properties and possibility of application. *Mljekarstvo*, 215-233.
- Kabdaşlı, I., Arslan-Alaton, I., Ölmez-Hancı, T., & Tünay, O. (2012). Electrocoagulation application for industrial wastewaters. *a critical review Environmental technology review*, 2-45 P.
- Lope, D. (2015). *Reducción de la Demanda Química de Oxígeno de efluentes quesería mediante un biodigestor anaerobio*. Puno: UNA-Puno.
- Lopez , P. (2012). *Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea*. . Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador. Ingeniería.
- López , P., & Harnisth, A. (2016). Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. . <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n1.84>, 7-13.
- Madhusudhan C., C., Nagarajappa, D., & Manjunath, N. (2015). Performance evaluation of electrocoagulation process in treating dairy wastewater using mono-polar electrodes. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2319-8753.
- Manrique, L. (2018). *Modelo de Celda Electrocoagulación para la Disminución de la DBO del Lactosuero de la Planta Piloto de Leche la Molina*. tingo maria: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Menéndez , A. (2018). *Reducción de la Demanda Química de Oxígeno en Lactosuero Mediante el Proceso Fenton*. Puno: repositorio Una Puno.
- METCALF, & EDDY. (1995). *Ingeniería de aguas residuales*. España: McGraw-Hill.
- MINAM. (17 de Marzo de 2010). Límites máximos permisibles . *El peruano*.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2017). Estudio de la Ganadería Lechera en el Perú. *Análisis de su Estructura, Dinámica y Propuestas de Desarrollo*. Lima, Perú, 84 p.
- Mollah, M. (2001). Electrocoagulation (EC). *Science and applications: Journal of Hazardous Materials*, 29-41.
- Navarro , F. (2007). *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional*. Albacete: Universidad de Castilla-La Mancha.



- Noubactep, C. (2010). The fundamental mechanism of aqueous contaminant removal by metallic iron. *Chemical Engineering Journal*, 454-460.
- Paris , X. (2009). *Obtención de exopolisacáridos de interés industrial a partir de lactosueros y permeatos*. España: . Tesis Doctoral. Universidad de Granada, Facultad de Farmacia. Departamento de Microbiología.
- Parra , A., & Campos , R. (2014). Evaluación del comportamiento de un reactor UASB con diferentes cargas orgánicas provenientes de lactosuero. *Producción más limpia*, 23-30.
- Perez, J., & Rodriguez, R. (2018). *Remoción de DQO y DBO del lactosuero acido mediante el una celda de electrocoagulación*. Huancayo: Universidad Nacional del centro del Peru.
- Prieto, G. F., & Callejas, E. J. (2012). *Electrocoagulación : una alternativa para depuración de lactosuero residual*. AIDIS, vol.5, 3-6 p.
- Rahmani, A. (2008). Removal of water turbidity by the electrocoagulation method. *Journal of research in health sciences*, 18-24.
- Ramirez, D. (2019). *Remoción de materia orgánica de aguas residuales de la industria láctea por el método de electrocoagulación, utilizando energía eólica*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Peru.
- Restrepo, A., Arango, A., & Garcés, L. F. (2006). La Electrocoagulación. *retos y oportunidades en el tratamiento de aguas*, 58-77 p.
- Rodriguez , C. (2006). *Demanda Química de Oxígeno por Reflujo Cerrado y Volumetrica*. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Ronda , E. (2000). *"El suero de quesería del ayer y el presente"*. España: Real Academia deCienciasVeterinarias.
- Serway , R. (2005). *"Electricidad y Magnetismo"* Ed. España: Ed. Cengage Learning, 3a Edición,.
- Szpyrkowicz, L. (2002). Electrocoagulation of textile wastewater bearing disperse dyes. *Annali di chimica*, 1025-1034.
- Trompette, A. (2009). Sobre la influencia crucial de algunos electrolitos de soporte durante la electrocoagulación en presencia de electrodos de aluminio. *Diario de materiales peligrosos*, 1282-1288.
- Veisseyre, R. (1988). *Lactologia Tecnica 3ª Edicion*. Argentina: Acribia.
- Velásquez , D. (2017). *"Aplicación del Método de Electrocoagulación al Efluente de la Planta piloto de leche "la Molina" "*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Von Hesse, M. (10 de Enero de 2015). Decreto Supremo N° 003-2011 VIVIENDA y modificado por el Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA. *El peruano*.



Willem, S. (2001). *Phosphate recycling in the phosphorus industry. Second International Conference on the Phosphorus from Sewage and Animal Wastes.* The Netherlands: Noordwikerhout.

