



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN UNA
COLUMNA DE LECHO FIJO RELLENA CON CARBÓN ACTIVADO
GRANULAR

ROMERO BANCHON ROBERTH ALCIDES
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN UNA
COLUMNA DE LECHO FIJO RELLENA CON CARBÓN
ACTIVADO GRANULAR

ROMERO BANCHON ROBERTH ALCIDES
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN UNA COLUMNA DE
LECHO FIJO RELLENA CON CARBÓN ACTIVADO GRANULAR

ROMERO BANCHON ROBERTH ALCIDES
INGENIERO QUÍMICO

ROMERO BONILLA HUGO ITALO

MACHALA, 08 DE MAYO DE 2020

MACHALA
2020

Remoción de contaminantes emergentes en una columna de lecho fijo rellena de carbón activado granular.

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

1%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Técnica de Machala

Trabajo del estudiante

3%

2

Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León

Trabajo del estudiante

2%

3

Submitted to Consorcio CIXUG

Trabajo del estudiante

1%

4

Submitted to Universidad Nacional de Colombia

Trabajo del estudiante

1%

5

upcommons.upc.edu

Fuente de Internet

<1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Apagado

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, ROMERO BANCHON ROBERTH ALCIDES, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN UNA COLUMNA DE LECHO FIJO RELLENA CON CARBÓN ACTIVADO GRANULAR, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 08 de mayo de 2020

RobentH Romeno

ROMERO BANCHON ROBERTH ALCIDES
0705883999

DEDICATORIA

La presente investigación se lo dedico a Dios por darme salud y sabiduría a lo largo de mi carrera como estudiante. A mis padres por su apoyo, confianza y amor. Gracias por estar siempre a mi lado apoyándome a cumplir mis metas como persona y estudiante. A mi padre por el apoyo económico y estar ahí siempre dándome sus concejos para seguir adelante. A mi madre por formarme como una persona con muchos valores a través de sus concejos.

Roberth Alcides Romero Banchón

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser el pilar fundamental en mi vida y más que todo por haberme dado una familia espectacular, quienes siempre me han apoyado en las buenas y en las malas, gracias esta bella familia soy una gran persona. También agradezco a mi tutor de tesis por sus enseñanzas académicas a lo largo de este proceso de titulación.

Roberth Alcides Romero Banchón

RESUMEN

La contaminación del agua en el planeta tierra cada vez se incrementa y a la vez se han encontrado contaminantes que afectan gravemente a la salud de los seres vivos. Estos contaminantes que afectan gravemente a la salud, se lo denomina “Contaminantes Emergentes” que son productos farmacéuticos, producto de cuidado personal, esteroides y pesticidas. De estos contaminantes emergentes los que más efectos negativos se da en el ambiente, son los productos farmacéuticos en especial los Antibióticos, debido que se han reportados grandes cantidades de estos antibióticos en las aguas residuales en especial Levofloxacin que es un antibiótico utilizado a nivel mundial por tratar infecciones bacterianas. En todo el planeta el 80% de estas aguas residuales que se generan no son tratadas.

En el Ecuador se reportan estudio que se han encontrado antibióticos en los ríos del país, es preocupante debido que en el país solo el 8% de estas aguas residuales se tratan. Para la eliminación o remoción de estos fármacos se han evaluado varias técnicas para conocer cuál es efectiva, y ha considerado que el proceso más óptimo para remover es por adsorción.

El objetivo de estudio de esta investigación es la adsorción de Levofloxacin en una disolución acuosa mediante la aplicación de dos procesos de adsorción para determinar su capacidad de remoción de este contaminante, por lote y columna lecho fijo rellena de carbón activado granular.

Para el proceso de adsorción por lote, se estudió el tiempo de contacto vs concentración inicial, se utilizaron concentración de Levofloxacin (50-250 ppm) a una agitación de 200 rpm a 120 min, y se obtuvo que la mayor adsorción fue a los 90 min, luego se determinó el pH óptimo, donde se evaluaron diferentes pH (3-11) de la disolución de Levofloxacin, donde se agitó a 200 rpm a 90 min, y se obtuvo que en la disolución de Levofloxacin a pH 9 es donde más adsorción se dio, el último estudio es la dosis de carbón activado, donde se evaluaron diversas dosis(0.05-0.3g) de carbón activado, a una concentración de 150 ppm , y a una agitación de 200 rpm a 90min, donde se notó una buena absorción es en la dosis de 0.15g de carbón activado.

Para el proceso de columna de lecho fijo rellena de carbón activado, se estudió diferentes caudales(0.5-1.5ml/min) inicial, a una longitud de relleno de 15 cm y una concentración

de 150 ppm, se determinó que a un caudal mayor hay una rápida saturación de la columna y a un menor caudal hay una mejor capacidad de adsorción, luego se estudió las diferentes longitudes de relleno (5-15cm), donde se dio que a una mayor longitud hay una mejor adsorción y a una longitud mejor el tiempo de saturación aumenta, el último estudio es la concentración de entrada se estudió diferentes concentración de Levofloxacin(50-150ppm), a una longitud de relleno de 15 cm, en este estudio ocurrió que a mayor concentración el tiempo de saturación es temprano y ocurre una buena adsorción.

En conclusión, se determinó la capacidad máxima de adsorción, donde se obtuvo 90.9090mg/g de Levofloxacin por lotes y 2.360mg/g en la columna de lecho fijo.

Palabras Claves: Carbón activado granular, adsorción, contaminantes emergentes, Levofloxacin

ABSTRACT

Water pollution on planet earth is increasing and at the same time pollutants have been found that seriously affect the health of living beings. These pollutants that seriously affect health are called “Emerging Pollutants” which are pharmaceuticals, personal care products, steroids and pesticides. Of these emerging pollutants, the most negative effects on the environment are pharmaceutical products, especially antibiotics, because large amounts of these antibiotics have been reported in wastewater, especially Levofloxacin, which is an antibiotic used worldwide for treat bacterial infections On the entire planet, 80% of these wastewater that is generated is not treated.

In Ecuador, studies have been reported that antibiotics have been found in the country's rivers, it is worrying because in the country only 8% of these wastewater is treated. For the elimination or removal of these drugs, several techniques have been evaluated to determine which is effective, and it has been considered that the most optimal process to remove is by adsorption.

The objective of this research study is the adsorption of Levofloxacin in an aqueous solution by applying two adsorption processes to determine its ability to remove this contaminant, by batch and fixed bed column filled with granular activated carbon.

