



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO**
campus TUXTLA GUTIÉRREZ

Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez

**ADSORCIÓN EN COLUMNAS EMPACADAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PROVENIENTES DE SUERO DE LECHE USANDO DIFERENTES ADSORBENTES.**

REPORTE FINAL DE RESIDENCIA PROFESIONAL QUE PRESENTA:

ARTURO ANTONIO BELLI ALONSO

Como requisito para acreditar la Residencia Profesional de la Licenciatura en:

INGENIERIA QUÍMICA

Asesores correspondientes:

Interno

RENE CUESTA DÍAZ

Externo

ARNULFO ROSALES QUINTERO

Revisor

ROCIÓ FERRERA ALCANZAR

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 07 de Junio del 2022



AGRADECIMIENTO

Agradezco a las personas que contribuyeron de manera directa para la realización de este proyecto y sobre todo en mi superación profesional y que siempre se preocupa por el bienestar de sus alumnos. Gracias por todo ese apoyo **Rene, Arnulfo y Roció**, que me apoyaron e hicieron posible que este trabajo se realice con éxito.

Al **Instituto Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez**, Universidad de carácter pública por su apoyo en la realización de las pruebas a nivel piloto en el Laboratorio de Ing. Química pesada y Polo Tecnológico Nacional para el Desarrollo de Investigación y Pruebas Analíticas en Biocombustibles.

A todos mis maestros gracias por guiarme en este nuevo camino en el desarrollo profesional y emplear mi conocimiento al mundo laboral.

A mis compañeros y amigos les agradezco su paciencia, confianza y amistad.

A mi madre **Cianet** y mis hermanos **Reyes, Sergio y José** que estuvieron en las buenas y las malas, pero siempre positivos en el término de la carrera gracias.

RESUMEN

Uno de los aspectos medioambientales de alto impacto en las industrias lácteas es la descarga de aguas residuales, tanto por la materia orgánica contaminante como por la considerable generación de efluentes. En el presente estudio, se implementó la adsorción de efluentes de una planta productora de Quesos de Coita (Chiapas) con una carga promedio de contaminante de 59,573 mg/L en términos de la demanda química de oxígeno (DQO), y 35,000 mg/L de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), un pH 4.3, con una densidad (ρ) 1.031 gr/cm³, y viscosidad dinámica (μ D) 1.3025 Mpa*Seg

En el presente trabajo se realiza a nivel laboratorio en columnas de adsorción empacadas con diferentes tipos de adsorbentes.

La adsorción de la materia orgánica fue través del método de adsorción a base de los diferentes tipos de adsorbentes antes mencionados, donde la mezcla de los adsorbentes resulto el tratamiento adecuado, base a dos corridas de la misma muestra a través de dos columnas empacadas con la mezcla de carbón y zeolita. Esta adsorción alcanzó porcentajes de 50.25% en la demanda química de oxígeno (DQO) y 84.41% en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), densidad (ρ) 1.0112 g/cm³, viscosidad dinámica (μ) 0.99 mPa*S con un pH de 8.5.

La capacidad de adsorción del carbón activado y la zeolita comercial empleado en la remoción del suero de leche, bajo condición de agitación magnética mejora cuando aumenta el pH. La máxima capacidad de adsorción del carbón activado en condición discontinua fue del 16%, con un pH de 5, cuando la máxima capacidad de adsorción de la zeolita en condición discontinua fue de 15% a 4.9 pH

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. Introducción..... | 7 |
| 2. Descripción de la empresa..... | 9 |
| 2.1. Historia..... | 9 |
| 2.2. Escudo..... | 10 |
| 2.3. Misión..... | 10 |
| 2.4. Visión..... | 10 |
| 2.5. Política ambiental | 10 |
| 2.6. Política de equidad de genero..... | 11 |
| 3. Problemas a resolver..... | 12 |
| 4. Objetivos..... | 13 |
| 4.1. Objetivos general..... | 13 |
| 4.2. Objetivos específicos..... | 13 |
| 5. Justificación..... | 14 |
| 6. Marco Teórico..... | 15 |
| • 6.1 Suero..... | 15 |
| ➤ 6.1.1. Proteínas del suero..... | 15 |
| ➤ 6.1.2. Caracterización del suero de leche..... | 17 |
| • 6.2. Adsorción..... | 18 |
| • 6.3. Tipos de Adsorbentes..... | 19 |
| ➤ 6.3.1. Carbón activado..... | 19 |
| ➤ 6.3.2. Propiedades del carbón activado..... | 20 |
| • 6.4. Zeolita..... | 21 |
| ➤ 6.4.1. Estructura y clasificación..... | 21 |
| ➤ 6.4.2. Propiedades de la zeolita..... | 22 |
| • 6.5. Isotermas de adsorción..... | 23 |
| ➤ 6.5.1. Isoterma de Freundlich..... | 24 |
| ➤ 6.5.2. Isoterma de Langmuir..... | 25 |
| • 6.6. Aguas residuales..... | 26 |
| ➤ 6.6.1. Características de las aguas residuales..... | 26 |
| ➤ 6.6.2. Aguas residuales industriales lácteas..... | 27 |
| ➤ 6.6.3. Composición típica aguas residuales industrias lácteas..... | 29 |
| • 6.7. Normas..... | 30 |
| ➤ 6.7.1. NMX-AA-030/1-SCFI-2008..... | 30 |
| ➤ 6.7.2. NMX-AA-030/2-SCFI-2011..... | 30 |
| ➤ 6.7.3. NOM-001-SEMARNAT-2021..... | 31 |

| | |
|--|----|
| ➤ 6.7.4. NMX-AA_028-SCFI-2001..... | 32 |
| • 6.8. Demanda Química de Oxígeno..... | 34 |
| ➤ 6.8.1. Método Hach 8000 base la digestión del reactor para la determinación de DQO..... | 34 |
| • 6.9 Demanda Bioquímica de Oxígeno..... | 35 |
| ➤ 6.9.1. Método de Hach Track para la determinación de DBO ₅ | 36 |
| • 7. Procedimiento y Descripción de las actividades..... | 38 |
| ➤ 7.1. Montaje y empaçado de columnas..... | 38 |
| ➤ 7.2. Muestra y análisis de aguas residuales provenientes del suero de leche..... | 38 |
| ➤ 7.3. Pruebas y estabilización de la columna de adsorción..... | 39 |
| ➤ 7.4. Pruebas y estabilización del matraz Erlenmeyer..... | 39 |
| ➤ 7.5. Medición de las variables para determinar los isotermas de adsorción (concentración de contaminantes, DQO, DBO ₅ , pH, temperatura, turbidez, y densidad)..... | 40 |
| ➤ 7.6. Determinación de las isotermas de adsorción..... | 41 |
| ➤ 7.7. Análisis de los resultados obtenidos de los diferentes tipos de adsorbentes como carbón activado, canastillos de silicatos, y zeolitas..... | 41 |
| • 8. Resultados..... | 42 |
| ➤ 8.1. Caracterización del suero de leche de la planta de Quesos de coita..... | 42 |
| ➤ 8.2. Primer tratamiento de las columnas empacadas con diferentes tipos de adsorbentes y suero de leche..... | 42 |
| ➤ 8.3. Segundo tratamiento de las columnas empacadas con diferentes tipos de adsorbentes y suero de leche..... | 45 |
| ➤ 8.4. Tercer tratamiento de las columnas empacadas con diferentes tipos de adsorbentes y suero de leche..... | 48 |
| ➤ 8.5. Isotherma de adsorción del carbón activado..... | 50 |
| ➤ 8.6. Isotherma de adsorción de la zeolita..... | 51 |
| • 9. Conclusiones..... | 53 |
| • 10. Competencias desarrolladas..... | 55 |
| • 11. Referencias..... | 56 |
| • 12. Anexos..... | 58 |
| I. Curvas de calibración de la demanda química de oxígeno marca HACH y HR-COD..... | 58 |
| II. Lectura de absorbancias de los tratamientos y cálculos de DQO..... | 59 |
| III. Tabla de DQO con porcentajes de remoción por los diferentes tratamientos..... | 59 |
| IV. Tabla de DBO ₅ con porcentajes de remoción por los diferentes tratamientos..... | 60 |
| V. Tabla de diferencias de las DQO calculados en diferentes curvas de calibración y diferentes marcas..... | 60 |

| | |
|--|----|
| VI. Fotografía de la DBO5 del suero del queso panela de la planta Lácteos del potrero..... | 61 |
|--|----|

Lista de Figuras

1. Fig.1. Escudo del Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez. (10)
2. Fig.2. Carbón activado granular. (20)
3. Fig.3. Carbón activado en polvo. (20)
4. Fig.4. Arreglo estructural de las capas planas del grafito. (21)
5. Fig.5. Estructura propuesta de las capas del carbón activado. (21)
6. Fig.6. Tetraedro con un átomo de Si (circulo lleno) en el centro y átomos de oxígenos en los vértices. (22)
7. Fig.7. Tetraedro con átomo de Al sustituyendo el Si y unido aun catión monovalente para compensar la diferencia de cargas entre el Si y el Al. (22)
8. Fig.8. Átomo puente para balancear las cargas entre el Al y el Si en una cadena múltiple de tetraedros. (22)
9. Fig.9. Isotherma de adsorción del AMP´5 a pH 7 sobre el WO₃. Modelo de Freundlich. (24)
10. Fig.10. Columna empacada con carbón activado granular con una altura de 20 cm. (38)
11. Fig.11. Columna de adsorción empacada con carbón activado con una altura de 30 cm con un volumen de 150 ml de refresco del grupo FEMSA. (39)
12. Fig.12. Agitador magnético con ácido acético en un matraz Erlenmeyer (40)
13. Fig.13. Bloque de reactor digital marca Hach DRB 200. (40)
14. Fig.14. BOD TRACK II Aparato de DBO respirométrico con accesorios. (40)
15. Fig.15. Lectura de la muestra de la columna empacada con carbón activado en el equipo de Anton Para. (41)
16. Fig. 16. Columna empacada con carbón activado con una altura de 30 cm. (43)
17. Fig.17. Columnas empacadas con zeolita a una altura de 20 y 30 cm. (44)
18. Fig.18. Segunda corrida de las columnas con diferentes combinaciones con diferentes tipos de adsorbentes con el suero de leche. (46)
19. Fig.19. Columnas de adsorción empacadas con la mezcla de zeolita y carbón activado de lado izquierdo la primera corrida y del lado derecho la segunda corrida. (48)

Lista de Tablas

1. Tabla 1. Composición del suero de queserías. (16)
2. Tabla 2. Composición nutricional del lactosuero dulce y ácido (g/L). (17)
3. Tabla 3. Caracterización del queso para la investigación del TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA EN SISTEMAS ANAEROBIOS TIPO UASB. (17)
4. Tabla 4. Análisis de DQO del suero Ultrafiltrado (India,2000). (18)

5. Tabla 5. Caracterización del suero ácido. (18)
6. Tabla 6. Parámetros de Freundlich para la adsorción de las biomoléculas sobre el WO_3 . (25)
7. Tabla 7. Volúmenes de muestra simplificadas. (37)
8. Tabla 8. Caracterización del Suero de Leche de la Planta Quesos de Coita. (42)
9. Tabla 9. Datos de la primera corrida con suero de leche con diferentes adsorbentes y alturas. (43)
10. Tabla 10. Resultados del carbón activado a 30 cm de altura. (43)
11. Tabla 11. Resultados de la columna de 20 cm empacada con carbón activado. (44)
12. Tabla 12. Resultados de la columna de 30 cm de altura. (44)
13. Tabla 13. Resultados de la columna de 20 cm de altura con zeolita. (45)
14. Tabla 14. Datos de la segunda corrida con suero de leche con diferentes combinaciones de adsorbentes. (45)
15. Tabla 15. Resultados de la columna de Carbón activado con Zeolita. (46)
16. Tabla 16. Resultados de la columna de Zeolita con carbón activado. (47)
17. Tabla 17. Resultados de la columna por etapas. (47)
18. Tabla 18. Resultados de la columna empacada con la Mezcla. (48)
19. Tabla 19. Datos de las columnas empacadas con la mezcla de carbón y zeolita. (48)
20. Tabla 20. Resultados de la primera corrida del suero en la mezcla de carbón activado con zeolita. (49)
21. Tabla 21. Resultados de la segunda corrida del suero en la mezcla de carbón activado con zeolita. (49)
22. Tabla 22. Resultados de la agitación magnética. (50)
23. Tabla 23. Datos para realizar el isoterma de adsorción del carbón activado. (50)
24. Tabla 24. Resultados de la agitación magnética. (51)
25. Tabla 25. Datos para realizar el isoterma de adsorción de la zeolita. (51)

Lista de las graficas

1. Grafica 1. Isoterma de adsorción del carbón activado con la ecuación de Langmuir. (51)
2. Grafica 2. Isoterma de adsorción de la zeolita por la ecuación de Langmuir. (52)

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de disponer de agua para satisfacer los requerimientos en procesos productivos industriales, está sujeto al desarrollo de una serie de actividades con el fin de proteger el recurso hídrico, el medio ambiente y la salud humana, contemplados bajo normativas y leyes en el marco legal de la región. Una de ellas es el tratamiento de aguas residuales provenientes de las industrias productoras a través de las cuales se pueden mejorar las condiciones de salud y disminuir la contaminación en las aguas de mar, ríos y lagos.

En efecto la contaminación del agua es uno de los hechos de mayor importancia en la actualidad, debido a que genera diferentes impactos tanto en la salud humana como en el medio ambiente, no sólo de forma inmediata sino también a mediano y largo plazo. Por lo que es necesario contribuir a la prevención de dicha problemática ya que las principales causas de contaminación química y bacteriológica del agua son debidas al mal manejo de aguas residuales agrícolas e industriales.

En este sentido el presente trabajo se enfocará en las aguas residuales provenientes de la industria lácteas y tendrá como finalidad de brindar una propuesta de tratamiento de aguas residuales.

La industria láctea es un sector de la industria que tiene como materia prima la leche procedente de animales (por regla general vacas, cabras y ovejas).

La leche es uno de los alimentos básicos de la humanidad. Los subproductos que genera esta industria se conocen como lácteos e incluyen una amplia gama que van desde los productos fermentados, como el yogur y el queso, hasta los no fermentados: mantequilla, helados, etc.

- La industria láctea que procesa leche líquida y productos con una vida útil corta, tales como yogures, cremas y quesos blandos, tienden a estar ubicadas en la periferia de los centros urbanos cercanos a los mercados de consumo.
- Las plantas que elaboran elementos de vida útil más larga, como la mantequilla, la leche en polvo, queso y suero en polvo, tienden a estar situados en zonas rurales cercanas a la producción de leche.

La mayoría de las plantas de procesamiento de grandes volúmenes se suelen especializar en una gama limitada de productos. Sin embargo, las grandes plantas de producción con una amplia gama de productos son todavía comunes en Europa del Este, un vestigio de la antigua concepción centralizada, impulsado por la oferta del mercado bajo gobiernos comunistas.