World Bank Group. (2007). *Environmental . Health, and Safety Guidelines for Dairy Processing.*

ANEXOS

Anexo 1. Equipo para la obtención de la DBO



Anexo 2. Lactosuero ácido de queso Tipo Paria



Anexo 3. Equipo para la obtención de aceites y grasas



Anexo 4. Equipo para obtención de la turbiedad





Anexo 5. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 2



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD ACREDITADA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



LQ - 2021

Nº 001226

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL (suero): Tratamiento 2
PROCEDENCIA : PLANTA QUESERA DE HUATA, DISTRITO HUATA, PROVINCIA PUNO - PUNO
INTERESADO : RICHA R MECHILL MACHACA VARGAS
MOTIVO : INVESTIGACIÓN
MUESTREO : 07/01/2021, por el interesado
ANÁLISIS : 07/01/2021
COD. MUESTRA : B009-000247

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido
COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARAMETROS	UNIDAD	CON TRATAMIENTO 10% de agua t=30 min (3)	CON TRATAMIENTO 10% de agua t=40 min (1)
Potencial de Hidrogeno	pH	6.41	6.67
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	897.00	850.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	501.00	440.00
Aceites y Grasas	mg/L	65.37	45.35
Temperatura	° Celsius	5.7	5.7
Turbiedad	NTU	335.31	295.31

Puno, C.U. 17 de marzo del 2021.
VºBº

LSP

ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 182393



Walter B. Aparicio Aragón
Walter B. Aparicio Aragón, Ph.D.
DECANO FIQ - UNA



Anexo 6. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 2



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD ACREDITADA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



LQ - 2021

Nº 001227

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL (suero): Tratamiento 2
PROCEDENCIA : PLANTA QUESERA DE HUATA, DISTRITO HUATA, PROVINCIA PUNO - PUNO
INTERESADO : RICAR MECHILL MACHACA VARGAS
MOTIVO : INVESTIGACIÓN
MUESTREO : 07/01/2021, por el interesado
ANÁLISIS : 07/01/2021
COD. MUESTRA : B009-000247

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido
COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARAMETROS	UNIDAD	CON TRATAMIENTO 10% de agua t=30 min (1)	CON TRATAMIENTO 10% de agua t=30 min (2)
Potencial de Hidrogeno	pH	6.45	6.43
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	900.00	907.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	500.00	495.00
Aceites y Grasas	mg/L	65.41	65.47
Temperatura	° Celsius	15.7	15.71
Turbiedad	NTU	335.47	335.53

Puno, C.U. 17 de marzo del 2021
VºBº

LMP

ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 182363



W. Aparicio Aragón
DECANO ; FIQ ; UNA



Anexo 7. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 2



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD ACREDITADA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



LQ - 2021

Nº 001228

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL (suero): Tratamiento 2
PROCEDENCIA : PLANTA QUESERA DE HUATA, DISTRITO HUATA, PROVINCIA PUNO - PUNO
INTERESADO : RICHAH MECHILL MACHACA VARGAS
MOTIVO : INVESTIGACIÓN
MUESTREO : 07/01/2021, por el interesado
ANÁLISIS : 07/01/2021
COD. MUESTRA : B009-000247

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido
COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARAMETROS	UNIDAD	CON TRATAMIENTO 10% de agua t=20 min (2)	CON TRATAMIENTO 10% de agua t=20 min (3)
Potencial de Hidrogeno	pH	5.47	5.51
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	975.00	972.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	576.00	572.00
Aceites y Grasas	mg/L	98.31	98.41
Temperatura	° Celsius	15.7	15.7
Turbiedad	NTU	380.47	380.45

Puno, C.U. 17 de marzo del 2021
v°B°


ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 182393


Walter B. Apanteo Aragón, Ph.D.
DECANO - FIQ - UNA



Anexo 8. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 2



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD ACREDITADA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



LQ - 2021

Nº 001229

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL (suero): Tratamiento 2
PROCEDENCIA : PLANTA QUESERA DE HUATA, DISTRITO HUATA, PROVINCIA PUNO - PUNO
INTERESADO : RICHAR MECHILL MACHACA VARGAS
MOTIVO : INVESTIGACIÓN
MUESTREO : 07/01/2021, por el interesado
ANÁLISIS : 07/01/2021
COD. MUESTRA : B009-000235

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido
COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARAMETROS	UNIDAD	SIN TRATAMIENTO 10% de agua	CON TRATAMIENTO 10% de agua t=20 min (1)
Potencial de Hidrogeno	pH	5.44	6.10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	2840.00	970.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	1230.00	570.00
Aceites y Grasas	mg/L	135.39	98.44
Temperatura	° Celsius	15.7	15.7
Turbiedad	NTU	750	380.35