For the batch adsorption process, the contact time vs. initial concentration was studied, levofloxacin concentration (50-250ppm) was used at a stirring of 200 rpm at 120 min, and it was obtained that the greatest adsorption was at 90 min , then the optimum pH was determined, where different pH (3-11) of the levofloxacin solution was evaluated, where it was stirred at 200 rpm at 90 min, and it was obtained that in the solution of levofloxacin at pH 9 is where more adsorption it was given, the last study is the dose of activated carbon, where various doses (0.05-0.3g) of activated carbon were evaluated, at a concentration of 150 ppm, and at an agitation of 200 rpm at 90min, where a good absorption was noted It is in the dose of 0.15g of activated carbon.

For the fixed bed column process filled with activated carbon, different initial flow rates (0.5-1.5ml / min) were studied, at a filling length of 15 cm and a concentration of 150 ppm, it was determined that at a higher flow rate there are a rapid saturation of the column and at a lower flow rate there is a better adsorption capacity, then the different filling lengths (5-15cm) were studied, where it was found that at a longer length there is a better

adsorption and at a better length the time of saturation increases, the last study is the concentration of entry different levofloxacin concentration (50-150ppm) was studied, at a filling length of 15 cm, in this study it happened that at higher concentration the saturation time is early and a good one occurs adsorption.

In conclusion, the maximum adsorption capacity was determined, where 90,9090mg / g of levofloxacin was obtained in batches and 2,360mg / g in the fixed bed column.

Keywords: Granular activated carbon, adsorption, emerging contaminants, Levofloxacin

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| DEDICATORIA | I |
| AGRADECIMIENTO | II |
| RESUMEN | III |
| ABSTRACT | V |
| ÍNDICE | VII |
| ÍNDICE DE GRAFICOS | IX |
| ÍNDICE DE TABLAS | X |
| ÍNDICE DE ANEXOS | XI |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| OBJETIVOS | 3 |
| OBJETIVOS GENERAL | 3 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| CAPÍTULO 1: MARCO REFERENCIAL | 4 |
| 1.1. Contaminantes emergentes | 4 |
| 1.2. Productos farmacéuticos en el agua | 4 |
| 1.3. Levofloxacin | 5 |
| 1.4. Método físico de tratamiento de agua | 5 |
| 1.5. Carbón | 5 |
| 1.5.1. Antecedentes históricos | 5 |
| 1.5.2. Conceptos de carbón activado | 6 |
| 1.5.3. Usos del carbón activado | 6 |
| 1.6. Adsorción | 6 |
| 1.7. Equilibrio de adsorción | 7 |
| 1.8. Isoterma de adsorción | 7 |
| 1.8.1. Isoterma de Freundlich | 7 |
| 1.8.2. Isoterma de Langmuir | 8 |
| 1.9. Modelado de curva de ruptura | 9 |
| 1.9.1. Modelo de Thomas | 9 |
| 1.9.2. Modelo de Yoon-Nelson | 10 |
| 1.10. Técnica voltamperometría para cuantificación de fármacos | 10 |
| 1.10.1. Voltamperometría de onda cuadrada | 11 |
| CAPITULO 2: METODOLOGÍA | 12 |

| | |
|--|----|
| 2.1. Reactivos, materiales y equipos | 12 |
| 2.1.1. <i>Reactivos</i> | 12 |
| 2.1.2. <i>Materiales</i> | 12 |
| 2.1.3. <i>Equipos</i> | 13 |
| 2.2. Ubicación de la investigación | 13 |
| 2.3. Desarrollo experimental | 13 |
| 2.3.1. <i>Adsorbato</i> | 13 |
| 2.3.2. <i>Adsorbente</i> | 14 |
| 2.3.3. <i>Adsorción por lotes</i> | 14 |
| 2.3.4. <i>Adsorción en columna de lecho fijo</i> | 15 |
| 2.4. Estudio de adsorción por lotes | 16 |
| 2.4.1. <i>Estudio tiempo de contacto y concentración inicial</i> | 16 |
| 2.4.2. <i>Estudio de la disolución pH de la Levofloxacin</i> | 16 |
| 2.4.3. <i>Estudio de la dosis de carbón activado granular</i> | 16 |
| 2.4.4. <i>Isoterma de adsorción</i> | 17 |
| 2.5. Estudio de adsorción en columna de lecho fijo | 17 |
| 2.5.1. <i>Estudio del caudal volumétrico</i> | 17 |
| 2.5.2. <i>Estudio de la altura de relleno</i> | 17 |
| 2.5.3. <i>Estudio de la concentración inicial</i> | 17 |
| CAPÍTULO 3: RESULTADOS | 18 |
| 3.1. Estudio por lote | 18 |
| 3.1.1. <i>Estudio tiempo de contacto y concentración inicial</i> | 18 |
| 3.1.2. <i>Estudio de la disolución pH de la Levofloxacin</i> | 19 |
| 3.1.3. <i>Estudio de la dosis de carbón activado granular</i> | 20 |
| 3.1.4. <i>Estudio de equilibrio (isotermas)</i> | 21 |
| 3.2. Estudio en columna de lecho fijo | 23 |
| 3.2.1. <i>Estudio del caudal volumétrico</i> | 23 |
| 3.2.2. <i>Estudio de la altura de relleno</i> | 24 |
| 3.2.3. <i>Estudio de la concentración inicial</i> | 25 |
| 3.3. Modelo de curva de ruptura | 26 |
| CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES | 28 |
| CAPÍTULO 5: RECOMENDACIONES | 29 |
| BIBLIOGRAFÍA | 30 |
| ANEXOS | 38 |

ÍNDICE DE GRAFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1. Efecto del tiempo de contacto y concentración inicial | 18 |
| Gráfico 2. Efecto de la disolución pH de la Levofloxacin..... | 19 |
| Gráfico 3. Efecto de la dosis de carbón activado granular | 20 |
| Gráfico 4. Isotherma de Levofloxacin de Freundlich | 21 |
| Gráfico 5. Isotherma de Levofloxacin de Langmuir | 22 |
| Gráfico 6. Efecto del caudal volumétrico | 23 |
| Gráfico 7. Efecto de la altura de relleno | 24 |
| Gráfico 8. Efecto de la concentración inicial | 25 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Preparación de diluciones de Levofloxacin..... | 13 |
| Tabla 2. Característica del carbón activado granular..... | 14 |
| Tabla 3. Resultados de la Isotherma de adsorción..... | 22 |
| Tabla 4. Comparación de capacidad máxima de adsorción en diferentes adsorbentes con la Levofloxacin. | 23 |
| Tabla 5. Condiciones y Parámetros del modelo de la curva de ruptura..... | 26 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo 1. Preparación de las muestras para de Levofloxacinas a diferentes disoluciones para los estudios de adsorción por lotes y columna de lecho fijo..... | 38 |
| Anexo 2. Montaje de la columna de lecho fijo rellena de carbón activado..... | 39 |
| Anexo 3. El equipo que se utilizó para los análisis fue un Potenciostato/Galvanostato/FRA (SQUIDSTATTM PLUS) equipado con el software Squidstat User Interface v2.09.28.2018 Beta | 40 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1. Muestras madre de Levofloxacin | 38 |
| Ilustración 2. Toma de una alícuota a la muestra madre | 38 |
| Ilustración 3. Disoluciones de Levofloxacin | 38 |
| Ilustración 4. Tubo de vidrio | 39 |
| Ilustración 5. Controlador del flujo volumétrico microgotero | 39 |
| Ilustración 6. Base de columna | 39 |
| Ilustración 7. Columna de lecho fijo. | 40 |
| Ilustración 8. Equipo de análisis electroanalítico. | 40 |