En países en desarrollo es común notar que la elaboración de estos productos lácteos se desarrolla en las mismas granjas lecheras. Se necesitan entre 9 y 10 kg de leche de vaca para elaborar 1 kilo de queso. (García. O.T. 2008)

En la propuesta se harán evaluaciones y análisis de parámetros fisicoquímicos, la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) al agua residual, tanto a la entrada como a la salida del sistema, de manera que se puedan contrastar los valores que arrojen estos análisis con las especificaciones de cumplimiento dentro de los parámetros establecidos por normativas medioambientales, con el propósito de eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes presentes en el efluente, obteniendo así, agua de mejor calidad.

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

El Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez es una institución pública con el objetivo de brindar una educación basada en la “ciencia y tecnología con sentido humano.” Esta universidad se fundó en 1971, por iniciativa estatal para contrarrestar la falta de instituciones de educación superior en Chiapas.

2.1. Historia

En la década de los 70’s llegó al estado de Chiapas el movimiento nacional de extensión educativa para la Educación, con la intervención del gobierno del estado de Chiapas ante la federación. Esta gestión dio lugar a la creación del Instituto Tecnológico Regional de Tuxtla Gutiérrez (ITRTG), hoy Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG).

- El 23 de agosto de 1971, se colocó la primera piedra de lo que pronto sería el centro educativo de nivel medio superior principal de la entidad.
- El 22 de octubre de 1972, con una infraestructura de dos edificios con ocho aulas, dos laboratorios y un taller en construcción abre sus puertas el Instituto Tecnológico Regional de Tuxtla Gutiérrez con las carreras de técnico en motores de combustión interna, en electricidad, en químico laboratorista y en máquinas y herramientas.
- En 1974 comenzó el nivel superior, con las carreras de Ingeniería Industrial en Producción e Ingeniería Bioquímica de Productos Naturales.
- En 1980, se amplía las oportunidades de educación para ingresar a las carreras de Ingeniería Industrial Eléctrica y de Ingeniería Química Industrial.
- En 1987 se abrió la carrera de Ingeniería en Electrónica.
- En 1989 se inicia el sistema abierto de la escuela secundaria y esta oferta se reorientó en los niveles superior de Ingeniería Eléctrica y Mecánica Industrial.
- En 1991 llega la licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales.
- Desde 1997, el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ofrece la Especialización en Ingeniería Ambiental (Actualmente ya no existe), como su primer programa de postgrado.
- En 1998 se estableció el programa de posgrado interinstitucional con la Universidad Autónoma de Chiapas para enseñar en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez la Maestría en Biotecnología.
- Desde 2000 abrió la Especialización en Biotecnología y un año después se inició la Maestría en Ciencias en Bioquímica y Licenciatura en Ciencias de la Computación.
- En el año 2012 se acredita el programa educativo de Ingeniería Mecánica, seguido por las carreras de Ingeniería en Electrónica e Ingeniería Industrial por el organismo acreditador CACEI.

2.2. Escudo

En 1974 ocupó el cargo de director del Instituto Ricardo Vidal Ramírez, quien vio la necesidad de adoptar un logotipo para identificar a la institución que se convirtió en el emblema de todos los miembros de la comunidad estudiantil y académica.

- Se compone de un matraz en la parte central que representa las Ciencias Químicas en los lados se ve reforzada por dos rayos que representan la física que implican la electricidad y las áreas de electrónica, el matraz es apoyado por medio de un cojinete con 13 de bolas que representan las áreas relacionadas con la mecánica.
- También representa los elementos que forman la base de la educación tecnológica que apoyan adecuadamente el desarrollo regional.
- En el interior del matraz es un libro abierto que representa el conocimiento que se destila a verter en la sociedad, en el libro hay una flecha Chamula Lacandona atravesada, estos elementos representan las riquezas de la condición étnica de Chiapas.
- Incluye la etiqueta redonda y arqueada de Tecnológico en la parte superior y Tuxtla Gutiérrez en la parte inferior, es necesario aclarar que, en el medio del libro fue inscrito con el número 27, esto correspondió a consecutiva que le fue asignado a la fundación de la institución, pero se retiró cuando el Instituto dejó de ser regional. Los colores son representativos del Instituto de Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez: el rayo rojo, señales azules y blancas en el fondo.



Fig. 1. Escudo del Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez.

2.3. Misión

- Formar de manera integral profesionales de excelencia en el campo de la ciencia y la tecnología con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

2.4. Visión

- Ser una Institución de excelencia en la educación superior tecnológica del sureste, comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.

2.5. Política Ambiental

- El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, establece el compromiso de orientar todos sus procesos, actividades y servicios hacia el respeto al medio ambiente, cumplir con la legislación ambiental y otros requisitos aplicables; promover en su personal, clientes y partes interesadas la prevención de la contaminación, operación y mejora continua de un Sistema de Gestión, Ambiental conforme a la Norma ISO 14001:2004 y su equivalente nacional NMX-SSA-14001-IMNC-2004.

2.6. Política de Equidad de Género

- “El SNIT manifiesta el compromiso de defender los derechos humanos del personal, combatir la discriminación, promover la igualdad de trato y de oportunidades entre hombres y mujeres, establecer acciones para la prevención, atención y sanación de cualquier tipo de hostigamiento, generar un ambiente organizacional libre de violencia, promover la conciliación de la vida laboral con la personal y familiar, asumiendo acciones de responsabilidad social hacia los grupos de interés del sistema”.

3. PROBLEMAS A RESOLVER

La falta de plantas de tratamiento para las aguas residuales en las ciudades y en las industrias, hoteles y explotaciones mineras, agrícolas y ganaderas, ocasiona grandes desechos de aguas contaminadas que hacen mucho daño al medio ambiente. La mayoría de esas aguas es descargada en los ríos, lagos, mares, en los suelos a cielo abierto o en el subsuelo, a través de los llamados pozos sépticos y rellenos sanitarios.

Por lo que día tras día las industrias generan una gran cantidad de aguas residuales respetando ciertas normas implicada, las industrias lácteas tienen que cumplir con la norma NMX-AA-030/2-SCFI-2011; las cuales están establecidas hacia la demanda química de oxígeno (DQO) mientras la NOM-001-SEMARNAT-2021 establece los parámetros para demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), base estas normas las industrias lácteas se rigen para poder descargar sus residuos lácteos (suero de leche, sólidos suspendidos, grasa, etc.) en las aguas residuales industriales.

Las aguas residuales de las industrias lácteas son generalmente neutras o poco alcalinas, pero tienen tendencia a volverse ácidas muy rápidamente a causa de la fermentación del azúcar de la leche produciendo ácido láctico, sobre todo en ausencia de oxígeno y la formación simultánea de ácido butírico, descendiendo el pH a 4,5 – 5,0. La composición de estas aguas incluye sustancias orgánicas disueltas como la lactosa sales minerales y suspensiones coloidales de proteínas (caseína, albúminas, y globulinas) con una DQO entre 2000 – 4000 mg/L y una DBO₅ entre 2000 – 3000 mg/L.

Por lo que se emplea un método a través de torres de adsorción con diferentes tipos de adsorbentes **(carbón activado el cual cumple con la función de eliminar contaminantes como materiales orgánicos, malos olores, actúa atrapando impurezas en el agua como solventes, pesticidas, residuos industriales y otros productos químicos)** mientras la **(Zeolita ofrece un efecto en el adsorción y filtrados superior al de la arena o al de los filtros de carbón, resultando en agua más pura con mejor productividad y requiriendo menos mantenimiento, retiene sólidos suspendidos en los tratamientos)**. Para reducir la cantidad de DQO y DBO₅, disminuir la turbidez del agua, el pH, la densidad; al igual dar una alternativa al suero de leche o suero de queso ya que es un líquido altamente rico en proteínas.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

- ✚ Maximizar la remoción de contaminantes en aguas residuales usando diferentes adsorbentes en columnas empacadas.

4.2. Objetivos específicos

- ✚ Determinar la remoción de contaminantes usando diferentes proporciones de carbón activado granular.
- ✚ Determinar la remoción de contaminantes usando diferentes proporciones de canutillos de silicato.
- ✚ Determinar la remoción de contaminantes usando diferentes de zeolitas y bentonitas.
- ✚ Determinar mediante ajuste numérico en las isothermas de adsorción

5. JUSTIFICACIÓN

En América Latina existen 92 millones de personas sin un adecuado suministro de agua para consumo humano y unos 128 millones sin infraestructura de saneamiento básico. Además, el agua como recurso natural básico para el mantenimiento de la vida, para la continuidad de las labores diarias y el sostenimiento de la economía, es cada vez más escaso debido a la falta de control y el abuso excesivo en su uso y degradación.

A pesar de las inversiones que se han destinado y nuevas estrategias, como la descentralización tanto en los sectores de agua potable y saneamiento, como en los relacionados con el manejo de recursos hídricos y protección del medio ambiente, su impacto será limitado, mientras no se fortalezcan los factores claves que permitan lograr organizaciones y obras sanitarias más eficaces y sostenibles.

El presente trabajo está destinado a las pequeñas empresas como son las industrias lácteas que en gran número existen en Chiapas para reducir la contaminación que generan sus residuos que desechan directamente al alcantarillado sin ningún tratamiento previo contaminando los afluentes a los que llegan.

El sistema propuesto de adsorción con diferentes tipos de adsorbentes (carbón activado y zeolita) como materias primas tratamos de reducir la DQO y DBO₅ de la carga orgánica del suero de leche o de quesos, al igual que ciertas propiedades fisicoquímicas de dichos residuos, siendo un prototipo a nivel laboratorio para buscar un interés de las industrias para implementar en sus instalaciones.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Suero

El suero de leche es considerado también un derivado de la industria láctea, por su alto valor nutritivo y su funcionalidad dentro de la industria alimentaria (Alais, 1985). En lo consiguiente el lactosuero posee una riqueza nutritiva, al ser poseedor de aminoácidos esenciales. En la fase acuosa está presente también lactosa, disacárido que representa la composición mayoritaria del suero, se encuentran además vitaminas liposolubles como la A, D, E, y liposolubles como la C, vitaminas del complejo B, y minerales de gran importancia como el calcio, hierro, fósforo y potasio.

Luego de obtenerse el sólido que llamamos queso a partir de la coagulación de la leche, queda un residuo líquido, el denominado suero de queso o leche, la cantidad de suero residual es aproximadamente de 5 a 10 veces mayor que la del queso producido. Es este un efluente industrial rico en proteínas (6g de proteínas por cada litro). Sus proteínas son muy valiosas para la industria alimentaria y farmacéutica. Puesto que la producción de queso a niveles mundial origina cantidad tal de suero que equivale a (660, 000 Toneladas anuales) de estas proteínas.

A pesar de que la proteína del suero es de mejor calidad que la caseína, actualmente este efluente es desechado o a veces transferido para el consumo de cerdos, desperdiciando así el alto valor nutricional de su proteína. La caseína representa el 78% de la proteína de la leche, según es ligeramente deficiente en los aminoácidos azufrados (metionina y cisteína), mientras que las proteínas del suero, que representan un 17% del total de la proteína de la leche, poseen mayor cantidad de estos aminoácidos, por lo cual su valor biológico es de 1.0, superior al 0.8 de la caseína y comparable con el valor biológico de la proteína del huevo que es de 1.0.

El 50% del Lactosuero producido a nivel mundial es tratado y transformado en productos alimenticios. El 45% es utilizado directamente en forma líquida, 30% se deshidrata para su uso como polvo, 15% se industrializa para extraer lactosa y con el resto se elabora concentrado proteico de Lactosuero en polvo.

6.1.1. Proteínas de suero

Son las proteínas globulares solubles en agua, no coagulables que son separadas de la cuajada, de forma manual o mecánica y representa el 20% de las proteínas presentes en la leche, entre ellas se encuentran lactoalbúminas, lactoglobulinas, inmoglobulinas, lactoferrina, proteasa-pepyonas y lacto peroxidas, las cuales permanecen en el suero tras la acidificación de la leche a pH=4.6 ó por la acción del cuajo, no interviniendo en la formación de la cuajada, razón por la que también se

les denomina proteínas sericas. Se detectan en el suero de quesería una vez separado del gel por tecnologías clásicas.

Las proteínas del suero lácteo representan una mezcla variada de proteínas, las cuales tienen una serie de efectos biológicos, que van desde un efecto anti cancerígeno hasta efectos en la función digestiva.

Sus principales propiedades son:

- A) Emulsificantes muy efectivas
- B) Solubles a pH bajos
- C) Apropriadas en productos acidificados
- D) Buena capacidad de gelatinización
- E) Aumenta la viscosidad
- F) Termolabilida y precipitando progresivamente con los tratamientos térmicos

Las proteínas obtenidas del suero de la leche, después de precipitar la caseína, tiene propiedades hidratantes y emulsificantes mejores que en la leche

El suero más útil para obtener proteínas es aquel procedente de la coagulación de la caseína con enzimas (renina), se le conoce con el nombre de suero “dulce”, en cambio las obtenidas del suero “ácido” son de baja calidad, el suero contiene alrededor de 7% de sólidos disueltos. Tabla (1).

Tabla 1. Composición del suero de queserías

| Componente | Concentración; % peso del suero | |
|---------------|---------------------------------|---------|
| | Dulce | Ácido |
| Agua | 93 | 93 |
| Grasa | 0.3 | 0.1 |
| Proteína | 0.8 | 0.6 |
| Lactosa | 4.9 | 4.3 |
| Ceniza | 0.56 | 0.46 |
| Ácido láctico | 0.2-0.3 | 0.7-0.8 |

Clasificación de las proteínas del suero

- Albúminas: son el 75% de las proteínas del suero y el 11% de las proteínas totales, solubles en presencia de Na_2SO_4 al 20%.
- Globulinas: 10-12% de las proteínas solubles.
- Proteosomas-peptonas: son el 10% de las proteínas solubles.
- Lactoferrina sérica: --

La tabla (2) muestra la composición nutricional del lacto suero dulce y ácido.

Tabla 2. Composición nutricional del lactosuero dulce y ácido (g/L)

| | |
|-------------------|-----------------------|
| Solidos | (63-70) y (70-63) |
| Lactosa | (46-52) y (44-46) |
| Proteínas | (6-10) y (6-8) |
| Calcio | (0.4-0.6) y (1.2-1.6) |
| Fosfato | (1-3) y (2-4) |
| Lactatos Cloruros | (2-1.1) y (6.4-1.1) |

6.1.2. Caracterización de sueros de leche

Se realizaron análisis de las principales características del suero de queso en distintos días de abastecimiento en un reactor Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), los resultados se muestran en la tabla 3. (Oscar Arango Bedoya, 2017).