Puno, C.U. 17 de marzo del 2021
VºBº

ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 162369





Anexo 9. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 1



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD ACREDITADA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



LQ - 2021

Nº 001234

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL (suero): Tratamiento 1
PROCEDENCIA : PLANTA QUESERA DE HUATA, DISTRITO HUATA, PROVINCIA PUNO - PUNO
INTERESADO : RICHAH MECHILL MACHACA VARGAS
MOTIVO : INVESTIGACIÓN
MUESTREO : 07/01/2021, por el interesado
ANÁLISIS : 07/01/2021
COD. MUESTRA : B009-000235

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido
COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARAMETROS	UNIDAD	SIN TRATAMIENTO	CON TRATAMIENTO 0% de agua t=20 min (1)
Potencial de Hidrogeno	pH	4.11	5.14
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	3000.00	1500.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	2670.00	1350.00
Aceites y Grasas	mg/L	290.00	170.00
Temperatura	° Celsius	15	23
Turbiedad	NTU	1110	700

Puno, C.U. 17 de marzo del 2021.
VºBº


ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 162393


DECANO
Walter B. Aparicio Aragón, Ph.D.
DECANO ; FIQ ; UNA



Anexo 10. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 1



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD ACREDITADA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



LQ - 2021

Nº 001230

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL (suero): Tratamiento 1
PROCEDENCIA : PLANTA QUESERA DE HUATA, DISTRITO HUATA, PROVINCIA PUNO - PUNO
INTERESADO : RICHAR MECHILL MACHACA VARGAS
MOTIVO : INVESTIGACIÓN
MUESTREO : 07/01/2021, por el interesado
ANÁLISIS : 07/01/2021
COD. MUESTRA : B009-000235

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido
COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARAMETROS	UNIDAD	CON TRATAMIENTO 0% de agua t=40 min (2)	CON TRATAMIENTO 0% de agua t=40 min (3)
Potencial de Hidrogeno	pH	5.47	5.51
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	1401.00	1400.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	1214.00	1212.00
Aceites y Grasas	mg/L	130.42	130.33
Temperatura	° Celsius	23	23
Turbiedad	NTU	610.33	610.30

Puno, C.U. 17 de marzo del 2021.
v°B°


ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 182393



Wolmer B. Aparicio Aragón, Ph.D.
DECANO - FIQ - UNA



Anexo 11. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 1



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD ACREDITADA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



LQ - 2021

Nº 001231

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL (suero): Tratamiento 1
PROCEDENCIA : PLANTA QUESERA DE HUATA, DISTRITO HUATA, PROVINCIA PUNO - PUNO
INTERESADO : RICHAH MECHILL MACHACA VARGAS
MOTIVO : INVESTIGACIÓN
MUESTREO : 07/01/2021, por el interesado
ANÁLISIS : 07/01/2021
COD. MUESTRA : B009-000235

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido
COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARAMETROS	UNIDAD	CON TRATAMIENTO 0% de agua t=30 min (3)	CON TRATAMIENTO 0% de agua t=40 min (1)
Potencial de Hidrogeno	pH	5.33	5.49
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	1441.00	1400.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	1283.00	1210.00
Aceites y Grasas	mg/L	150.35	130.47
Temperatura	° Celsius	23	23
Turbiedad	NTU	660.50	610.40

Puno, C.U. 17 de marzo del 2021.
VºBº


ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 182393


Walter B. Aparicio Aragón, Ph.D.
DECANO - FIQ - UNA



Anexo 12. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 1



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD ACREDITADA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



LQ - 2021

Nº 001232

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL (suero): Tratamiento 1
PROCEDENCIA : PLANTA QUESERA DE HUATA, DISTRITO HUATA, PROVINCIA PUNO - PUNO
INTERESADO : RICHAR MECHILL MACHACA VARGAS
MOTIVO : INVESTIGACIÓN
MUESTREO : 07/01/2021, por el interesado
ANÁLISIS : 07/01/2021
COD. MUESTRA : B009-000235

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido
COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARAMETROS	UNIDAD	CON TRATAMIENTO 0% de agua t=30 min (1)	CON TRATAMIENTO 0% de agua t=30 min (2)
Potencial de Hidrogeno	pH	5.30	5.49
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	1440.00	1443.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	1280.00	1285.00
Aceites y Grasas	mg/L	150.31	150.37
Temperatura	° Celsius	23	23
Turbiedad	NTU	660.44	660.30

Puno, C.U. 17 de marzo del 2021.
vºBº


ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 182993


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DECANO
Walter E. Aparicio Aragón, Ph.D.
DECANO - FIQ - UNA