INTRODUCCIÓN

En la última década, la población a nivel mundial se ha incrementado rápidamente y también el aumento de la contaminación en el medio ambiente¹. En esta década se han encontrado cada vez más productos químicos orgánicos que se lo denominan “Contaminantes Emergentes”². Son productos químicos sintetizados o productos creados por la mano del hombre³.

Actualmente, se encuentran engrandecimientos de fármacos, pesticidas, hormonas y productos para cuidado personal en el agua y aguas residuales. Estos compuestos se los conoce como contaminantes emergentes y reciben mucha la atención por el efecto del impacto al medio ambiental y para la salud humana⁴. La eficiencia de remoción o eliminación de estos contaminantes en plantas de tratamientos son incompletas. Pero de todos estos contaminantes los fármacos son los que más se resisten.

De todos estos productos químicos sintetizados, los que posiblemente causan mayor problema a la salud humana son los productos farmacéuticos, debido que hay información sobre su posible efecto a largo plazo en los organismos humano, y estos son los antibióticos.

Los fármacos son muy utilizados en los seres humano y animales para tratar enfermedades graves a la salud, como son los antibióticos fluoroquinolas⁵. La utilización de estos antibióticos anual es de 44 millones a nivel mundial por su uso para tratamientos de infecciones bacterianas⁶. Estos fluoroquinola no se metabolizan en su totalidad en el cuerpo humano, por lo tanto, son expulsados por el sistema urinario y terminan descargándose en las aguas residuales municipales en su forma farmacológicamente activas y pueden afectar a largo plazo en la salud humana⁷.

Con el incrementó de la población y las grandes industrias se generan cada vez más aguas residuales. Las grandes cantidades de aguas residuales son las causantes de la contaminación al medio ambiente ya que son las que transportan los contaminantes. Para evitar estos problemas de contaminación al medio ambiente se construyen cada vez más plantas de tratamientos de aguas residuales en todo el mundo⁸. A pesar de ello, los procesos en las plantas de tratamientos de aguas residuales no logran eliminar totalmente todos los contaminantes, y grandes cantidades de contaminantes emergentes son introducidas a los mares, ríos y suelos por las descargas de estos efluentes⁹.

Recientes estudios en el Ecuador se han informado que existen contaminantes emergentes en los ríos de San Pedro y Pita del cantón Rumiñahui¹⁰ y del Cantón de Esmeraldas, donde se han encontrado distintos grupos de Antibióticos¹¹, esto generan un problema a la vida acuática y a la salud humana en el país. En Ecuador no existen plantas de tratamientos de aguas residuales que traten los contaminantes emergentes. Ciertos estudios indican que las aguas residuales que se generan en el país solo el 8% se tratan¹².

Es de suma importancia eliminar o remover estos contaminantes farmacéuticos y esencialmente los antibióticos. Se han estudiado varias técnicas para conocer la mejor eliminación o remoción de estos contaminantes. De todas estas técnicas la más eficiente para la remoción son los procesos de adsorción y las ventajas de estos procesos es que son fáciles de operar y los materiales a utilizar son de bajo costo¹³. Los adsorbentes para el proceso de adsorción se utiliza el carbón activado granular puesto que no generan subproductos y son amigables con el medio ambiente¹⁴. Estos procesos se los clasifican por lotes y columna de lecho fijo. En donde el proceso por lotes se da en un sistema cerrado y el de columna en un sistema abierto¹⁵.

La presente investigación, se estudia el porcentaje de remoción de Levofloxacina en disoluciones acuosas aplicando carbón activado granular en procesos de adsorción en base a diversas condiciones operativas utilizando sistema por lotes y columna. Para una posible alternativa de tratamiento de aguas residuales en Ecuador. Se aplicarán modelos de adsorción como las isotermas de Langmuir, Freundlich; y modelos Thomas y Yoon-Nelson.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERAL

Determinar la capacidad de adsorción de Levofloxacin en una disolución acuosa mediante la aplicación de carbón activado granular .

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el pH óptimo de adsorción de Levofloxacin para los procesos de adsorción.
- Realizar un estudio de adsorción en disoluciones acuosas de Levofloxacin con carbón activado granular por lotes.
- Determinar el estudio de equilibrio con carbón activado granular por lotes.
- Establecer las condiciones de operación optimas en la columna de lecho fijo rellano de carbón activado para una alta eficiencia de remoción de Levofloxacin.
- Realizar un estudio de máxima capacidad de adsorción en una columna de lecho fijo rellena de carbón activado granular.

CAPÍTULO 1: MARCO REFERENCIAL

1.1. Contaminantes emergentes

Los contaminantes emergentes se encuentran presente en el agua durante décadas, son productos sintéticos y se consideran químicos bioactivos y cada vez más se encuentra en el medio ambiente, y últimamente se han analizados estos contaminantes y se reconoce como potencialmente peligrosos para el ecosistema¹⁶. Un “contaminante emergente” se lo caracteriza por ser extremadamente peligrosa para la salud humana y/o medio ambiente.

Estos contaminantes emergentes no se encuentran regulados, por lo que es necesario estudiarlos para conocer más sobre los daños que pueden causar en los organismos humanos y al medio ambiente¹⁷. Ejemplos de compuestos con el mayor problema para la salud humana son productos farmacéuticos y de cuidado personal, al igual que hormonas esteroides, pesticidas, surfactantes y químicos industriales¹⁸.

Estos contaminantes se originan de fuentes directas e indirectas, que se dan en el ingreso del ciclo del agua, en el cual alguna parte de este ciclo, en el que confluyen diversas esferas ambientales y actividades humanas, es donde se altera la calidad del agua¹⁹. De acuerdo con el ciclo de agua, los contaminantes emergentes ingresan al medio ambiente por las aguas residuales, en la que se incorporan las urbanas, industriales y también de origen agrícola.