Tabla 3. Caracterización del queso para la investigación del TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA EN SISTEMAS ANAEROBIOS TIPO UASB

| Características | Valor |
|-----------------|--------|
| pH | 7.2 |
| DQO (mg/L) | 76,000 |
| ST (mg/L) | 8,600 |
| STV (mg/L) | 58,000 |
| N-NTK (mg/L) | 1,300 |
| P(mg/L) | 215 |

Los componentes del suero que tienen mayor valor como es el caso de las proteínas y de la lactosa, se debe garantizar que con el tren de operaciones que se sugerirá a la empresa para recuperar los componentes de mayor valor económico y nutrimental, esta pueda garantizar que el efluente final de todas sus corrientes cumplirá perfectamente con lo que dicta la normatividad mexicana para descargas que se realicen a cuerpos de agua, por lo que fue menester, para dar un estudio completo, el evaluar la DQO en la etapa de ultrafiltración con membrana de 10 y 1 KD, por lo que al permeado se le determinó su valor de DQO (ver tabla 4). (Teniza, 2008).

Tabla 4. Análisis de DQO del suero Ultrafiltrado (India,2000).

| Análisis de la DQO | | |
|--------------------|------------------|------------------|
| Tipo de Suero | Reportado (mg/L) | Analizado (mg/L) |
| Suero Crudo | 60,000 | 27,000 |
| Permeado a 10KD | 60,000 | 20,600 |
| Permeado a 1KD | 60,000 | 20,800 |

Se tomaron muestras de forma aleatoria del agua residual o lacto suero acido de los procesos lácteos de la provincia de concepción los cuales fueron enviados al laboratorio de aguas de la Facultad de Ingeniería Química, para un análisis de caracterización y los resultados obtenidos se presentan en la siguientes Tabla 5. (Perez Prado, 2018).

Tabla 5. Caracterización del suero acido

| Características | |
|------------------|----------|
| DQO (mg/L) | 2,748.30 |
| DBO5 (mg/L) | 1,992.40 |
| pH | 4.9 |
| σ (ms/cm) | 29.7 |
| SST (mg/L) | 1,643 |
| T (°C) | 15 |

6.2. Adsorción

El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental es este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo. La necesidad de una mayor calidad de las aguas está haciendo que este tratamiento esté en auge. Es considerado como un tratamiento de refinó, y por lo tanto al final de los sistemas de tratamientos más usuales, especialmente con posterioridad a un tratamiento biológico.

Factores que afectan a la adsorción:

- Solubilidad: Menor solubilidad, mejor adsorción.
- Estructura molecular: Más ramificada, mejor adsorción.
- Peso molecular: Grandes moléculas, mejor adsorción.
- Problemas de difusión interna, pueden alterar la norma.
- Polaridad: Menor polaridad, mejor adsorción.
- Grado de saturación: Insaturados, mejor adsorción

Descripción del proceso

Las moléculas en fase de líquido serán unidas físicamente a una superficie, en este caso la superficie es de (carbón activo, zeolita, niveles o mezcla). El proceso de la adsorción ocurre en tres pasos:

- Macro transporte: Movimiento del material orgánico a través del sistema de macro-poros del adsorbente (macro-poros > 50nm)
- Micro transporte: Movimiento del material orgánico a través del sistema de micro-poros del adsorbente (microporo < 2nm; meso-poro 2-50nm)
- Absorción: Adhesión física del material orgánico a la superficie del adsorbente en los meso-poros y micro-poros del carbón activo

El nivel de actividad de la adsorción depende de la concentración de la sustancia en el agua, la temperatura y la polaridad de la sustancia. Una sustancia polar (= soluble en agua) no puede ser eliminada o es malamente eliminada por el adsorbente, una sustancia no polar puede ser totalmente eliminada por el adsorbente. Cada clase de adsorbente tiene su propia isoterma de adsorción la cual en el campo del tratamiento de aguas esta isoterma viene definida por la función de Freundlich o la ecuación de Langmuir.

Ejemplo para el carbón activado se representa con la ecuación de Freundlich

$$\left(\frac{x}{m}\right) = K_f * C_e^{\left(\frac{1}{n}\right)} \text{ Ecuación (1)}$$

Donde:

$\left(\frac{x}{m}\right)$ es la sustancia adsorbida por gramos de carbón activado, C_e es la diferencia de concentración (entre antes y después) y K_f , n son las constantes específicas.

6.3. Tipos de adsorbentes

Un adsorbente es un sólido que tiene la capacidad de retener sobre su superficie un componente presente en corrientes líquidas o gaseosas. Se caracterizan por una alta superficie específica y por su inercia química frente al medio en el que se van a utilizar. Existen dos categorías principales de adsorbentes según su uso y modo de administración.

6.3. 1. Carbón activado

El sólido universalmente utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo, aunque en los últimos años se han desarrollado diversos materiales sólidos que mejoran, en ciertas aplicaciones, las propiedades del carbón activo.

Hay dos formas clásicas de utilización de carbón activo, con propiedades diferentes y utilizándolo en diferentes aplicaciones:

- ✚ **Carbón activado granular (GAC):** Se suele utilizar una columna como medio de contacto entre el agua a tratar y el carbón activado, en la que el agua entra por la parte inferior y asciende hacia la superior. El tamaño de

partícula en este caso es mayor que en el otro. Se suele utilizar para eliminar elementos traza, especialmente orgánicos, que pueden estar presentes en el agua, y que habitualmente han resistido un tratamiento biológico. Son elementos, que, a pesar de su pequeña concentración, en muchas ocasiones proporcionan mal olor, color o sabor al agua.



Figura 2. Carbón activado granular

✚ **Carbón activo en polvo (CAP):** Este tipo de carbón se suele utilizar en procesos biológicos, cuando el agua contiene elementos orgánicos que pueden resultar tóxicos. También se suele añadir al agua a tratar, y pasado un tiempo de contacto, normalmente con agitación, se deja sedimentar las partículas para su separación previa. Suelen ser operaciones llevadas a cabo en discontinuo.



Figura 3. Carbón activado en polvo

6.3.2. Propiedades del carbón activado

La estructura química del carbón activo puede definirse como una forma bruta de grafito, con una estructura amorfa aleatoria altamente porosa con poros de distintas dimensiones, desde cavidades y huecos visibles hasta otros de dimensiones moleculares.

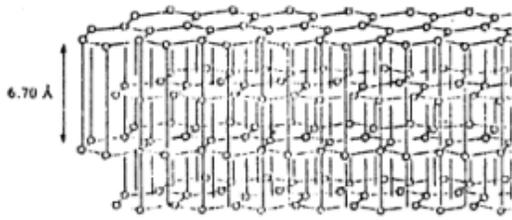


Figura 4. Arreglo estructural de las capas planas del grafito

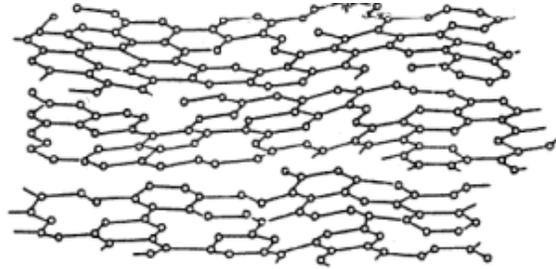


Figura 5. Estructura propuesta de las capas de carbón activado

La viabilidad económica de este proceso depende de la existencia de un medio eficaz de regeneración del sólido una vez agotada su capacidad de adsorción. El GAC se regenera fácilmente por oxidación de la materia orgánica y posterior eliminación de la superficie del sólido en un horno. Las propiedades del carbón activo se deterioran, por lo que es necesario reponer parte del mismo por carbón virgen en cada ciclo. Por otro lado, el CAP es más difícil de regenerar, pero también es cierto que es más fácil de producir.

El coste es un parámetro importante a la hora de la elección del adsorbente. Alternativas al carbón activo son las zeolitas, arcillas (montmorillonita, sepiolita, bentonita, etc.), los denominados adsorbentes de bajo coste, procedentes en su mayor parte de residuos sólidos orgánicos.

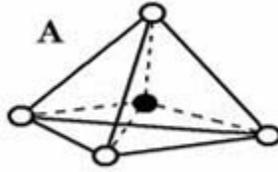
6.4. Zeolita

Las zeolitas naturales son formadas a partir de la precipitación de fluidos contenidos en los poros, tal como en las ocurrencias hidro-termales, o por la alteración de vidrios volcánicos. Las condiciones de presión, temperatura, actividad de las especies iónicas y presión parcial de agua son factores determinantes en la formación de las diferentes especies de zeolitas. Existen cerca de 40 especies de zeolitas naturales conocidas, sin embargo, tan solo algunas especies son ampliamente utilizadas. Dentro de esas se incluyen: mordenita, clinoptilolita, heulandita, phillipsita, eroinita y chabazita.

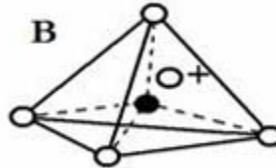
6.4.1. Estructura y clasificación

Las zeolitas son estructuradas en redes cristalinas tridimensionales, compuestas de tetraedros del tipo TO_4 ($T = Si, Al, B, Ge, Fe, P, Co$) unidos en los vértices por un átomo de oxígeno. Las estructuras se presentan en las principales unidades estructurales de las zeolitas, los principales tipos

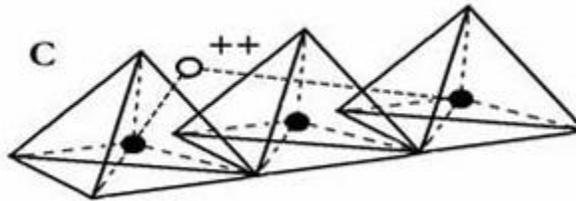
En donde:



A. Figura (6). Tetraedro con un átomo de Si (círculo lleno) en el centro y átomos de oxígeno en los vértices.



B. Figura (7). Tetraedro con átomo de Al sustituyendo el Si y unido a un catión monovalente para compensar la diferencia de carga entre el Si y el Al.



C. Figura (8). Átomo Palente para balancear las cargas entre el Al y el Si en una cadena múltiple de tetraedros.

6.4.2. Propiedades de las zeolitas

Las propiedades más relevantes de las zeolitas naturales son: porosidad, adsorción e intercambio iónico.

Porosidad: Las zeolitas son formadas por canales y cavidades regulares y uniformes de dimensiones moleculares (3 a 13 nm) que son medidas similares a los diámetros cinéticos de una gran cantidad de moléculas. Este tipo de estructura microporosa hace que las zeolitas presenten una superficie interna extremadamente grande en relación a su superficie externa. La IUPAC (The International Union of Pure and Applied Chemistry) reconoce tres tipos de poros atendiendo a su tamaño.

- Si son mayores de 50 nm se conocen como macroporos, si su diámetro está comprendido entre 2 y 50 nm se trata de mesoporos y si son menores de 2 nm, como es el caso de los poros de las zeolitas, son microporos.
- Cuando la distancia entre dos superficies es suficientemente corta, los potenciales de adsorción se suman, de forma que una molécula situada en el interior del poro se ve atraída por toda la superficie del

poro aumentando la fuerza con la que se ve atraída. Es decir, a medida que disminuye el tamaño del poro más profundo se hace el pozo de potencial.

- En el caso de que el poro sea suficientemente ancho las moléculas se irán adsorbiendo formando una monocapa a una distancia determinada de la superficie (distancia de adsorción), y a medida que aumenta la cantidad adsorbida el adsorbato se ordena en capas sucesivas (llenado en multicapas).

Adsorción: La superficie de los sólidos es una región singular, que es responsable o al menos condiciona muchas de sus propiedades. Los átomos que se encuentran en ella no tienen las fuerzas de cohesión compensadas, como ocurre en los átomos situados en el seno del sólido que es, en definitiva, responsable de las propiedades de adsorción de los sólidos. A distancias suficientemente grandes, no existe una interacción apreciable entre una molécula acercándose a una superficie, por lo tanto, la energía de este sistema es próxima a cero. A medida que la molécula se acerca a la superficie la energía del sistema comienza a disminuir debido a que las fuerzas de cohesión de los átomos de la superficie empiezan a verse compensadas.

En otras palabras, el potencial de adsorción origina una fuerza atractiva que provoca el acercamiento de la molécula a la superficie:

- Cuando la distancia entre la superficie y la molécula libre comienza a disminuir, las fuerzas de repulsión (debidas a la proximidad de las capas de electrones de los átomos de la superficie con los átomos de la molécula libre) comienzan a ser importantes. Por lo tanto, existe una distancia para la cual la energía del sistema es mínima.
- La alta eficiencia de adsorción de las zeolitas está relacionada a la gran superficie interna que esta posee. Cuando el tamaño del poro disminuye se produce un incremento significativo del potencial de adsorción, ocasionado por el solapamiento de los potenciales de las paredes del poro.
- Para un mismo adsorbato, la interacción con las paredes del poro es mayor cuanto menor es el tamaño del poro, y, por tanto, mejor el confinamiento de la molécula adsorbida

La zeolita ofrece un efecto en el filtrado superior al de la arena o al de los filtros de carbón, resultando en agua más pura con mejor productividad y requiriendo menos mantenimiento. La estructura altamente porosa de las zeolitas puede capturar partículas contaminantes de hasta 4 micras.

6.5. Isotermas de adsorción

Una isoterma de adsorción es el equilibrio de la adsorción de un material en una superficie (de modo más general sobre una superficie límite) a temperatura constante. Representa la cantidad de material unido a la superficie (el sorbato) como una función del material presente en la fase gas o en la disolución. Las isotermas de adsorción se usan con frecuencia como modelos experimentales,

que no hacen afirmaciones sobre los mecanismos subyacentes y las variables medidas. Se obtienen a partir de datos de medida por medio de análisis de regresión.

Las isothermas de adsorción indican como las moléculas adsorbidas se distribuyen entre la fase líquida y la sólida cuando el proceso de adsorción alcanza un estado de equilibrio. Muchos modelos describen la adsorción, sin embargo, los investigadores usualmente utilizan los modelos de adsorción propuestos por Langmuir y por Freundlich para comprender el fenómeno de la adsorción.

6.5.1. Isotherma de Freundlich

Es una isoterma de adsorción, que es una curva que relaciona la concentración de un soluto en la superficie de un adsorbente, con la concentración del soluto en el líquido con el que está en contacto.

La isoterma de adsorción de Freundlich se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$\left(\frac{x}{m}\right) = K_p^{\frac{1}{n}} \text{ ó } \left(\frac{x}{m}\right) = K_c^{\frac{1}{n}} \text{ Ecuación (2)}$$

Donde:

x es la masa de adsorbato, m es la masa de adsorbente, p es la presión de equilibrio del adsorbato, c es la concentración de equilibrio del adsorbato en disolución y K y $\left(\frac{1}{n}\right)$ son constantes para un adsorbato y adsorbentes dados, y para una temperatura particular.