Anexo 13. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 3



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD ACREDITADA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



LQ - 2021

Nº 001233

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL (suero): Tratamiento 1
PROCEDENCIA : PLANTA QUESERA DE HUATA, DISTRITO HUATA, PROVINCIA PUNO - PUNO
INTERESADO : RICAR MECHILL MACHACA VARGAS
MOTIVO : INVESTIGACIÓN
MUESTREO : 07/01/2021, por el interesado
ANÁLISIS : 07/01/2021
COD. MUESTRA : B009-000235

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido
COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARAMETROS	UNIDAD	CON TRATAMIENTO 0% de agua t=20 min (2)	CON TRATAMIENTO 0% de agua t=20 min (3)
Potencial de Hidrogeno	pH	5.9	5.15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	1507.00	1503.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	1352.00	1347.00
Aceites y Grasas	mg/L	170.30	170.70
Temperatura	° Celsius	23	23
Turbiedad	NTU	700.35	700.45

Puno, C.U. 17 de marzo del 2021.
vºBº


ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 182393


DECANO
Walther E. Aparicio Aragón, Ph.D.
DECANO - FIQ - UNA



Anexo 14. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 3



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD ACREDITADA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



Nº 001240

LQ - 2021

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL (suero): Tratamiento 2
PROCEDENCIA : PLANTA QUESERA DE HUATA, DISTRITO HUATA, PROVINCIA PUNO - PUNO
INTERESADO : RICAR MECHILL MACHACA VARGAS
MOTIVO : INVESTIGACIÓN
MUESTREO : 07/01/2021, por el interesado
ANÁLISIS : 07/01/2021
COD. MUESTRA : B009-000253

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido
COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARAMETROS	UNIDAD	CON TRATAMIENTO 10% de agua t=40 min (2)	CON TRATAMIENTO 10% de agua t=40 min (3)
Potencial de Hidrogeno	pH	6.65	6.66
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	851.00	853.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	442.00	443.00
Aceites y Grasas	mg/L	45.33	45.35
Temperatura	° Celsius	5.7	5.7
Turbiedad	NTU	295.31	295.30

Puno, C.U. 19 de marzo del 2021
VºBº


ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 192393


DECANO
PUNO - PERU

Walter B. Aparicio Aragón. Ph.D.
DECANO - FIQ - UNA



Anexo 15. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 3



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD ACREDITADA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



Nº 001239

LQ - 2021

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL (suero): Tratamiento 3
PROCEDENCIA : PLANTA QUESERA DE HUATA, DISTRITO HUATA, PROVINCIA PUNO - PUNO
INTERESADO : RICAR MECHILL MACHACA VARGAS
MOTIVO : INVESTIGACIÓN
MUESTREO : 07/01/2021, por el interesado
ANÁLISIS : 07/01/2021
COD. MUESTRA : B009-000253

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido
COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARAMETROS	UNIDAD	SIN TRATAMIENTO 20% de agua	CON TRATAMIENTO 20% de agua ±20 min (1)
Potencial de Hidrogeno	pH	7.08	7.13
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	2300.00	620.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	1180.00	460.00
Aceites y Grasas	mg/L	87.91	66.43
Temperatura	° Celsius	15.7	15.7
Turbiedad	NTU	350.00	170.41

Puno, C.U. 19 de marzo del 2021.
VºBº

LSP

ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIO - UNA - CIP - 182393



Walter B. Aparicio Aragón, Ph.D.
DECANO FIO UNA



Anexo 16. Análisis Físico químico de agua residual (suero): Tratamiento 3



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD ACREDITADA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



Nº 001238

LQ - 2021

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL (suero): Tratamiento 3
PROCEDENCIA : PLANTA QUESERA DE HUATA, DISTRITO HUATA, PROVINCIA PUNO - PUNO
INTERESADO : RICHAR MECHILL MACHACA VARGAS
MOTIVO : INVESTIGACIÓN
MUESTREO : 07/01/2021, por el interesado
ANÁLISIS : 07/01/2021
COD. MUESTRA : B009-000253

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido
COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARAMETROS	UNIDAD	CON TRATAMIENTO 20% de agua t=20 min (2)	CON TRATAMIENTO 20% de agua t=20 min (3)
Potencial de Hidrogeno	pH	7.10	7.12
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	620.00	621.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	460.00	462.00
Aceites y Grasas	mg/L	66.37	66.39
Temperatura	° Celsius	15.7	15.7
Turbiedad	NTU	170.34	170.31

Puno, C.U. 19 de marzo del 2021.
vºBº

ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 182393



Walther B. Aparicio Aragón, Ph.D.
DECANO - FIO - UNA