1.2. Productos farmacéuticos en el agua

A causa de la desinformación de la acumulación y modificación que experimenta los fármacos en el agua, suelo, animales y tejidos vegetales, no eran consideradas como contaminantes ambientales. Solo desde el inicio de los años 90 comenzaron a determinar entre partes por millón(ppm) y partes por billón(ppb). Los fármacos son incorporados al ambiente por diferentes causas, de las cuales son; los procesos fisiológicos, la automedicación, el consumo ilícito de drogas, la frecuencia de la administración, etc. A pesar de eso, es de escasa información las consecuencias a corto y largo plazo que provocan estos fármacos al medio ambiente²⁰.

1.3. Levofloxacin

La Levofloxacin (LEV) es un medicamento muy utilizado en el mundo, se deriva de la ofloxacin, es un antibiótico fluoroquinolona que actúan contra las infecciones bacterianas especialmente contra *streptococos*. Este antibiótico es utilizado en los tratamientos para combatir las infecciones que afectan en el tracto respiratorio y urinario²¹, se denomina en la IUPAC (-) - (S) -9-fluoro-2, 3- dihidro-3-metil-10- (4-metil-1-piperzínil) -7-oxo-7H pirido [1,2 , hemihidrato de ácido 3-de] -1,4-benzoxazina-6-carboxílico “5” y fórmula molecular $C_{18}H_{20}FN_3O_4 \cdot \frac{1}{2} H_2O$.

Este antibiótico al aplicarse al cuerpo humana se metaboliza poco del 65-80% de este medicamento es expulsado al ambiente a través del sistema urinario es su forma original²².

1.4. Método físico de tratamiento de agua

Las plantas de tratamientos de aguas residuales y aguas potable se han creado para la eliminación o la reducción del nivel de contaminación de las aguas, de modo que se puede verter o bien puede ser apta para el consumo humano, de acuerdo con los límites permisibles de la legislación.

Existen otros métodos para tratar las aguas residuales, pero el método físico es la alternativa más eficaz para la remoción de los contaminantes emergentes, por efecto es intrigante el estudio de los tratamientos físicos para la purificación de aguas naturales y residuales, puesto que es económico y conlleva a un mínimo impacto medioambiental. Los procesos que se encuentra en estos tratamientos son: adsorción con carbón activado o resinas²³.

Recientes estudios demuestra que el carbón activado es efectivo en procesos de adsorción para la eliminación de algunos contaminantes emergentes, consiguiendo obtener una remoción del 90%²⁴.

1.5. Carbón

1.5.1. Antecedentes históricos

El carbón se lo conoce desde la antigüedad desde el año 1550 a.C. se utilizaba en las prácticas medicinales, del mismo modo en el año 400 a.C. Hipócrates sugería filtrar el agua usando carbón vegetal para suprimir malos sabores y olores y también para evitar enfermedades. En el año 450 a.C. ya se empleaba el carbón activado para tratar el agua²⁵.

1.5.2. Conceptos de carbón activado

El carbón activado se encuentra de origen vegetal o mineral, se lo conoce así por su forma de materia carbonizada. Se designa “activado” en vista que la materia carbonizada ofrece un alto y diverso nivel de porosidad. En su estructura se encuentra valiosos compuestos tales como oxígeno y nitrógeno²⁶, estas características mencionadas son la base que hace que el carbón pueda retener sustancias líquidas o gaseosas.

Es un adsorbente muy versátil por el tamaño y la organización de sus poros, esto es lo que hace purificar sustancias en fases líquidas y gaseosas²⁷.

1.5.3. Usos del carbón activado

El carbón activado es utilizado en diferentes aplicaciones y se lo puede encontrar en distinta granulometría, en la actualidad es usado frecuentemente en tratamiento de agua, se puede encontrar carbón activado granular en tamaños de partículas de 0,5 y 1,5 mm. La utilización más frecuente del carbón activado es para la decoloración del agua. La decoloración del agua es utilizada usualmente para desinfección en procesos de potabilización. En procesos industriales se usan frecuentemente para adsorber materias orgánicas e inorgánicas²⁸.

Actualmente, en las plantas de tratamiento de aguas residuales se usan filtros con carbón activado granular, esto es para la eliminación de materias orgánicas disueltas y refractarias²⁹. El objetivo del proceso es la reutilización de esta agua.

1.6. Adsorción

La adsorción se fundamenta en la transferencia de masa entre la etapa líquida y la etapa sólida que es el adsorbente. En la Adsorción se comprenden tres fases muy importantes: primero la introducción del contaminante a partir de la solución a granel hasta el área del adsorbente; segundo el contaminante es adsorbido en la superficie del adsorbente; y tercero la introducción en la estructura del adsorbente³⁰.

Estos adsorbentes disponen un área superficial más alta y una mejor eficiencia de adsorción. Lo bueno es que la reacción puede acelerarse en el proceso repetido y los adsorbentes se reorganizarán y formarán. Los adsorbentes pueden variar desde desechos orgánicos, materiales industriales u orgánicos³⁰. Los adsorbentes que más se utilizan en estos procesos de adsorción son el carbón activado (AC), nanotubos de carbono (CNT) y aserrín.

1.7. Equilibrio de adsorción

En el equilibrio de adsorción se determinan en solutos que son repartido entre sí por una fase líquida y una sólida. El modo que se representa esta distribución es la capacidad de equilibrio³¹, se define con la siguiente ecuación:

Ecuación (1)

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{W} V$$

Donde:

q_e = la capacidad de equilibrio (mg/g).

C_o = Concentración inicial de adsorbato en fase líquido (mg/L).

C_e = Concentración de adsorbato en fase líquida (mg/L).

V = Volumen de disolución (L).

W =la masa de adsorbente (g)³².

1.8. Isoterma de adsorción

Los modelos matemáticos de isoterma de adsorción se usan considerablemente en fin de facilitar información acerca de la cantidad de ion adsorbido por ciertos adsorbente y sobre interrelación a través de los adsorbentes y el adsorbato. Los modelos más utilizados por poseer una precisión de ajustamiento son los modelos Freundlich y Langmuir³³.

1.8.1. *Isoterma de Freundlich*

La isoterma de Freundlich se la aplica en todos los procesos de adsorción donde se considera superficies heterogéneas. Este modelo matemático establece la heterogeneidad de la superficie y el reparto exponencial de los sitios activos del adsorbente y sus energías³⁴.

Este modelo se identifica por ser una ecuación empírica, que no se restringe a una capacidad de adsorción limitada como la isoterma Langmuir. De manera que, es adaptable

para media y bajas concentraciones de solutos³⁵. Facilita evaluar al adsorbato en relación con la magnitud de adsorción que tiene acerca de la superficie del adsorbente³⁶.