Ejemplo:

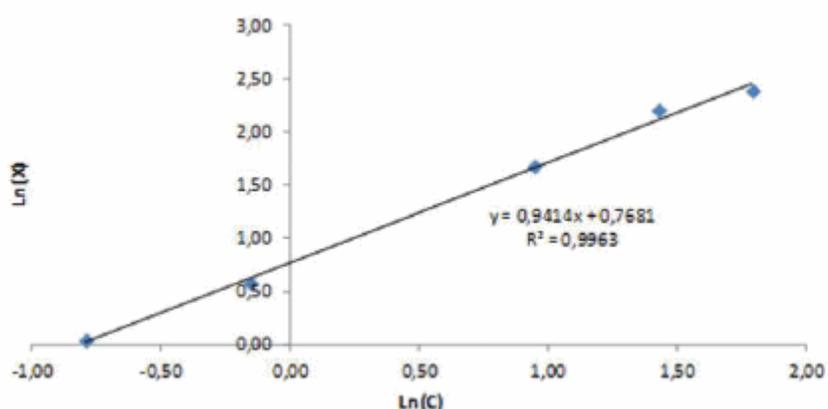


Figura 9. Isotherma de adsorción del AMP'5 a pH 7 sobre el WO_3 . Modelo de Freundlich.

El modelo de Freundlich fue empleado para analizar el equilibrio de adsorción de las biomoléculas sobre la superficie del WO_3 . La Figura 9 muestra la isoterma de

adsorción del AMP'5 sobre el WO₃ a pH 7, donde la linealidad de los datos del Nucleótido se ajustó al modelo propuesto por Freundlich.

En la tabla 3 se exhiben los parámetros de Freundlich para la adsorción de los componentes de ácidos nucleicos sobre el WO₃. La isoterma de Freundlich fue utilizada para analizar la eficiencia del óxido de tungsteno en el proceso de adsorción de las biomoléculas.

Tabla 6. Parámetros de Freundlich para la adsorción de las biomoléculas sobre el WO₃

| Biomolécula | pH3 | | pH7 | | pH10 | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|
| | n | Kf | n | Kf | n | Kf |
| Adenina | 1.45 | 5.13 | 1.48 | 3.57 | 1.25 | 2.33 |
| Guanina | 2.49 | 5.48 | 1.49 | 3.47 | 1.57 | 6.06 |
| Citosina | 1.35 | 4.72 | 1.47 | 3.65 | 1.64 | 3.13 |
| Uracilo | 5.58 | 6.43 | 2.08 | 4.86 | 2.5 | 4.67 |
| Adenosina | 1.77 | 5.07 | 1.51 | 3.94 | 1.25 | 3.22 |
| Guanosina | 1.4 | 5.11 | 1.07 | 1.99 | 1.56 | 6.42 |
| Citadina | 1.43 | 5.3 | 1.28 | 2.9 | 1.78 | 6.38 |
| Uridina | 1.9 | 5.77 | 1.42 | 3.26 | 1.37 | 2.19 |
| AMP'5 | 1.53 | 5.55 | 2.16 | 1.06 | 1.33 | 2.53 |
| GMP'5 | 1.29 | 4.48 | 1.12 | 2.21 | 1.28 | 2.95 |
| CMP'5 | 1.38 | 4.54 | 1.16 | 2.62 | 1.23 | 2.88 |
| UMP'5 | 1.48 | 4.83 | 1.17 | 2.46 | 1.21 | 3.1 |

En este estudio se utilizaron las isotermas de Langmuir y Freundlich para describir e ilustrar los procesos de adsorción de las biomoléculas sobre el óxido de tungsteno. Se demostró que las constantes resultaron útiles para la evaluación de la capacidad de adsorción y el ajuste a las ecuaciones de Langmuir y Freundlich permitieron determinar la extensión y factibilidad de la adsorción.

6.5.2. Isotherma de Langmuir

Es una ecuación mucho más exacta para las isotermas de adsorción del tipo uno, la ecuación de Langmuir relaciona la adsorción de moléculas en una superficie sólida con las presiones de gas o concentración de un medio que se encuentre encima de la superficie sólida a una temperatura constante.

La isoterma de adsorción de Langmuir se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$\left(\frac{C_e}{q}\right) = \left(\left(\frac{1}{b}\right) * C_e\right) + \left(\frac{1}{k * b}\right) \text{ Ecuación (3)}$$

Donde:

q es la cantidad absorbida, **Ce** es la cantidad en el líquido, **K** es la fuerza de unión, **b** la cantidad máxima absorbida, **x** es la masa del adsorbato (contaminante) adsorbida, **m** es la masa del adsorbente y **Co** es la concentración de equilibrio.

$$q = \left(\frac{x}{m}\right) \text{ Ecuación (4)}$$

6.6. Aguas Residuales

Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales). Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

6.6.1. Características de las aguas residuales

Todas las aguas naturales contienen cantidades variables de otras sustancias en concentraciones que varían de unos pocos (mg/L) en el agua de lluvia a cerca de 35 mg/L (miligramos por litro) en el agua de mar. A esto hay que añadir, en las aguas residuales, las impurezas procedentes del proceso productor de desechos, que son los propiamente llamados vertidos. Las aguas residuales pueden estar contaminadas por desechos urbanos o bien proceder de los variados procesos industriales.

Por su estado físico se puede distinguir:

- Fracción suspendida.
- Fracción coloidal.
- Fracción soluble.

La fracción coloidal y la fracción suspendida se agrupan en el ensayo de sólidos suspendidos totales (SST)

Sustancias químicas (composición)

Las aguas servidas están formadas por un 99 % de agua y un 1 % de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos:

- Los sólidos inorgánicos están formados principalmente por nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc.

- Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados y no nitrogenados. Los nitrogenados, es decir, los que contienen nitrógeno en su molécula, son proteínas, ureas, aminas y aminoácidos.
- Los no nitrogenados son principalmente celulosa, grasa y jabones “lubricantes”.
- La concentración de materiales orgánicos en el agua se determina a través de la DBO₅, la cual mide material orgánico carbonáceo principalmente, mientras que la DBO₂₀ mide material orgánico carbonáceo y nitrogenado DBO₂.

Principales parámetros

Los parámetros característicos, mencionados en la Directiva Europea, son:

- Temperatura
- pH
- Sólidos en suspensión totales (SST)
- Materia prima valorada como DQO y DBO (a veces TOC)
- Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)
- Nitrógeno amoniacal y nitratos
- También hay otros parámetros a tener en cuenta, como fósforo total, nitritos, sulfuros, sólidos disueltos.

Para el debido tratamiento de las aguas residuales industriales características debe incluir un mecanismo de depuración físico química. Esta suele ser una de las formas más efectivas. Dependiendo del tipo de planta que haga este proceso, los pasos pueden variar, aunque en general son: filtración, depuración, desintegración y filtrado final.

Tratar de forma eficiente las aguas residuales industriales características permite retomar su consumo volviéndolas potables. Ya que, sin tratamiento pueden llegar a ser bastante tóxicas. Si la empresa no cuenta con un buen drenaje, estas aguas pueden provocar un aspecto poco higiénico e incluso podrían ser un foco infeccioso para quienes hacen vida activa en la industria.

6.6.2. Aguas residuales Industriales lácteas

En el estado de Chiapas toda la comunidad genera residuos, tanto líquidos como sólidos, la fracción líquida (agua residual) está constituida, esencialmente, por el agua de abastecimientos, después de haber sido contaminada por los diversos usos a que ha sido sometida. Desde el punto de vista de su origen, las aguas residuales pueden definirse como una combinación de los desechos líquidos procedentes de viviendas, instituciones y establecimientos comerciales e industriales, junto con las aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que puedan agregarse a las anteriores.

Los factores que contribuyen a la contaminación del agua son las siguientes a continuación:

- Aumento en la población.
- Diversidad y complejidad de procesos industriales.
- Producción de satisfactores y elementos de consumo a gran escala.
- Desechos de excretas a ríos, lagunas, esteros y litorales, en México se generan diariamente 2.5 millones de metros cúbicos de aguas negras.

La generación de aguas residuales es el aspecto ambiental más significativo de la actividad del sector, tanto por los elevados volúmenes generados, como por la carga contaminante asociada a las mismas. La mayor parte del agua que se utiliza acaba finalmente como efluente, ya que no existe aporte de agua al producto final. Por tanto, el agua residual generada en un proceso fabril será la resultante de descontar al consumo total la que se ha perdido por evaporación.

En general, entre el 80-95% del agua total consumida forma parte del efluente final, salvo excepciones de fabricación de leche en polvo, etc. Las principales corrientes parciales que más contribuyen en volumen y/o carga contaminante al efluente final proceden de:

- Limpieza de equipos, instalaciones, CIP de limpieza de líneas, etc.
- Rechazos de los sistemas de ultrafiltración o sistemas de osmosis en el procesado de algún derivado.
- Limpieza de camiones de transporte de materia prima.

Las concentraciones pueden variar de una instalación a otra, y en ciertos casos, presentar valores bastante diferentes a los anteriores. Las causas de la variabilidad en la concentración de los parámetros de los efluentes son múltiples, destacando:

- El grado de optimización del consumo de agua.
- Los procedimientos de limpieza y productos químicos utilizados, CIP de limpieza.
- La tecnología utilizada en las operaciones consumidoras de agua.
- Cambio de producciones como consecuencia de la variación en los productos a fabricar.

Estas aguas suelen tener la particularidad de alto contenido graso y nitrógeno elevado (de ahí la necesidad de procesos de nitrificación/desnitrificación), y alto contenido en fósforo. Además de los ya conocidos problemas de alta DQO.

Como en la mayoría de las empresas del sector agroalimentario, las industrias lácteas consumen diariamente grandes cantidades de agua en sus procesos y, especialmente, para mantener las condiciones higiénicas y sanitarias requeridas.

Dependiendo del tipo de instalación, el sistema de limpieza y utilización, la cantidad total de agua consumida en el proceso puede llegar a superar varias veces el volumen de leche tratada.

Este consumo suele encontrarse entre (1.3-3.2) litros de agua/kg de leche recibida, pudiéndose alcanzar valores tan elevados como 10 litros de agua/kg de leche recibida. Sin embargo, es posible optimizar este consumo hasta valores de (0.8-1.0) litros de agua/kg leche recibida utilizando equipamientos avanzados y una operación adecuada.

Como se indica más abajo en la tabla, el mayor consumo de agua se produce en las operaciones auxiliares, particularmente en la limpieza y desinfección, donde se emplea entre el (25-40%) del total.

6.6.3. Composición típica aguas residuales industrias lácteas

En general, los efluentes líquidos de una industria láctea presentan las siguientes características:

- Alto contenido en materia orgánica, debido a la presencia de componentes de la leche. La DQO media de las aguas residuales de una industria láctea se encuentra entre (1.000-6.000 mg O₂/L).
- Presencia de aceites y grasas, debido a la grasa de la leche y otros productos lácteos, como en las aguas de lavado de la mazada.
- Niveles elevados de nitrógeno y fósforo, principalmente debidos a los productos de limpieza y desinfección.
- Variaciones importantes del pH, vertidos de soluciones ácidas y básicas. Principalmente procedentes de las operaciones de limpieza, pudiendo variar entre valores de pH (2-11).
- Conductividad elevada (especialmente en las empresas productoras de queso debido al vertido de cloruro sódico procedente del salado del queso).
- Variaciones de temperatura (considerando las aguas de refrigeración).
- Las pérdidas de leche, que pueden llegar a ser del (0.5-2.5%) de la cantidad de leche recibida o en los casos más desfavorables hasta del (3-4%), son una contribución importante a la carga contaminante del efluente final. Un litro de leche entera equivale aproximadamente a una DBO₅ de (110.000 mg O₂/L) y una DQO de (210.000 mg O₂/L). (Oscar A. 2017).

La DQO depende de la composición, sobre todo de su cantidad de grasa por lo que siempre resulta económicamente favorable separar las grasas utilizando trampas de grasa y si éstas aparecen junto con tensoactivos en forma emulsionada se separan por medio de flotación (separación de sustancias que sobrenadan con ayuda de finas burbujas de aire). Además, se separan sustancias proteicas en disolución coloidal. El efecto se ve reforzado cuando se agregan compuestos floculadores.

6.7. Normas

6.7.1. PROY NMX-AA-030/1-SCFI-2008 ANÁLISIS DE AGUA – DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS. – MÉTODO DE PRUEBA (AMBAS PARTES DE ESTA NMX CANCELAN A LA NMXAA-030-SCFI-2001)

Esta norma está implicada en el grado en el cual los resultados de prueba se aproximan al valor teórico depende principalmente de qué tan completa es la oxidación. Un gran número de compuestos orgánicos se oxidan en una proporción de (90 a 100) %. Para aguas en las que éstos compuestos predominan, tales como las descargas municipales, el valor de DQO es una medida realista de la demanda de oxígeno teórica.

Para otro tipo de aguas, que contienen grandes cantidades de ciertas sustancias difíciles de oxidar, bajo las condiciones de prueba, el valor de DQO es una medida pobre de la demanda de oxígeno teórica. Éste puede ser el caso de algunas descargas industriales. Por consiguiente, la importancia del valor de DQO dependerá de la composición del agua estudiada. Esto deberá tenerse en cuenta a la hora de evaluar resultados obtenidos por el método especificado en la presente Norma.

Objetivos y Aplicación en el campo

- Es aplicable al agua con valores de DQO entre (30 – 700) mg/L. El contenido de cloruro no debe exceder los 1 000 mg/L. Una muestra de agua que cumpla con estas condiciones se analiza directamente.
- Si el valor de DQO excede los 700 mg/L, la muestra de agua se diluye. Para mayor exactitud es preferible que el valor de DQO de la muestra esté en el intervalo de (300 – 600) mg/L.
- Límites permisibles: Los valores por debajo de 30 mg/L deberán ser reportados como “< 30 mg/L”.

6.7.2. ANÁLISIS DE AGUA – DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA – PARTE 2 – DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO – MÉTODO DE TUBO SELLADO A PEQUEÑA ESCALA “NMX-AA-030/2-SCFI-2011”

El valor de la demanda química de oxígeno, DQO-TS, del agua, determinado a través de este método del dicromato, puede ser considerada como una medida aproximada de la demanda teórica de oxígeno, por ejemplo: la cantidad de oxígeno consumida en la oxidación química total de constituyentes orgánicos presentes en el agua. El grado en el cual los resultados de prueba se aproximan al valor teórico depende principalmente de qué tan completa es la oxidación. La prueba DQO-TS

es una prueba empírica y los efectos de cualquier agente oxidante o reductor son incluidos en el resultado.

Esta norma mexicana especifica un método para la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO-TS) usando el método de tubo sellado. La prueba es empírica y aplicable a cualquier muestra acuosa, que incluye todo tipo de agua residual y de desecho industrial. Esta norma es de aplicación nacional.