En la siguiente ecuación 1, representa el modelo matemático de Freundlich:

Ecuación (2)

$$q_e = K_F \cdot C_e^{\frac{1}{n}}$$

Dónde:

q_e= cantidad de sustancia adsorbido en (mg/L).

C_e=concentraciones iniciales y de equilibrio respectivamente en (mg/L)

K_F=constante de Freundlich.

n=la intensidad de sorción³⁷.

1.8.2. *Isoterma de Langmuir*

Isoterma de Langmuir es un modelo matemático muy utilizado en procesos de adsorción mono molecular, es un modelo de adsorción homogénea³⁸, de igual forma se establece como modelo teórico sumamente útil para representar los números finitos de una adsorción en monocapa esto según³⁹.

La ecuación 2, representa la fórmula de la isoterma de Langmuir:

Ecuación (3)

$$q_e = \frac{q_{\max} b C_e}{1 + b C_e}$$

Dónde:

q_e= Cantidad de adsorbato en el adsorbente en equilibrio(mg/g).

q_{max}=Capacidad máxima de cobertura monocapa (mg/g).

C_e= Concentración de equilibrio (mg/L).

b=Constante de isoterma de Langmuir (L/mg)³⁷.

1.9. Modelado de curva de ruptura

La eficiencia de una columna de relleno con carbón activado granular está determinada por la condición de una curva de ruptura, que es una característica que le permite determinar el tiempo de ruptura y establecer la respuesta dinámica de la columna; el rendimiento de las moléculas del adsorbato contenido en los sitios activos del adsorbente; se demuestra a través de la relación de concentración de efluente a influente, C / C_0 , versus tiempo de contacto, generando así la curva correspondiente⁴⁰.

Para analizar el rendimiento de la columna, se utilizaron los modelos de Thomas y Yoon-Nelson.

1.9.1. Modelo de Thomas

El modelo de Thomas es el más utilizado para el estudio del comportamiento del proceso de adsorción en columnas de lecho fijo. Este modelo nos ayuda a conocer la capacidad máxima de adsorción de un adsorbente y conseguir el rendimiento teórico de la columna⁴¹.

El modelo se expresa de la siguiente ecuación:

Ecuación (4)

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + e^{(K_1 \left(\frac{q_0 \cdot M}{Q} - C_0 \cdot t \right))}}$$

Dónde:

C= Concentración de salida (mg/L).

C₀=Concentración de entrada (mg/L).

K₁=Constante de velocidad de Thomas(mL/min*mg).

q_{max}=Cantidad máxima de adsorción(mg/g).

M=Masa del adsorbente (g).

Q=Caudal (mL/min)⁴².

1.9.2. Modelo de Yoon-Nelson

El modelo de Yoon-Nelson es un modelo muy simple que se utiliza para el estudio del comportamiento de columnas de lecho fijo. Este modelo sugiere que la velocidad con la que reduce la probabilidad del proceso de adsorción de cada molécula del adsorbato se relaciona favorablemente con la probabilidad de adsorción del adsorbato y la probabilidad de que no se adsorba sobre el adsorbente⁴³. El modelo de Yoon-Nelson es tan simple que no requiere datos del adsorbato ni del adsorbente.

La ecuación se expresa de la siguiente manera:

Ecuación (5)

$$\frac{C}{C_0} = \frac{e^{(K_Y \cdot t - K_Y \cdot \tau)}}{1 + e^{(K_Y \cdot t - K_Y \cdot \tau)}}$$

Dónde:

C= Concentración de salida (mg/L).

C₀=Concentración de entrada (mg/L).

K_Y= Es la constante de velocidad de Yoon-Nelson (min⁻¹).

τ= Es el tiempo requerido para un avance de 50% del adsorbato (min)¹⁵.

1.10. Técnica voltamperometría para cuantificación de fármacos

Es una técnica muy utilizada para conseguir información de un determinado analito fármaco, esta técnica utiliza un electrodo de trabajo donde se basa corriente-voltaje, estos fármacos se adhieren rápidamente al electrodo de trabajo así consiguiendo un análisis más rápido.

1.10.1. Voltamperometría de onda cuadrada

La voltamperometría onda cuadrada (SWV) es un método simple de voltamperometría conforme por actuales instrumentos de análisis eléctricos controlados por computadora. En los últimos diez años, el uso de SWV ha aumentado dramáticamente, en primer lugar, debido al uso generalizado de herramientas, en segundo lugar, debido al desarrollo de la teoría y, finalmente, lo más importante, debido a su alta sensibilidad a las reacciones de los electrodos, la adsorción de superficie limitada de SWV es el mejor método electroanalítico para moléculas orgánicas electroactivas adsorbidas en la superficie del electrodo^{44,45}.

SWV se desarrolló combinando ondas cuadradas de alta amplitud y alta frecuencia con formas de onda trapezoidales rápidas y utilizando herramientas controladas por computadora en lugar de hardware analógico. La SWV demuestra la posible forma de onda temporal de un SWS moderno. Cada ciclo de la onda cuadrada ocurre en el ciclo del relé τ . Por lo tanto, la frecuencia de la señal de excitación es $f = \tau^{-1}$ y la duración del pulso es $t_p = \tau/2$. La longitud de onda cuadrada, E_{SW} , es la mitad de la amplitud pico a pico, y el aumento en el potencial ΔE representa la altura del escalón. La velocidad de escaneo se define como $\Delta E/\tau$. En cuanto a la dirección de exploración, el pulso ΔE se puede cambiar hacia frente y atrás. La corriente se cuantifica al finalizar de cada pulso y la diferencia entre las corrientes medidas en dos pulsos consecutivos se registra como la respuesta total.

CAPITULO 2: METODOLOGÍA

2.1. Reactivos, materiales y equipos

2.1.1. *Reactivos*

- Agua destilada
- Agua desionizada
- HCl 0.1 mol/L y NaOH 0.1mol/L
- Levofloxacin 500 mg/100 ml (inyectable)
- Acetato de sodio Trihidrato ($C_2H_3NaO_2 \cdot 3H_2O$)
- Ácido acético (CH_3COOH) 99,99%
- Solución buffer de acetato 0.1 mol L⁻¹
- MicroPolish Powder
- Cloruro de potasio saturado (KCl) 3 mol L⁻¹

2.1.2. *Materiales*

- Guantes desechables
- Mascarilla desechable
- Bata de laboratorio
- Papel filtro liso
- Embudo de vidrio
- Soporte para embudos
- Balón volumétrico de 100ml y 1000ml
- Vaso precipitado de 50ml, 100ml y 250 ml
- Frascos con tapa para muestra 30ml y 100ml
- Jeringa de 5ml y 30ml
- Piseta
- Varilla de agitación
- Micro pipetas de 10ul, 100ul y 1000ul
- Pipeta de 5 ml y 10 ml
- Celda electroquímica de tres electrodos
- Electrodo de teflón dopado con punta de plata (diámetro=0.5 mm)
- Electrodo de Ag/AgCl (3 mol L⁻¹ KCl)
- Alambre de platino

2.1.3. Equipos

- Plancha de agitación
- Balanza analítica RADWAG
- Potenciostato/Galvanostato/FRA (SQUIDSTAT™ PLUS) equipado con el software Squidstat User Interface v2.09.28.2018 Beta
- pHmetro(Boeco)
- Hornilla

2.2. Ubicación de la investigación

La presente investigación se la realizo en la Universidad técnica de Machala en las instalaciones de la facultad de Ciencias química y de la salud, en el laboratorio de Electroanalítica y Bioenergía.

2.3. Desarrollo experimental

2.3.1. Adsorbato

2.3.1.1. Preparación de la solución madre de Levofloxacin

Se prepararon diferentes disoluciones de Levofloxacin a partir de una concentración inicial de 5000 ppm. Con la ayuda de una pipeta graduada se tomaron alícuotas de 1,3, y 5 ml de Levofloxacin y se llevaron a cada alícuota a un balón aforado de 100 ml, a continuación, se homogenizo las soluciones. Los pH de las disoluciones se ajustaron con 0.1 mol/L HCl o NaOH.

Tabla 1. Preparación de diluciones de Levofloxacin

| Diluciones de Levofloxacin | |
|-----------------------------------|--|
| Alícuotas | Concentraciones de Levofloxacin |
| 1 ml | 50 ppm |
| 3 ml | 150 ppm |
| 5 ml | 250 ppm |

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2. Adsorbente

2.3.2.1. Carbón activado

El ECOC12X40 es un carbón activado granular que se utiliza para las plantas potabilizadoras y plantas de tratamientos de aguas residuales. El ECOC está certificado como carbono verde por la NSF (La organización Para la salud y seguridad Pública). Se elaboró a base de coco.

2.3.2.2. Característica del carbón activado

Tabla 2. Característica del carbón activado granular

| | |
|---|------------|
| Tipo | Granular |
| Grado | ECOC 12X40 |
| Tamaño de partícula (malla de EE. UU.) | 12x40 |
| Área de superficie(m²/g) | > 1150 |
| Densidad aparente (g/cc) | 0.50 |
| Contenido de humedad (%) | <6% |
| Contenido de cenizas (%) | <5% |

Fuente: Elaboración propia.

2.3.3. Adsorción por lotes

Para conocer la remoción de Levofloxacina de disoluciones acuosas se determinó en condiciones de procedimiento discontinuo. Se prepararon disoluciones de 100 ml en concentraciones de 50, 150 y 250 ppm y pH de 3, 5, 7,9 y 11 que se ajustaron con 0.1 mol/L HCl o NaOH. De igual forma se prepararon dosis de 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 y 0.3 g. Las mezclas se añadieron a matraz Erlenmeyer de 200 ml y se las ubicaron en una plancha agitadora a 200 rpm a diferentes tiempos de contacto de 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90,105 y 120min. Después de todos los procedimientos discontinuos las muestras se filtraron y se analizaron en el equipo Potenciostato/Galvanostato/FRA (SQUIDSTATTM PLUS) equipado con el software Squidstat User Interface v2.09.28.2018 Beta, utilizando el método voltamperometría de onda cuadrada con un electrodo de teflón dopado con punta de plata (diámetro=0.5 mm). Toda la prueba para encontrar el proceso óptimo se hizo por

triplicado. En la siguiente formula sirve para la obtención de la eficiencia de la remoción (%).

Ecuación (6)

$$\text{Eficiencia de remocion}(\%) = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100$$

Dónde:

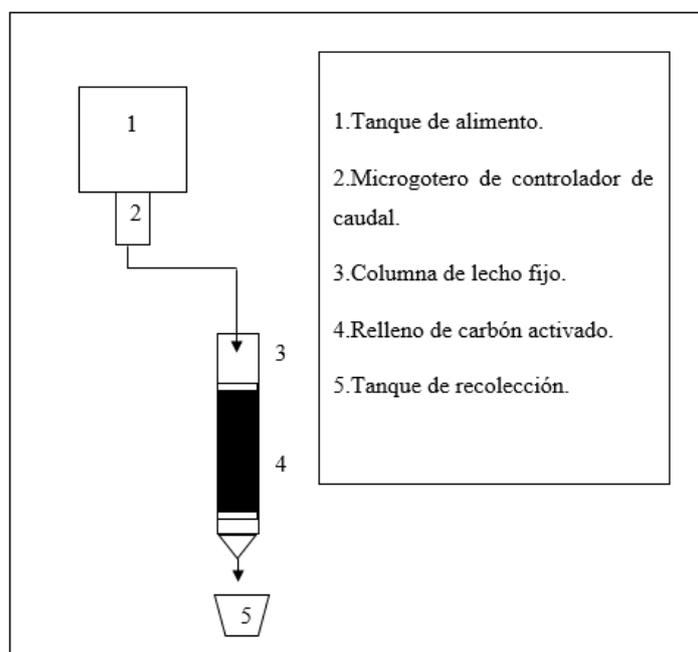
Co=Concentración inicial de Levofloxacin (mg/L).

Ce=Concentración del efluente (mg/L).

2.3.4. Adsorción en columna de lecho fijo

Para el experimento de relleno de carbón activado granular se realizó las curvas de ruptura en termino de relación de contracción de efluente a influyente, C/C_0 , versus tiempo de contacto en cual se realizó una serie de pruebas de procesos continuos. Se utilizó una columna de vidrio de 78cm de longitud y 0.9 cm de diámetro interno. Para compactar el relleno se utilizó una malla de acero en la parte superior e inferior de la columna para evitar el volumen muerto. Se agregó diferentes pesos de carbón activado granular dependiendo de la longitud de relleno que se utilizó, la disolución de Levofloxacin se colocó en un microgotero para el control del caudal deseado. Se recolectaron muestras del efluente cada 5 minutos hasta que ocurra la saturación en la columna, esto ocurre cuando la concentración permanece continua en el tiempo. Después de todos los procedimientos continuos las muestras se analizaron en el equipo Potenciostato/Galvanostato/FRA (SQUIDSTATTM PLUS) equipado con el software Squidstat User Interface v2.09.28.2018 Beta, utilizando el método voltamperometría de onda cuadrada con un electrodo de teflón dopado con punta de plata (diámetro=0.5 mm). Los parámetros operativos que se probaron en el experimento fueron la concentración de Levofloxacin en la entrada, adsorbente de masa (longitud del relleno) y el caudal. Todas las pruebas para encontrar el proceso óptimo se hicieron por duplicado.