El método oxida casi todos los tipos de compuestos orgánicos y la mayoría de los agentes reductores inorgánicos. Tiene un límite de detección (4,65 veces la desviación estándar por lote de un blanco o de una referencia de muy bajo nivel) de 6 mg/L para detección espectrofotométrica a 600 nm, y 15 mg/L para detección de titulación como se reporta por un laboratorio cuando compara las técnicas fotométricas con las de titulación usando un equipo de prueba comercial con un intervalo de hasta 1 000 mg/L.

6.7.3. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-2021, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN CUERPOS RECEPTORES PROPIEDAD DE LA NACIÓN.

Que la NOM-001-SEMARNAT-1996 estableció un cumplimiento gradual y progresivo conforme a los rangos de población para las descargas municipales y conforme a la carga contaminante expresada como demanda bioquímica de oxígeno₅ (DBO₅) o sólidos suspendidos totales (SST) para las descargas no municipales, cuyas fechas límite de cumplimiento vencieron para todos los casos el 1 de enero de 2010.

Que se requiere actualizar el listado de las Normas Mexicanas para el muestreo y análisis de los parámetros que se establecen como referencia para la aplicación de la presente norma, en virtud de que varias de las señaladas en la norma vigente han sido canceladas o modificadas.

Que se requiere modificar la clasificación de los cuerpos receptores y el enfoque de usos posteriores, señalados en las tablas de la norma vigente para mejorar la gestión y la protección de los cuerpos de agua.

Objetivo y campo de aplicación

- La Norma Oficial Mexicana tiene por objeto establecer los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, con el fin de proteger, conservar y mejorar la calidad de las aguas y bienes nacionales.
- Es de observancia obligatoria para los responsables de las descargas de aguas residuales en cualquier tipo de cuerpo receptor propiedad de la Nación.

- La Norma no aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes destinados exclusivamente para aguas pluviales ni a las descargas que se vierten directamente a sistemas de drenaje y alcantarillado municipales.

Especificaciones

Para los efectos de esta Norma se consideran las definiciones contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, la Ley Federal de Derechos y la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento.

Que para medir la carga orgánica contaminante en aguas con una concentración mayor a 1000 mg/L de cloruros, se debe utilizar el parámetro de Carbono Orgánico Total en sustitución de la Demanda Química de Oxígeno, ya que la salinidad interfiere en la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), por lo que esta sustitución para dichos casos permite obtener resultados más confiables y que caracterizan mejor a la descarga de aguas residuales.

- Límites permitidos para ríos, arroyos, canales y drenes con una temperatura de 35 °C y DQO 0 mg/L con un pH de 6.9
- Límites permitidos para Embalses, lagos y lagunas con una temperatura de 35 °C y DQO 100 (P.M), 120 (P.D) y 140 (V.I) mg/L con un pH de 6.9

6.7.4. ANÁLISIS DE AGUA – DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBO₅) Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-028-1981).

El método se basa en medir la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en aguas naturales y residuales y se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de cinco días de incubación a 20°C. Para la determinación de oxígeno disuelto (OD) se puede emplear cualquiera de los dos métodos establecidos en la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI.

Objetivo y campo de aplicación

- Esta norma mexicana establece el método de análisis para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

NOTA. Se determina la cantidad de oxígeno utilizada por una población microbiana heterogénea para transformar la materia orgánica, en un periodo de incubación de 5 días a 20°C.

- Parámetro Variable: Se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

- **Precisión:** Es el grado de concordancia entre resultados analíticos individuales cuando el procedimiento analítico se aplica repetidamente a diferentes alícuotas o porciones de una muestra homogénea. Usualmente se expresa en términos del intervalo de confianza o incertidumbre.

La Determinar la DBO_5 del material de siembra como para cualquier otra muestra. Esto es una siembra control. A partir de este valor y de uno conocido de la dilución del material de siembra (en el agua de dilución) determinar el consumo de OD de la siembra. Lo ideal es hacer disoluciones tales de la siembra que la mayor cantidad de los resultados presenten una disminución de al menos el 50 % del OD.

La representación de la disminución del OD (mg/L) con respecto a los mililitros de siembra, tiene que ser una línea recta cuya pendiente corresponde a la disminución de OD por mililitro del inóculo.

La intersección del eje de las abscisas (OD) representa el consumo del oxígeno causado por el agua de dilución y debe ser inferior a 0,1 mg/L. Para determinar el consumo de OD de una muestra, se resta el consumo de OD de la siembra, del consumo de OD total. La captación de OD total del agua de dilución sembrada debe oscilar entre 0,6 mg/L y 1,0 mg/L.

Determinación del OD final

Después de 5 días de incubación determinar el OD en las diluciones de la muestra, en los controles y en los blancos. La medición del OD debe ser realizada inmediatamente después de destapar la botella de Winkler, para evitar la absorción de oxígeno del aire por la muestra.

Calcular la DBO_5

- a) Cuando no se utilice inóculo ni diluciones:

$$DBO_5 \left(\frac{mg}{L} \right) = OD_i \frac{mg}{L} - OD_5 \frac{mg}{L} \text{ Ecuación (5)}$$

Donde:

OD_i mg/L es el oxígeno disuelto inicial, y OD_5 mg/L es el oxígeno disuelto al quinto día.

- b) Cuando se emplea una dilución:

$$DBO_5 \left(\frac{Mg}{L} \right) = \left(\frac{OD_i - OD_5}{\% \text{ dilución expresa en decimales}} \right) \text{ Ecuación (6)}$$

- c) Cuando se utiliza inóculo (Sin dilución):

$$DBO_5 \left(\frac{mg}{L} \right) = (OD_I - OD_5) - \left(\frac{C_1 * (B_1 - B_2) * V_t}{C_2 * V_m} \right) \text{ Ecuación (7)}$$

d) Cuando se utiliza inóculo (con disolución):

$$DBO_5 \left(\frac{mg}{L} \right) = \left[(OD_I - OD_5) - \left(\frac{C_1 * (B_2 - B_1) * V_t}{C_2 * V_m} \right) \right] \text{ Ecuación (8)}$$

Donde:

B_1 es el OD del inóculo antes de la incubación (en mg/L), B_2 es el OD del inóculo después de la incubación en (mg/L), C_1 es el volumen de inóculo en la muestra, C_2 es el volumen de inóculo en el inóculo control, V_t es el volumen total del frasco Winkler, y V_m es el volumen de muestra sembrada.

Nota: Dicha norma establece que cada muestra orgánica debe tener una referencia previa ante de su uso ante los métodos establecidos en la NMX-AA-028-SCFI-2001.

6.8. Demanda Química de Oxígeno

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se define como cualquier sustancia tanto orgánica como inorgánica susceptible de ser oxidada, mediante un oxidante fuerte. La cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno. DQO se expresa en mg/l O₂.

Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos o acuíferos), aguas negras, aguas pluviales o aguas de cualquier otra procedencia que puedan contener una cantidad apreciable de materia orgánica. Este ensayo es muy útil para la apreciación del funcionamiento de las estaciones depuradoras. No es aplicable, sin embargo, a las aguas potables, ya que al tener un contenido tan bajo de materia oxidable la sensibilidad del método no sería adecuada. En este caso se utiliza el método de oxidabilidad con permanganato potásico.

La DQO varía en función de las características de las materias presentes, de sus proporciones respectivas, de sus posibilidades de oxidación y de otras variables. Por esto, la reproducibilidad de los resultados y su interpretación no pueden ser satisfechos más que en condiciones metodológicas de ensayo bien definidas y estrictamente respetadas.

Actualmente se ofrecen muchos métodos para la determinación de dichos parámetros establecidos por la norma NMX-AA-030/1-SCFI-2008 y NMX-AA-030/2-SCFI-2011

6.8.1. Método Hach 8000 base la digestión del reactor para la determinación de DQO

Mayor facilidad y seguridad: Los reactivos de DQO preparados eliminan la necesidad de medir productos químicos tóxicos y corrosivos. Simplemente añada la muestra al vial de DQO, digiérala y mídala. Las mediciones fotométricas

proporcionan resultados precisos sin el equipo y el esfuerzo que requieren las valoraciones. Eliminación sencilla: Los volúmenes pequeños de reactivo utilizados en viales de DQO de Hach minimizan el volumen de residuos de plata, mercurio y cromo.

Procedimiento

1. Realizar la curva de calibración.
2. Tomar 2 ml de la muestra compuesta colocando en los tubos Hach (Ácido sulfúrico, sales de mercurio) previamente preparados para realizar "DQO", realizar el blanco con 2 ml de agua destilada.
3. Colocar los tubos en el digestor Hach y digester por 120 minutos a una temperatura de 150°C.
4. Una vez transcurrido el tiempo, abrir con cuidado el digestor Hach remover la tapa, una vez a temperatura disminuya colocar los tubos en una gradilla de metal.
5. Cuando los tubos lleguen a una temperatura ambiente (25°C), calibrar el espectro a 620 NM.
6. Una vez calibrado el equipo leer la absorbancia de las muestras y anotar en la bitácora.
7. Realizar los cálculos correspondientes de acuerdo con la curva de calibración, anotar los resultados de DQO por cada muestra y comparar en base a las normas 001-SERMANAT-2021.

Curva de calibración

1. Se realiza a una concentración de 10,000 mg/L la curva de calibración.
2. Secar 4.25 gr de Ftalato de hidrogeno de potasio por 2 horas a 150°C.
3. Disolver el reactivo secando en aproximadamente 250 ml de agua destilada y aforar a 500 ml.
4. Realizar las disoluciones a 50, 200, 400, 800, 1200, y 1450 mg/L, un blanco con agua destilada. Nota (La curva de calibración tiene una vida útil aproximando de 3 meses).

Nota: Para realizar un DQO para una carga orgánica mayor al vial o los parámetros de dichos métodos se recomienda diluir la muestra para poder realizar el método.

6.9. Demanda Bioquímica de Oxígeno

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días.

La escala de clasificación de la calidad del agua, conforme a la DBO₅:

- No contaminada o Excelente ≤ 3 mg/L.

- Buena calidad $> 3 \text{ mg/L}$ y $\leq 6 \text{ mg/L}$ (aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable).
- Aceptable $> 6 \text{ mg/L}$ y $\leq 30 \text{ mg/L}$ (con indicios de contaminación, aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente).
- Contaminada $> 30 \text{ mg/L}$ y $\leq 120 \text{ mg/L}$ (aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal).
- Fuertemente contaminada $> 120 \text{ mg/L}$ (aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales).

El porcentaje de sitios de monitoreo cuya concentración de DBO₅ es superior a 30 mg/L se calculó como el cociente del número de sitios de monitoreo cuyo promedio anual es mayor a 30 mg/L por el total de sitios de monitoreo en aguas superficiales del año correspondiente.

Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos o acuíferos), aguas negras, aguas pluviales o agua de cualquier otra procedencia que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica. Este ensayo es muy útil para la apreciación del funcionamiento de las estaciones depuradoras.

No es aplicable, sin embargo, a las aguas potables, ya que al tener un contenido tan bajo de materia oxidable la precisión del método no sería adecuada. En este caso se utiliza el método de oxidabilidad con permanganato de potasio.

6.9.1 Método Hach Track para la determinación de DBO₅

Procedimiento

1. Se toman 355 ml de la muestra (debido a que se esperaba una DBO₅ entre 0-70 mg/L de acuerdo a los antecedentes que se muestran en la tabla 7) en una probeta.
2. Agregar una almohadilla de nutrientes para DBO₅.
3. Transferir el contenido a una botella de Track para DBO₅.
4. Agregar un agitador magnético en la botella.
5. Colocar la tapa hermética en el cuello de la botella, agregar 2 pastillas de Hidróxido de potasio en la tapa.
6. Colocar las botellas en cada vial, tomando en cuenta que todos los magnetos giren en el centro de la botella.
7. Una vez ya instaladas las botellas, se introduce el equipo en la incubadora a $20 \pm ^\circ\text{C}$.
8. Una vez se cierra la incubadora se debe de esperar de 1 a 30 días, para ver el los mg/L de DBO₅ que se están consumiendo en cada botella.
9. Anotar los resultados diariamente en la bitácora.

Tabla 7. Volúmenes de muestra simplificadas

| Escala de medición de DBO ₅ (mg/L) | Volumen de la muestra (mL) |
|---|----------------------------|
| 0 a 35 | 420 |
| 0 a 70 | 355 |
| 0 a 350 | 160 |
| 0 a 700 | 95 |

Nota: Para realizar una DBO correcta se debe mantener en verificación el equipo que no se apague, se muevan los agitadores magnéticos, que no queden bien cerrada las botellas.

7. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

En el procedimiento del proyecto se realizaron dichas actividades planteadas, como el montaje y empacado de columna donde se determinaron las alturas y el orden de los adsorbentes, seguido por las pruebas de estabilidad de las columnas donde se tomaron en cuenta el tiempo, el porcentaje de remoción de la carga orgánica, color de la muestra, los gramos de adsorbentes, las combinaciones de los adsorbentes. En base al proceso se obtuvo las variables antes planteadas en el trabajo (DBO_5 , DQO, pH, ρ , μ_D). Las pruebas de estabilidad se realizaron nuevamente para determinar los gramos de los adsorbentes a usar, los volúmenes requeridos y tiempo de agitación magnética para la determinación de los isoterms de adsorción para el carbón activado y la zeolita base a la ecuación de Langmuir.

7.1. Montaje y Empacado de columnas

Una vez definidos los tipos de adsorbentes que se van a usar se procede a empacar las columnas estimando las siguientes condiciones de cada columna, el tipo de adsorbente, la altura, y el tamaño de partículas que se van a usar en las columnas.



Fig. (10) Columna empacada con carbón activado granular con una altura de 20 cm

Cuando las columnas están empacadas se colocan en los soportes universales estimando una altura de 15 cm del soporte a la columna, se coloca un vaso de precipitado de acuerdo al volumen que va a entrar a la columna.

Las columnas se deben empacar de diferentes alturas y diferentes tipos de adsorbentes de acuerdo a los tratamientos requeridos, al igual que se tiene que tener en cuenta que se debe conocer la masa del adsorbente que se va a utilizar por lo cual se debe pesar en la balanza.

7.2. Muestra y análisis de aguas residuales provenientes del suero de leche

Una vez obtenida la muestra del suero de leche y de las aguas residuales de la industria láctea, se hace un muestreo de ambas para ver las composiciones como la carga orgánica, el pH, la densidad, la viscosidad, la temperatura, turbidez.

7.3. Pruebas y estabilización de la columna de adsorción

Una vez las columnas empacadas y montadas en el soporte universal se realizan una serie de pruebas para ver cómo se comportan las variables estas son los tipos adsorbentes, las alturas definidas, la temperatura, y tiempo, de acuerdo a los resultados en las pruebas en cuanto las variables que ya se han mencionado antes para ajusta el modelo de la columna de adsorción para una mayor eficiencia de los adsorbentes.