Figura 1. Proceso de adsorción en columna de lecho fijo rellena de carbón activado granular



Fuente: Elaboración propia

2.4. Estudio de adsorción por lotes

2.4.1. Estudio tiempo de contacto y concentración inicial

Se prepararon disoluciones de Levofloxacina de 100 ml a concentraciones de 50,150, y 250 ppm. Se utilizó 0.15g de carbón activado granular y un pH 7. Las mezclas se llevaron a matraz Erlenmeyer de 200 ml y se agitaron a 200 rpm. Se recogieron muestras cada 15 minutos hasta cumplir 120 min en el proceso. Cada muestra se filtró y se analizó.

2.4.2. Estudio de la disolución pH de la Levofloxacina

Se prepararon muestras de Levofloxacina a diferentes pH de 3, 5, 7,9 y 11, a una concentración inicial de 150 ppm y una dosis de 0.15 g, se agitaron a 200 rpm en un tiempo determinado de 90 min. Se filtraron y se analizó las muestras.

2.4.3. Estudio de la dosis de carbón activado granular

Se prepararon diferentes muestras de Levofloxacina de 100 ml a una concentración inicial de 150 ppm, a un pH de 9 y un tiempo de contacto de 90 min. Se agitaron a 200 rpm todas las muestras con diferentes dosis de carbón activado granular de 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 y 0.3 g. Se filtraron las diferentes muestras y se analizaron.

2.4.4. *Isoterma de adsorción*

Para el estudio de isoterma de adsorción se determinó por el proceso de adsorción discontinuo, se utilizaron matraz Erlenmeyer de 200 ml. Se pesaron 0.15g de carbón activado granular y se prepararon diferentes disoluciones de Levofloxacin a concentraciones iniciales de 50, 100, 150,200 y 250 ppm y un pH de 9. Las mezclas se añadieron a matraz Erlenmeyer de 200 ml y se agitaron a 200 rpm a 24 horas. Después del procedimiento se filtraron y se determinó la adsorción en equilibrio. Se aplicaron los modelos de Langmuir y Freundlich, para el ajuste de isoterma de adsorción de Levofloxacin en carbón activado granular. Los parámetros aplicados en el procedimiento fueron los mejores para la máxima eficacia de eliminación y el experimento se hizo por triplicado.

2.5. Estudio de adsorción en columna de lecho fijo

2.5.1. *Estudio del caudal volumétrico*

Para el efecto de caudal volumétrico se utilizó diferentes caudales d 0.5,1.0 y 1.5 ml/min, a una concentración de Levofloxacin de 150 ppm y una longitud de relleno de 15 cm. Se recolectaron muestras del efluente en intervalos de tiempo de 5 minutos hasta que ocurra la saturación en la columna.

2.5.2. *Estudio de la altura de relleno*

Para el efecto de la longitud de relleno se prepararon diferentes alturas de 5, 10 y 15 cm a una condición constante de concentración de entrada de 150 ppm y un caudal volumétrico de 1.5 ml/min. Se tomaron muestras del efluente en intervalos de tiempo de 5 minutos hasta que ocurra la saturación en la columna.

2.5.3. *Estudio de la concentración inicial*

Para el efecto de concentración de Levofloxacin se prepararon diferentes disoluciones de 50, 150,250 ppm a una altura de relleno de 15cm y un caudal de entrada de 1.5ml/min. Se recolectaron muestras del efluente en intervalos de tiempo de 5 minutos hasta que ocurra la saturación en la columna.

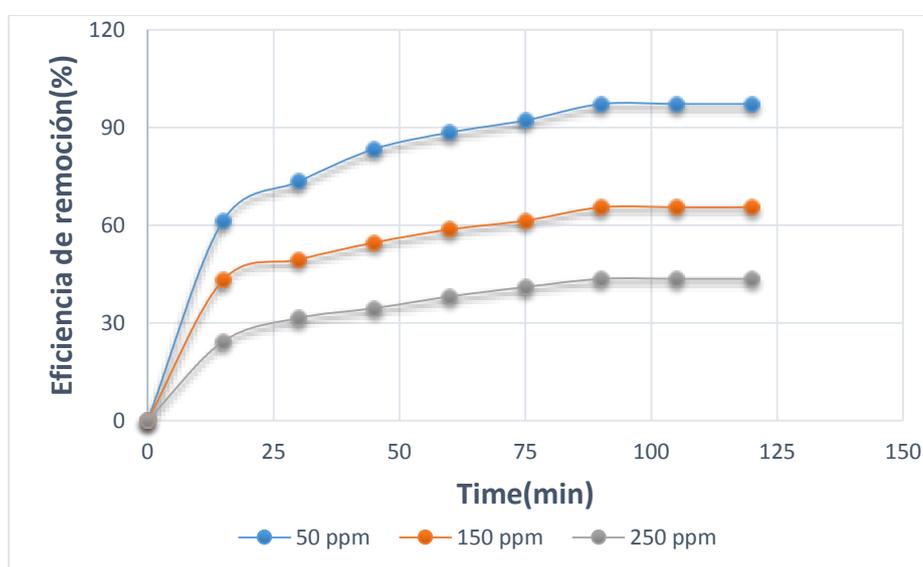
CAPÍTULO 3: RESULTADOS

3.1. Estudio por lote

3.1.1. Estudio tiempo de contacto y concentración inicial

En el gráfico 1, se puede observar el estudio del tiempo de contacto (0-120min) en relación con la eficiencia de remoción del carbón activado granular con la Levofloxacin a distintas concentraciones iniciales.