Para ello se realizan pruebas con un refresco del grupo FEMSA en la cual se introduce la cantidad de 150 ml del refresco en una columna empacada previamente con 30 cm de altura con carbón activado, la segunda columna empacada con una altura de 30 cm con zeolita. Esta misma prueba se realizó para las columnas de 20 cm de altura para ajustar las variables a los objetivos planteados previamente como se muestra en la figura (11).



Figura 11. Columna de Adsorción empacada con carbón activado con una altura de 30 cm con un volumen de 150 ml de refresco del grupo FEMSA.

7.4. Pruebas y estabilización del matraz Erlenmeyer

En los matraces se aplicarán pruebas para ver qué tipo de agitación favorecen mayor a la saturación de los adsorbentes antes mencionados

Los tipos de agitación propuestos son magnéticos:

Agitación magnética: Se basa en la rotación de un campo magnético externo que induce a girar un imán introducido en la solución de reacción. Donde el campo magnético es la variable a voluntad del operador, generalmente se utiliza un recubrimiento de teflón al núcleo magnético para no afectar la reacción. Es un

método adecuado para reacciones pequeñas y mediana escalas como se ve en la figura (12).



Figura 12. Agitador magnético con ácido acético en un matraz Erlenmeyer.

7.5. Medición de las variables para determinar los isotermas de adsorción (concentración de contaminantes como DQO o DBO₅, pH, temperatura, turbidez y densidad).

Una vez realizando las pruebas pilotos con las (Columnas de adsorción y los matraces Erlenmeyer), se continuo con las pruebas correspondientes al suero de leche para poder leer las variables antes establecidas con diferentes equipos para la carga orgánica (DQO y DBO₅) se utilizaron equipos de la marca Hach (Hach DRB 200 Digestor, para medir el DQO y Hach BodTrack™ II para medir DBO₅).



Fig. (13). Bloque de Reactor Digital marca Hach DRB 200.



Fig. (14). BOD TRAK II Aparato de DBO respirométrico con accesorios.

Para medir el pH de las muestras se utilizará el equipo PCE-PHD1 Figura (15), el cual mide pH y carga iónica de las muestras. Mientras que, para leer la densidad, la temperatura y la viscosidad dinámica se van a leer con el equipo Anton Para

Stabinger Viscometer SVM 3000 como se ve en la figura () la lectura de una muestra de las columnas empacadas.



Fig. (15). Lectura de la muestra de la columna empacada con carbón activado en el equipo de Anton Para.

7.6. Determinación de las isothermas de adsorción

Para la determinación de las isothermas de adsorción se utilizan los resultados de las pruebas de agitación magnéticas en los matraces Erlenmeyer, por lo cual es necesario la ecuación del isoterma de Langmuir en la cual se expresa matemáticamente de la siguiente manera ecuación (). Por otra parte, los isothermas de adsorción se pueden calcular base a softwares especiales para dicho trabajo.

7.7. Análisis de los resultados obtenidos de los diferentes tipos de adsorbentes como carbón activado, canutillos de silicatos y zeolita.

Una vez obteniendo los resultados de las variables del agua residual industrial y del suero de leche base a los diferentes tipos de adsorbentes (carbón activado, zeolita y canutillos) a diferentes alturas, se realiza una conclusión general como individuales bases a los tratamientos realizados a nivel laboratorio.

8. RESULTADOS

En base de los resultados obtenidos por las pruebas realizadas al suero de leche de la planta de Quesos de Coita, partimos en caracterizar dicha muestra obtenida del suero de leche los resultados se encuentran en la tabla 8, para luego continuar con los tratamientos de la muestra entre ellos por el método de columnas empacadas con diferentes tipos de adsorbentes donde se establecieron los tratamientos (primero: carbón activado y zeolita con unas alturas de 30 y 20 cm, segundo: combinaciones entre ellas “C. activado-Zeolita, Zeo- C. activado, Etapas “Zeo-C.A.-Zeo-C.A.” y una Mezcla de “C.A-Zeo”, tercero: Mezclas “C. activado y zeolita” donde el segundo y tercer tratamiento contienen unas alturas de 20 cm), base los tratamientos obtuvimos las variables antes mencionadas “DBO₅, DQO, pH, ρ , μ_D ” donde se presentan los valores en las tablas “9 al 21”, para la determinación de los isothermas de adsorción por la ecuación de Langmuir, los valores previos para calcular la ecuación se encuentran en las tablas “22 a 25” donde con dichos valores establecidos se realizan las graficas correspondientes, donde q es el % de remoción en G/g de adsorbente. Todos las pruebas se realizaron tres veces para obtener los resultados.

8.1. Caracterización del suero de leche de la Planta Quesos de Coita

La muestra obtenida del suero de leche de la planta quesos de coita se evaluó por diferentes pruebas para la determinación de sus parámetros (La carga orgánica “DBO₅ y DQO”, pH, densidad y la viscosidad) como se representan los valores en la siguiente tabla (8). En base a los resultados antes mencionados de (Arango Bedoya, 2017) y (Teniza, 2008) donde los sueros lácticos normalmente tienen una carga orgánica alta base a que algunas industrias agregan un ácido orgánico para conservar ciertos productos, por lo que el suero de leche contiene una (DQO y DBO₅) altas.

Tabla 8. Caracterización del Suero de Leche de la Planta Quesos de Coita

| Color | Amarillento y turbio |
|-------------------------------|----------------------|
| DQO (mg/L) | 59,573 |
| DBO ₅ (mg/L) | 35,000 |
| pH | 4.3 |
| Densidad (g/cm ³) | 1.029 |
| Viscosidad Dinámica (mPa*s) | 1.23 |

8.2. Primer tratamiento de las columnas empacadas con diferentes tipos de adsorbentes y suero de leche

En la tabla (9) se encuentran los datos que se usaron para el primer tratamiento para determinar los parámetros de la función de las columnas empacadas con diferentes tipos de adsorbentes como diferentes alturas.

Tabla 9. Datos de la primera corrida con suero de leche con diferentes adsorbentes y alturas

| Datos | | |
|-----------------|-------------|-----------|
| Adsorbente | Altura (cm) | Peso (gr) |
| Carbón activado | 30 | 109.72 |
| Carbón activado | 20 | 74.09 |
| Zeolita | 30 | 123.31 |
| Zeolita | 20 | 81.26 |

Resultados

- a) En la columna de 30 cm de altura empacada con carbón activado granular, la reducción de la carga orgánica del suero es 7.84% g de DQO/L y 1.36% de DBO₅, en comparación del método de anaerobios Tipo UASB en cual por 1,3 días y velocidades de carga orgánica entre (1,7 a 18,5 g de DQO/L), alcanza a remover el 97% de DQO. (Oscar Arango Bedoya, 2017).

Tabla 10. Resultados del carbón activado a 30 cm de altura

| Datos | | |
|-------------------------------|---------|--------|
| Volumen (mL) | Inicial | 100 |
| | Final | 45 |
| Tiempo (s) | | 1,800 |
| DQO (mg/L) | | 54,904 |
| DBO ₅ (mg/L) | | 34,525 |
| pH | | 4.5 |
| Densidad (g/cm ³) | | 1.031 |
| Viscosidad Dinámica (mPa*s) | | 1.2 |



Fig (16). Columna empacada con carbón activado con una altura de 30 cm, con el suero de leche

- b) La columna de 20 cm de altura empacada con el carbón activado granular a 5 μ m, en un tiempo de 10 min pudo remover el 34.62% de g de DQO/L sin ser una carga orgánica continua (tabla de datos); la DBO₅ del suero se reduce un 14.70%, mientras que por el método de “Reflujo cerrado por colorimétrico” respectivamente, es claro que el mayor porcentaje de remoción se presentó para una concentración de MB de 2 % y éste equivale a 71,65% y sucede cuando la planta está operando para tratar aguas de proceso productivo (Oscar F. Herrera A, 2013).

Tabla 11. Resultados de la columna de 20 cm empacada con carbón activado.

| Datos | | |
|-------------------------------|---------|--------|
| Volumen (mL) | Inicial | 100 |
| | Final | 67 |
| Tiempo (s) | | 600 |
| DQO (mg/L) | | 39,307 |
| DBO ₅ (mg/L) | | 29,856 |
| pH | | 4.9 |
| Densidad (g/cm ³) | | 1.031 |
| Viscosidad Dinámica (mPa*s) | | 1.2 |

c) La columna de 30 cm de altura empacada con zeolita granular a 5 μm , en un tiempo de 30 min se alcanzó a remover el 2.80% de DQO/L, base que no era una carga continua, la DBO₅ se reduce en un 0.13%, se ve afectado por la caída de presión que se genera la columna al tener una altura muy larga del adsorbente por lo cual no es eficiente.

Tabla 12. Resultados de la columna de 30 cm de altura



| Datos | | |
|-------------------------------|---------|--------|
| Volumen (mL) | Inicial | 100 |
| | Final | 50 |
| Tiempo (s) | | 1,800 |
| DQO (mg/L) | | 57,907 |
| DBO ₅ (mg/L) | | 34,956 |
| pH | | 4.9 |
| Densidad (g/cm ³) | | 1.031 |
| Viscosidad Dinámica (mPa*s) | | 1.2 |

Figura 17. Columnas empacadas con zeolita a una altura de 20 y 30 cm

d) Por lo tanto la columna de 20 cm de altura empacada con zeolita se obtuvo en un tiempo de 45 min, un resultado al reducir al 6.15% de los g de DQO/L del suero de leche, mientras que la DQO₅ se reduce en un 27.29% puesto que por la polaridad de la zeolita hace que ciertas proteínas del suero de leche se precipiten, en comparación al (Diego Prócel, 2016), donde el mejor tratamiento se evaluó la calidad del agua tratada a las 6 horas de operación,

con presencia inicial de grasa y muestra tomada después de la sedimentación con zeolita activada. Se obtuvo una reducción de 98,9% de DQO, 99,1% de DBO₅.

Tabla 13. Resultados de la columna de 20 cm de altura con zeolita

| Datos | | |
|-------------------------------|---------|--------|
| Volumen (mL) | Inicial | 100 |
| | Final | 76 |
| Tiempo (s) | | 900 |
| DQO (mg/L) | | 55,907 |
| DBO ₅ (mg/L) | | 25,450 |
| pH | | 4.9 |
| Densidad (g/cm ³) | | 1.031 |
| Viscosidad Dinámica (mPa*s) | | 1.2 |

8.3. Segundo tratamiento de las columnas empacadas con diferentes tipos de adsorbentes y suero de leche.

En la tabla (14) se encuentran los datos que se usaron para el primer tratamiento para determinar los parámetros de la función de las columnas empacadas con diferentes tipos de adsorbentes como diferentes alturas.

Tabla 14. Datos de la segunda corrida con suero de leche con diferentes combinaciones de adsorbentes.

| Carbón A.-Zeolita | | |
|-------------------|-------------|-----------|
| Adsorbentes | Altura (cm) | Masa (gr) |
| Carbón activado | 10 | 24.87 |
| Zeolita | 10 | 46.48 |
| Zeolita-Carbón A. | | |
| Adsorbentes | Altura (cm) | Masa (gr) |
| Zeolita | 10 | 47.28 |
| Carbón activado | 10 | 25.51 |
| Etapas | | |
| Adsorbentes | Altura (cm) | Masa (gr) |
| Zeolita | 5 | 20.39 |
| Carbón activado | 5 | 14.3 |
| Zeolita | 5 | 23.71 |
| Carbón activado | 5 | 12.51 |
| Mezcla | | |
| Adsorbentes | Altura (cm) | Masa (gr) |
| Mezcla | 20 | 87 |

Resultados



Figura 18. Segunda corrida de las columnas con diferentes combinaciones con diferentes tipos de adsorbentes con el suero de leche.

- a) Carbón activado con Zeolita: la combinación previa de los adsorbentes tuvo un impacto grande en la reducción del 19.70% de g de DQO/L y un 38.39% de DBO₅ base que la polaridad de la zeolita las proteínas del suero se precipitan y en el carbón activado queda más saturado el adsorbente removiendo mayor carga orgánica, en comparación Contactor Biológico Rotatorio (CBR); Los resultados demostraron que la carga orgánica más eficiente fue la de 12.2 g DQO/L, con una remoción como DQO de 98.35%, una DBO₅ de 97.96% (Elba R. Castillo Borges, 2018).

Tabla 15. Resultados de la columna de Carbón activado con Zeolita

| Datos | | |
|-------------------------------|---------|--------|
| Volumen (mL) | Inicial | 150 |
| | Final | 101 |
| Tiempo (s) | | 2400 |
| DQO (mg/L) | | 47,840 |
| DBO ₅ (mg/L) | | 21.564 |
| pH | | 4.9 |
| Densidad (g/cm ³) | | 1.0129 |
| Viscosidad Dinámica (mPa*s) | | 1.0109 |

- b) Zeolita con carbón activado: En la siguiente combinación los adsorbentes no se favorecen uno al otro puesto que la zeolita al tener una polaridad puede precipitar las proteínas del suero de leche, mientras el carbón solo puede

adsorber ciertos porcentajes por lo que lo que se alcanza a reducir en los g de DQO/L es un 26.30% y un 44.10% de DBO₅, dicho caso igual se compara con el artículo de (Elba R. Castillo Borges, 2018).

Tabla 16. Resultados de la columna de Zeolita con carbón activado

| Datos | | |
|-------------------------------|---------|--------|
| Volumen (mL) | Inicial | 150 |
| | Final | 105 |
| Tiempo (s) | | 3000 |
| DQO (mg/L) | | 43,907 |
| DBO ₅ (mg/L) | | 19,564 |
| pH | | 4.3 |
| Densidad (g/cm ³) | | 1.0173 |
| Viscosidad Dinámica (mPa*s) | | 1.0444 |

- c) Etapas (Zeolita, Carbón activado, Zeolita y Carbón activado): Base a los niveles que se presentan en la combinación tanto como la zeolita y el carbón removieron el 30.10% g de DQO/L y 52.46% de DBO₅ de la carga orgánica del suero de leche esto se debe que a los niveles la zeolita separaba las proteínas del suero y quedaban atrapadas entre la capa de zeolita y carbón, reduciendo la cantidad, por lo que nuevamente el suero que paso por la primera etapa continuaba por la siguiente etapa, en comparación del artículo antes mencionado de (Diego Prócel, 2016).

Tabla 17. Resultados de la columna por etapas

| Datos | | |
|-------------------------------|---------|--------|
| Volumen (mL) | Inicial | 150 |
| | Final | 100 |
| Tiempo (s) | | 3600 |
| DQO (mg/L) | | 41,640 |
| DBO ₅ (mg/L) | | 16,640 |
| pH | | 4.4 |
| Densidad (g/cm ³) | | 1.0142 |
| Viscosidad Dinámica (mPa*s) | | 1.0256 |

- d) Mezcla (Carbón activado mezclado con zeolita): Dicha combinación fue la favorable en el proceso de adsorción puesto que a las propiedades del carbón activado al igual que las propiedades polares de la zeolita hicieron que la carga orgánica del suero de leche se removiera en un 39.28% g de DQO/L y un 54.74% de DBO₅, base al artículo de (Oscar Arango Bedoya, 2017) donde hay alguna similitud al 30% de los resultados ya antes mencionados.

Tabla 18. Resultados de la columna empacada con la Mezcla

| Datos | | |
|-------------------------------|---------|---------|
| Volumen (mL) | Inicial | 150 |
| | Final | 87 |
| Tiempo (s) | | 2400 |
| DQO (mg/L) | | 36,173 |
| DBO ₅ (mg/L) | | 15,840 |
| pH | | 4.9 |
| Densidad (g/cm ³) | | 1.0112 |
| Viscosidad Dinámica (mPa*s) | | 0.99639 |

8.4. Tercer tratamiento de las columnas empacadas con diferentes tipos de adsorbentes y suero de leche.

En la tabla (19) se muestran los datos correspondientes a la tercera corrida de la mezcla del carbón activado con la zeolita.

Tabla 19. Datos de las columnas empacadas con la mezcla de carbón y zeolita

| Datos | | |
|-----------------|----------|-------------|
| Mezcla | Masa (g) | Altura (cm) |
| Primera corrida | 75 gr | 20 |
| Segunda corrida | 75gr | 20 |

En el segundo tratamiento se pudo determinar que la mezcla fue el tratamiento con mayor rendimiento se obtuvo en la reducción en la carga orgánica del suero de leche por lo tanto se realizó dos corridas con una misma muestra como se muestra en la siguiente figura (19).



Figura 19. Columnas de adsorción empacadas con la mezcla de zeolita y carbón activado de lado izquierdo la primera corrida y del lado derecho la segunda corrida

Resultados

- a) En la primera corrida del suero de leche en la columna empacada con la mezcla en una altura de 20 cm, se alcanza a remover el 39.84% de g DQO/L y un 55.37% de dicha carga en un periodo de 40 min, en comparación del artículo de (Pazmiño, 2017), donde; Los resultados obtenidos evidencian la eficiencia del carbón activado con relación a la DQO que tuvo una eficiencia del 94,55% es decir el filtro tiene una gran capacidad de remoción de materia orgánica respecto con aceites y grasas también hubo una alta eficiencia del 72,02% lo que quiere decir que éste filtro tiene una gran capacidad para remoción de las mismas; por otro lado en la DBO₅ el nivel de eficiencia fue de 10,66%, lo que quiere decir que existieron valores superiores de contaminación con relación al de agua cruda.

Tabla 20. Resultados de la primera corrida del suero en la mezcla de carbón activado con zeolita

| Datos | | |
|-------------------------------|---------|---------|
| Volumen (mL) | Inicial | 200 |
| | Final | 105 |
| Tiempo (s) | | 2400 |
| DQO (mg/L) | | 35,840 |
| DBO ₅ (mg/L) | | 15,620 |
| pH | | 4.5 |
| Densidad (g/cm ³) | | 1.0112 |
| Viscosidad Dinámica (mPa*s) | | 0.99639 |

- b) En el segundo tratamiento al entrar el suero tratado por lo cual su carga orgánica viene reducida casi en un 50% por lo que la segunda columna reduce los niveles de % en la carga orgánica nuevamente en un 50.25% g de DQO/L y un 84.41% de DBO₅, base que por las propiedades de los adsorbentes, en el siguiente artículo antes mencionado con una relación similar en un 80% de (Pazmiño, 2017).

Tabla 21. Resultados de la segunda corrida del suero en la mezcla de carbón activado con zeolita

| Datos | | |
|-------------------------------|---------|---------|
| Volumen (mL) | Inicial | 105 |
| | Final | 65 |
| Tiempo (s) | | 900 |
| DQO (mg/L) | | 29,640 |
| DBO ₅ (mg/L) | | 5,456 |
| pH | | 8.5 |
| Densidad (g/cm ³) | | 1.0112 |
| Viscosidad Dinámica (mPa*s) | | 0.99639 |

8.5 Isoterma de adsorción del carbón activado

En la tabla (22) se observan los datos que se obtuvieron en el método de agitación magnética con el carbón activado en el suero de leche durante el tiempo de 1 hora de agitación y 1 de reposo.

Tabla 22. Resultados de la agitación magnética

| m = C.A. inicial gr. | Co = Suero ml. | Ce = concentración final gr. | PH |
|----------------------|----------------|------------------------------|-----|
| 0.4 | 100 | 95 | 4 |
| 0.6 | 100 | 93 | 4 |
| 0.8 | 100 | 90 | 4.1 |
| 1 | 100 | 88 | 4.1 |
| 1.2 | 100 | 84 | 5 |

Resultados

Base a los datos obtenidos con la ecuación de Langmuir se realiza el isoterma correspondiente con los datos de la tabla 23.

Tabla 23. Datos para realizar el isoterma de adsorción del carbón activado

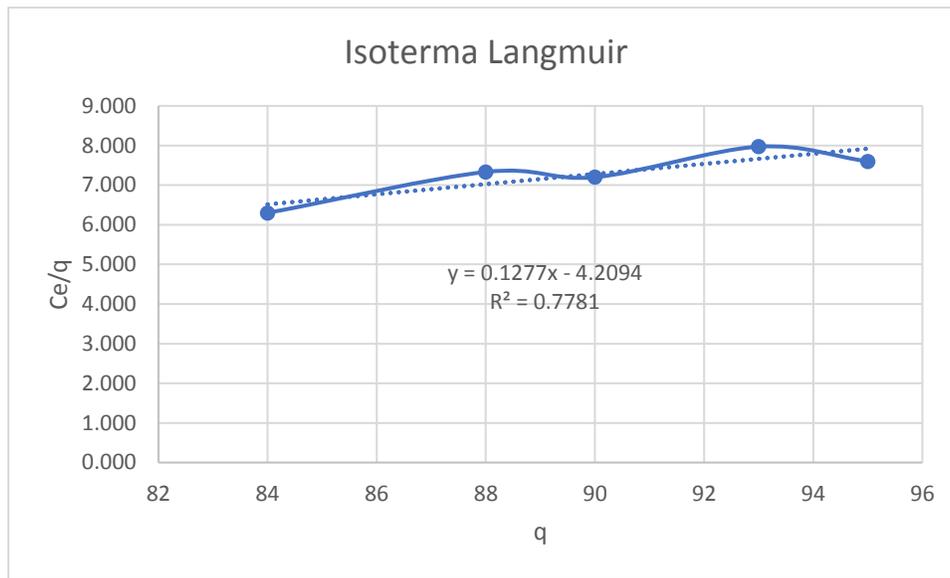
| X = Co - Ce | q = x/m | Ce/q |
|-------------|---------|-------|
| 5 | 12.500 | 7.600 |
| 7 | 11.667 | 7.971 |
| 10 | 12.500 | 7.200 |
| 12 | 12.000 | 7.333 |
| 16 | 13.333 | 6.300 |

El contenido de la carga orgánica (grupos ácidos totales es mayor que el contenido de grupos básicos), lo que hace que el pH en el punto de carga cero, pH_{suero} sea ligeramente ácido, con un valor de (4 a 4.1), que se debe tener en cuenta para la adsorción de la carga orgánica (DQO y DBO_5) del suero de leche a los diferentes valores de pH, dado que éste modifica la carga superficial del carbón activado.

En la gráfica (1) se muestra la isoterma de adsorción del suero de leche a 25°C obtenida para el carbón activado, la cual es típica para un sólido microporoso con una escasa distribución de poro, que se observa en el codo cerrado a presiones relativas bajas, y la presencia de una incipiente mesoporosidad que se observa a presiones relativas mayores.

En comparación del artículo de (Diana P. Vargas, 2015) donde se obtienen valores de la cantidad máxima adsorbida entre 96,2 y 46,4 mgg^{-1} , para cada uno de los valores de pH, y valores entre 0,422 y 0,965 Lmg^{-1} , para la constante de Langmuir. La cantidad máxima adsorbida disminuye con el pH, y el máximo valor para esta se encuentra en el pH de 5.

Grafica 1. Isotherma de adsorción del carbón activado con la ecuación de Langmuir



Donde: La pendiente es de 0.1277, la ordenada -4.2094, b es 7.83, k es -0.04

8.6. Isotherma de adsorción de la zeolita

En la tabla (24) se observan los datos que se obtuvieron en el método de agitación magnética con la zeolita en el suero de leche durante el tiempo de 1 hora de agitación y 1 de reposo.

Tabla 24. Resultados de la agitación magnética

| m = C.A. inicial gr. | Co = Suero ml. | Ce = concentración final gr. | PH |
|----------------------|----------------|------------------------------|-----|
| 0.4 | 100 | 96 | 4 |
| 0.6 | 100 | 93 | 4 |
| 0.8 | 100 | 90 | 4.1 |
| 1 | 100 | 88 | 4.1 |
| 1.2 | 100 | 84 | 4.9 |

Resultados

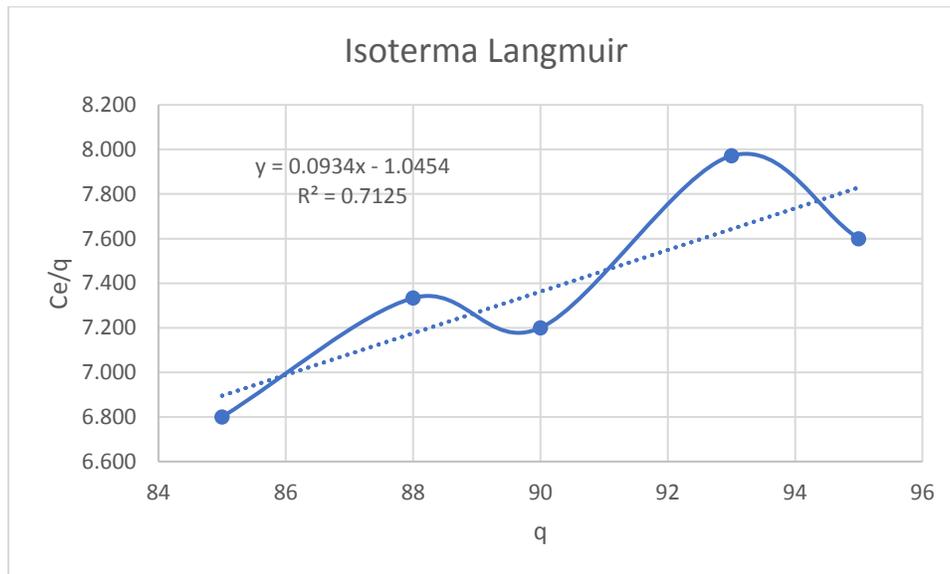
Base a los datos obtenidos con la ecuación de Langmuir se realiza el isoterma correspondiente con los datos de la tabla 25.

Tabla 25. Datos para realizar el isoterma de adsorción de la zeolita

| X = Co - Ce | q = x/m | Ce/q |
|-------------|---------|-------|
| 4 | 10.000 | 9.600 |
| 7 | 11.667 | 7.971 |
| 10 | 12.500 | 7.200 |
| 12 | 12.000 | 7.333 |
| 16 | 13.333 | 6.300 |

El contenido de la carga orgánica (grupos ácidos totales es mayor que el contenido de grupos básicos), lo que hace que el pH en el punto de carga cero, pH_{suero} sea ligeramente ácido, con un valor de 3.9 a 4.0, que se debe tener en cuenta para la adsorción de la carga orgánica (DQO y DBO_5) del suero de leche a los diferentes valores de pH, dado que éste modifica la carga superficial de la zeolita. En la gráfica (2) se muestra el isoterma de adsorción del suero de leche a 25°C obtenida para la zeolita, en comparación de (Carlos F. Linares, 2014). La adsorción aumenta a medida que aumenta la concentración. Inicialmente, en este tipo de isoterma, existe una competencia entre el soluto monofuncional, en este caso la urea, y el agua por los sitios activos del sólido. Las moléculas de soluto son adsorbidas a los lados o al final de la superficie del sustrato, de esta manera a medida que las fuerzas intermoleculares son mayores debido a los puentes de hidrógeno, los residuos hidrofóbicos pueden ejercer su efecto máximo: por lo tanto, la isoterma en un inicio converge hacia el eje horizontal.

Grafica 2. Isoterma de adsorción de la zeolita por la ecuación de Langmuir



Donde: La pendiente es de 0.0934, la ordenada -1.0454, b es 10.71, k es -0.09

9. CONCLUSIONES

Se realizó la adsorción de contenido orgánico del agua residual proveniente de una industria láctea generando una remoción considerable de carga orgánica (DQO) y (DBO_5), del pH, densidad, viscosidad dinámica y el tiempo de operación. La acidez final del medio indica la presencia de ácidos orgánicos que no fueron completamente degradados en la adsorción por los diferentes adsorbentes (carbón activado y zeolita), pero en la mezcla, la carga orgánica tuvo respuesta positiva frente a la zeolita y el carbón activado.

La adsorción de la materia orgánica fue través de columnas empacadas con diferentes tipos de adsorbentes antes mencionados, por dos corridas de la misma muestra a través de dos columnas empacadas con la mezcla de carbón y zeolita. Esta adsorción alcanzó porcentajes de 50.25% en la demanda química de oxígeno (DQO) y 84.41% en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), densidad (ρ) 1.0112 g/cm^3 , viscosidad dinámica (μ) $0.99 \text{ mPa}\cdot\text{S}$ con un pH de 8.5. Se propusieron tres tipos de adsorbentes, pero base a las propiedades del carbón activado, y la estructura de la zeolita, se descartaron los canastillos puesto que no tenía sentido utilizarlos en la breve experimentación, la muestra de agua residual de una planta Quesos de Coita ubicada en Ocozocoautla de Espinosa (Chiapas), se caracterizaron para analizar los porcentajes de remoción en las diferentes combinación, niveles y etapas del empacado de las columnas con dichos adsorbentes.

En conclusión, de acuerdo a los resultados experimentales del presente estudio, para tratamientos de adsorción de agua residual del suero de leche mediante columnas empacadas con diferentes tipos adsorbentes, la presencia de grasas no impide una remediación óptima, sino que promueve incrementos de la reducción de turbidez y neutralización del pH. Con el presente trabajo se promueve la implementación de soluciones de bajo coste y accesibilidad tecnológica para las industrias lácteas.

Isotermas de adsorción carbón activado y zeolita

La capacidad de adsorción del carbón activado y la zeolita comercial empleado en la remoción del suero de leche, bajo condición de agitación magnética mejora cuando aumenta el pH. La máxima capacidad de adsorción del carbón activado en condición discontinua fue del 16%, con un pH de 5, cuando la máxima capacidad de adsorción de la zeolita en condición discontinua fue de 15% a 4.9 pH, resultado que es comparable con los valores reportados en la literatura científica.

Los datos experimentales de equilibrio se ajustan significativamente al modelo de isoterma de Langmuir; y, al efecto del pH inicial de la disolución sobre el porcentaje

de remoción a una concentración inicial de 100 ml y dosis de adsorbente de (0.4 a 1.2 gr).

Recomendaciones

Para futuros estudios, se recomienda un monitoreo continuo de las columnas, la temperatura y presión del lugar donde se realizarán las pruebas puesto que afectan a los adsorbentes, así como evaluación de condiciones de las aguas residuales desde inicio a final para ver cambios mutuos en la cantidad de carga orgánica que esta pueda presentar.

Mientras que los isoterms se recomienda una comparación con diferentes modelos para ver comparaciones relativas.

Se recomienda utilizar otros métodos como los que se mencionaron en los artículos citados.

10.. COMPETENCIAS DESARROLLADAS

Básicas

- Comprensión sistemática de un campo de estudio y dominio de las habilidades y métodos de investigación relacionados con dicho campo.
- Capacidad de concebir, diseñar o crear, poner en práctica y adoptar un proceso sustancial de investigación o creación.
- Capacidad para contribuir a la ampliación de las fronteras del conocimiento a través de una investigación original.
- Capacidad de fomentar, en contextos académicos y profesionales basada en el conocimiento del tema.

Capacidades y destrezas personales

- Desenvolverse en contextos en los que hay poca información específica.
- Encontrar las preguntas claves que hay que responder para resolver un problema complejo.
- Trabajar tanto en equipo como de manera autónoma para ver un avance en el proyecto y obtener un resultado favorable.
- Integrar conocimientos, enfrentarse a la complejidad y formular juicios con información limitada.
- La crítica y defensa intelectual de soluciones previamente antes presentadas.
- Desarrollar la investigación cuidando todos sus aspectos éticos, tanto los específicamente científicos como aquellos que garantizan un servicio eficaz a la sociedad.

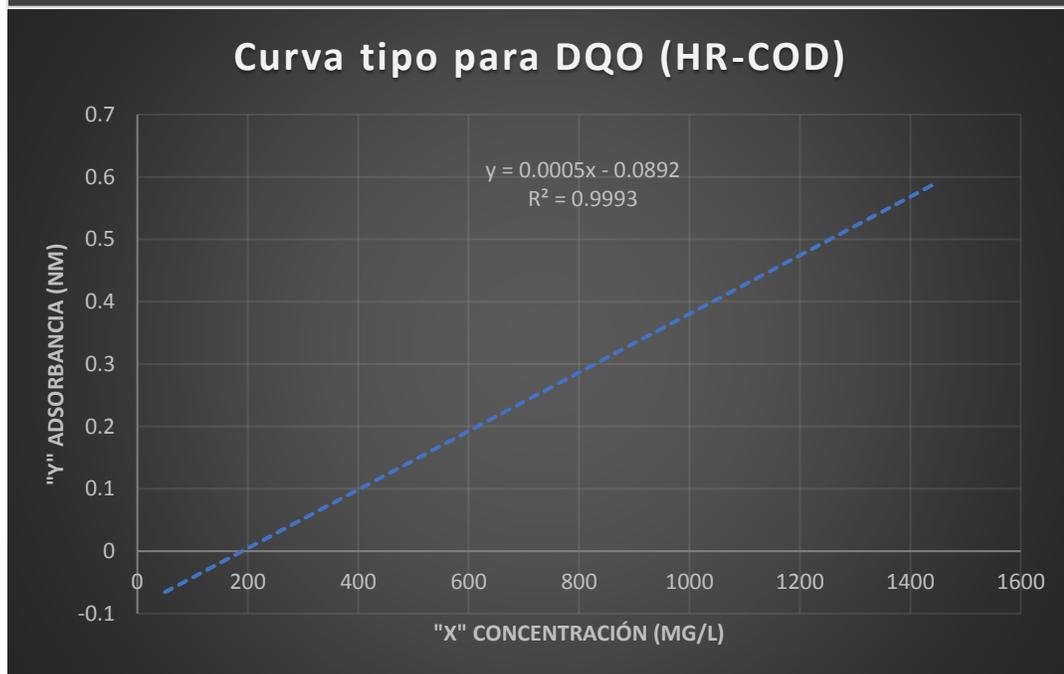
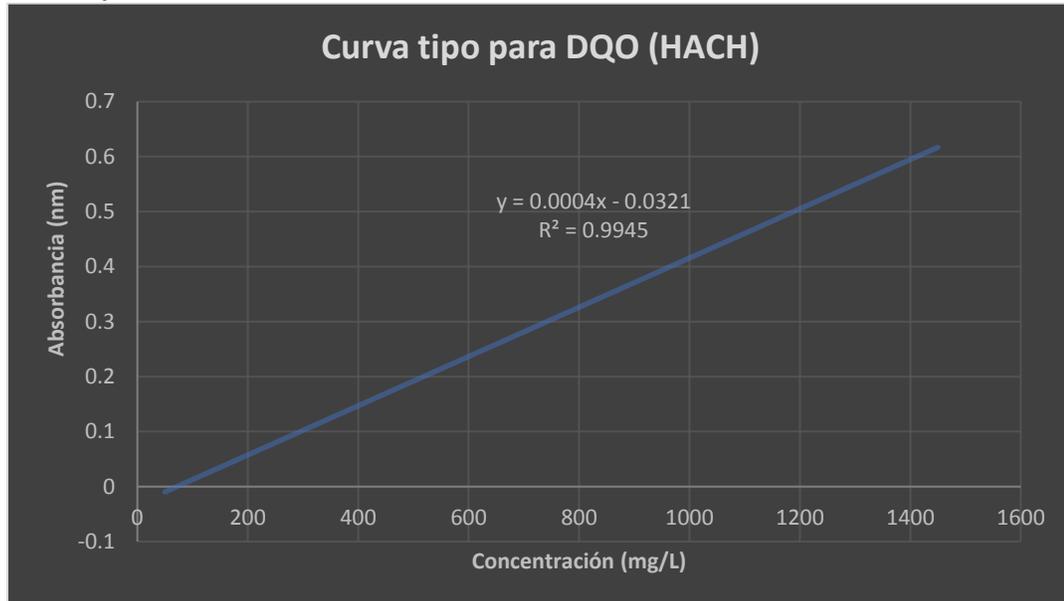
11. REFERENCIAS

1. Ana Mejía López, M. C. (2017). ORGANIC CONTAMINANTS REMOVAL IN DOMESTIC WASTEWATER USING A PROTOTYPE LABORATORY SCALE. Ciencias de La Vida, 2-11.
2. Carlos F. Linares, S. Y. (2014). Zeolitas naturales como adsorbente de urea. Facultad de Ingenieria Universidad Central de Venezuela, 2-5.
3. Carlos F. Rivas, O. N. (2018). ISOTERMA DE LANGMUIR Y FREUNDLICH COMO MODELOS PARA LA ADSORCIÓN DE COMPONENTES DE ÁCIDO NUCLEICO SOBRE WO₃ . Revista Multidisciplinas del Consejo de Investigación (SABER), 2-10.
4. Corona OL, M. H. (2019). Propiedades de adsorción en zeolitas con anillos de 8 miembros I. Microporosidad y superficie externa. Materia, 2-19.
5. Diana P. Vargas, L. G. (2015). DETERMINACIÓN DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN Y ENTALPÍAS DE INMERSIÓN DE CARBON ACTIVADO EN SOLUCIONES ACUOSAS DE 3-CLORO FENOL A DIFERENTE pH. Colombiana Quimica, 2-10.
6. Diego Prócel, P. P. (2016). Biodegradation of organic contaminants from the dairy industry . Enfoque UTE, 12-32.
7. Elba R. Castillo Borges, A. B. (2018). Remoción de materia organica en aguas residuales de rastro por el procesos de contactor Biológico Rotacional. Ingenieria agroxp, 2-9.
8. Garcia, O. T. (2008). ESTUDIO DEL SUERO DE QUESO DE LECHE DE VACA Y PROPUESTA PARA EL REUSO DEL MISMO. Apetatitlán, Tlaxcala: Politecnico Nacional .
9. Gina Hincapié Mejía, S. C. (2016). Absorption thermodynamic study of azoic dye with by means of a lignocellulosic waste in aqueous medium. Ingenieria y Desarrollo, 2-20.
10. Giraldo, Á. A. (2017). TRatamiento de aguas residuales de la industria láctea. P+L, 1-8.
11. Huertas, R. A. (2019). Digestión Anaerobia de Lactosuero: Efecto de Altas Cargas Puntuales. UPTC, 1-10.
12. Jose G. Carriazo, M. J. (2010). PROPIEDADES ADSORTIVAS DE UN CARBÓN ACTIVADO Y DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DE LANGMUIR EMPLEANDO MATERIALES DE BAJO COSTO. Universidad Autinoma de México (UNAM), 1-6.

13. M., A. J. (2011). Estudio de adsorción de Boro con Amberlite IRA 743. Ecuador: SFP.
14. NMX-AA-028-SCFI-2001. (s.f.).
15. NORMA MEXICANA NMX-AA-030/2-SCFI-2011 . (s.f.).
16. (s.f.). NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021.
17. Oscar Arango Bedoya, L. S. (2017). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistema anaerobios tipo UASB. Ciencias Agronomas, 2-8.
18. Oscar F. Herrera A, E. J. (2013). Reducción de la contaminación en aguas residuales láctea utilizando microorganismos benéficos. Biotecnología Agropecuaria y Agroindustrial (BSAA), 2-10.
19. Pazmiño, G. V. (2017). ANÁLISIS DEL CARBÓN ACTIVADO COMO FILTRO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA "MONTEVERDE" EN EL BARRIO ROCAFUERTE CANTÓN DE PÍLLARO PROVINCIA DE TUNGURAHUA. Ambato: Universidad Técnica de Ambato (UNTA).
20. Perez Prado, J. L. (2018). Remoción de DQO y DBO del lactosuero ácido mediante el una celda de electrocoagulación. Huacayo, Peru: UNCP.
21. PROY-NMX-AA-030-1-SCFI-08-2001. (s.f.).
22. Sousa, O. A. (2016). Tratamiento de Aguas Residuales de la Industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB. Agrociencia, 1-8.
23. Teniza, G. O. (2008). Estudio del suero de queso de leche de vaca y propuesta el reuso del mismo. Tlaxcala, México: IPNT.

12. ANEXOS

- I. Anexo 1. Curvas de calibración de la demanda química de oxígeno marca HACH y HR-COD



II. Anexo 2. Lectura de absorbancias de los tratamientos y cálculos de DQO

| Datos | Lecturas de Absorbancia | | | | DQO (mg/L) |
|-----------------------|-------------------------|-------|-------|----------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | Promedio | |
| Suero de Leche | 0.206 | 0.210 | 0.210 | 0.209 | 59,573 |
| Primer tratamiento | | | | | |
| Carbón activado 30 cm | 0.186 | 0.185 | 0.185 | 0.185 | 54,907 |
| Carbón activado 20 cm | 0.105 | 0.110 | 0.107 | 0.107 | 39,307 |
| Zeolita 30 cm | 0.200 | 0.201 | 0.200 | 0.200 | 57,907 |
| Zeolita 20 cm | 0.186 | 0.190 | 0.195 | 0.190 | 55,907 |
| Segundo tratamiento | | | | | |
| C. Activado-Zeolita | 0.152 | 0.149 | 0.149 | 0.150 | 47,840 |
| Zeolita-C. Activado | 0.134 | 0.129 | 0.128 | 0.130 | 43,907 |
| Etapas | 0.117 | 0.111 | 0.129 | 0.119 | 41,640 |
| Mezcla | 0.091 | 0.092 | 0.092 | 0.092 | 36,173 |
| Tercer tratamiento | | | | | |
| Mezcla 1 | 0.091 | 0.092 | 0.087 | 0.090 | 35,840 |
| Mezcla 2 | 0.060 | 0.059 | 0.058 | 0.059 | 29,640 |

III. Anexo 3. Tabla de DQO con porcentajes de remoción por los diferentes tratamientos

| Demanda Química de Oxígeno | | | |
|----------------------------|------------|-------|----------------|
| Cantidad | Porcentaje | | Suero de Leche |
| 59,573 | 100% | | |
| Primer tratamiento | | | |
| 54,904 | 92.16 | 7.84 | C.A. 30 cm |
| 39,307 | 65.98 | 34.02 | C.A. 20 cm |
| 57,907 | 97.20 | 2.80 | Zeo 30 cm |
| 55,907 | 93.85 | 6.15 | Zeo 20 cm |
| Segundo | | | |
| 47,840 | 80.30 | 19.70 | Etapas |
| 43,907 | 73.70 | 26.30 | C. A-Zeo |
| 41,640 | 69.90 | 30.10 | Zeo- C. Av. |
| 36,173 | 60.72 | 39.28 | Mezcla |
| Tercera | | | |
| 35,840 | 60.16 | 39.84 | Primera |
| 29,640 | 49.75 | 50.25 | Segunda |

IV. Anexo 4. Tabla de DBO₅ con porcentajes de remoción por los diferentes tratamientos

| Demanda Bioquímica de Oxígeno | | | |
|-------------------------------|-------|-------|----------------|
| Cantidad | % | | Suero de Leche |
| 35,000 | 100% | | |
| Primer tratamiento | | | |
| 34,525 | 98.64 | 1.36 | C.A. 30 cm |
| 29,856 | 85.30 | 14.70 | C.A. 20 cm |
| 34,956 | 99.87 | 0.13 | Zeo 30 cm |
| 25,450 | 72.71 | 27.29 | Zeo 20 cm |
| Segundo | | | |
| 16,640 | 47.54 | 52.46 | Etapas |
| 21,564 | 61.61 | 38.39 | C. A-Zeo |
| 19,564 | 55.90 | 44.10 | Zeo- C. Av. |
| 15,840 | 45.26 | 54.74 | Mezcla |
| Tercera | | | |
| 15,620 | 44.63 | 55.37 | Primera |
| 5,456 | 15.59 | 84.41 | Segunda |

V. Anexo 5. Tabla de diferencias de las DQO calculados en diferentes curvas de calibración y diferentes marcas

| Datos | DQO HR-COD (mg/L) | DQO HACH (mg/L) |
|-----------------------|-------------------|-----------------|
| Suero de Leche | 59573 | 60192 |
| Primer tratamiento | | |
| Carbón activado 30 cm | 54907 | 54358 |
| Carbón activado 20 cm | 39307 | 34858 |
| Zeolita 30 cm | 57907 | 58108 |
| Zeolita 20 cm | 55907 | 55608 |
| Segundo tratamiento | | |
| C. Activado-Zeolita | 47840 | 45525 |
| Zeolita-C. Activado | 43907 | 40608 |
| Etapas | 41640 | 37775 |
| Mezcla | 36173 | 30942 |
| Tercer tratamiento | | |
| Mezcla 1 | 35840 | 30525 |
| Mezcla 2 | 29640 | 22775 |

VI. Anexo 6. Fotografía de la DBO₅ del suero del queso panela de la planta Lácteos del potrero.