Gráfico 1. Efecto del tiempo de contacto y concentración inicial



Fuente: Elaboración propia

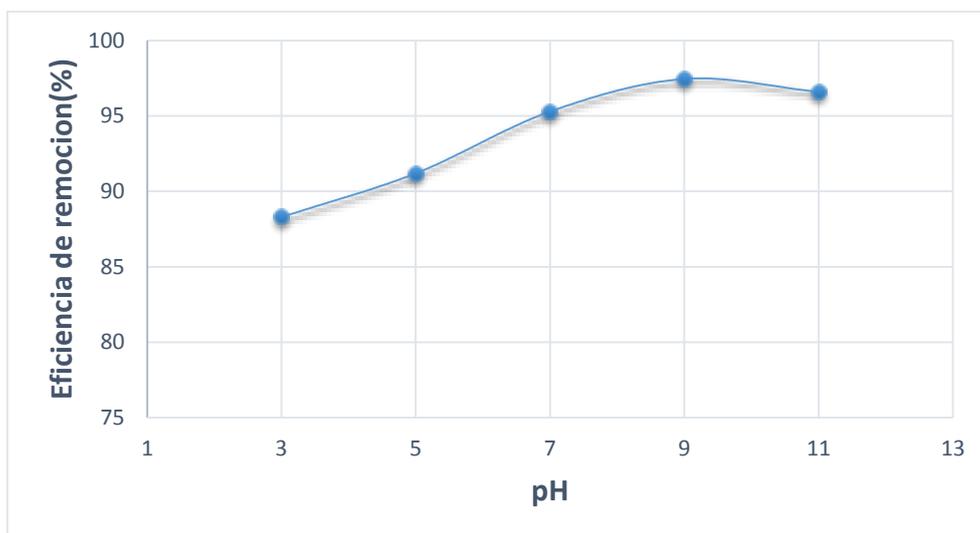
Se observa que la eficiencia de remoción de Levofloxacin se incrementa justamente con el tiempo de contacto, aproximadamente en el minuto 90 se logra el equilibrio con un valor máximo de 97.22% para la disolución de Levofloxacin de 50 ppm de concentración inicial, a un pH 7 y a una dosis de 0.15 g de carbón activado granular. En los primeros 45 minutos se observa un aumento rápido de la eficiencia de remoción de la Levofloxacin, esto debido que existe una alta fuerza motriz que apresura la transferencia de iones antibióticos a las partículas del adsorbente, ya que existen centros de sitios activos vacíos y áreas de superficies descubiertas en los inicios del procedimiento de adsorción⁴⁶. También se puede observar que al incrementar la concentración inicial de

Levofloxacin de 50 a 250 ppm la eficiencia de remoción se disminuye de 97.22% a 43.5%. Esto se puede justificar que concentraciones iniciales más bajas, las moléculas del adsorbato van interactuar mejor en los centros de sitios activos del adsorbente y esto logra una remoción más rápida en la disolución⁴⁷.

3.1.2. Estudio de la disolución pH de la Levofloxacin

En el gráfico 2, se observa la efectividad de la remoción de carbón activado granular basada en el pH de la disolución (3-11) se examina a una concentración inicial de Levofloxacin 150 ppm, una dosis de carbón activado granular de 0.15g y un tiempo de contacto de 90 minutos

Gráfico 2. Efecto de la disolución pH de la Levofloxacin



Fuente: Elaboración propia

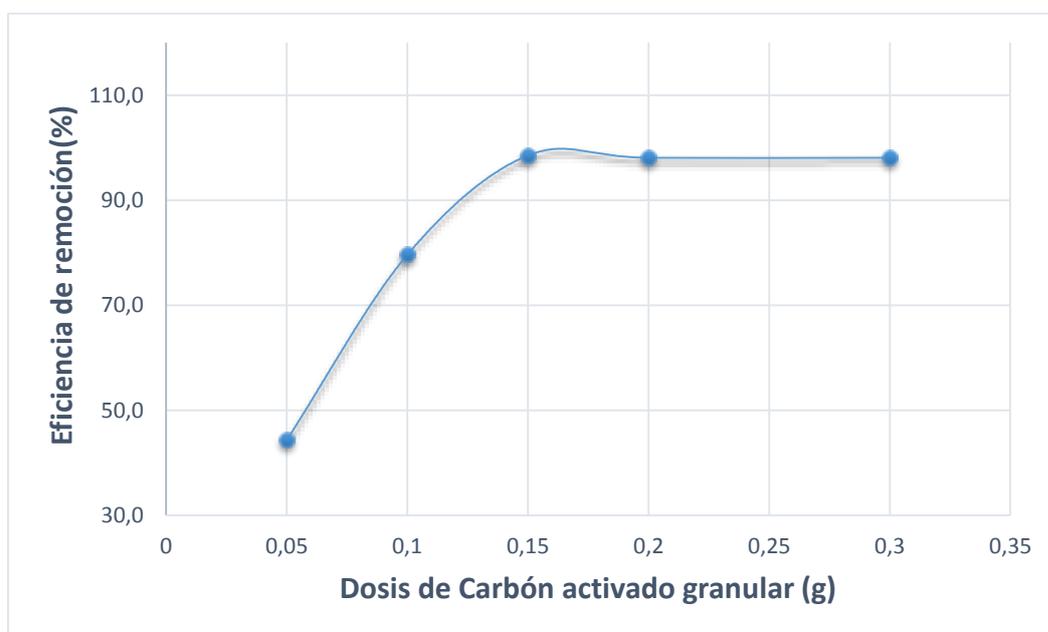
Al elevar un pH de 3 a 9 se observa claramente que existe un incremento de la eficiencia de remoción de la Levofloxacin de 88.30 a 97.46% y a partir de pH 9 hay una disminución. Este aumento puede ser el resultado de un grupo de protonación funcional relativamente reducido en superficies adsorbentes y una competencia reducida de iones H^+ con moléculas de Levofloxacin en solución acuosa en comparación con los sitios activos, como lo describen⁴⁸, para la adsorción de Levofloxacin en cáscara de arroz y madera. Cuando el pH de la solución excede de 9, el adsorbente cargado positivamente se vuelve negativo y la repulsión electrostática predomina entre el adsorbente y el

adsorbato, de modo que la adsorción comienza a disminuir. También se ha informado una disminución en la eficiencia de remoción a un pH más alto durante la absorción de un antibiótico de fluoroquinolona, como la Ciprofloxacina en carbón activado⁴⁹. Es claramente que se dispone de otras especies orgánicas que son similares a la dependencia de pH de Levofloxacina como la Ciprofloxacina en disoluciones acuosas⁵⁰.

3.1.3. Estudio de la dosis de carbón activado granular

En el gráfico 3, se observa el comportamiento de la eficiencia de remoción de Levofloxacina a diferentes dosis de carbón activado granular de (0.05 a 0.3) con una concentración inicial de 150 ppm, a un pH de 9 y un tiempo de contacto de 90 min.

Gráfico 3. Efecto de la dosis de carbón activado granular



Fuente: Elaboración propia

La eficiencia de remoción de Levofloxacina se observa en el aumento de dosis de carbón activado granular de (0.05 a 0.15g) donde la mayor adsorción se da en la dosis de 0.15 g, a un porcentaje de 98,5%, seguidamente la adsorción permanece constante a las demás dosis. El aumento que se da de adsorción a diferentes dosis, es porque existen área de superficie mayor y volumen de poro de adsorbente disponible a dosis más altas que ayudan interactuar mejor con el adsorbato y esto favorece una mejor eficiencia de

remoción de Levofloxacin⁵¹. Se observa estos mismo análisis de dosis por⁵², quienes reportan un porcentaje de adsorción del 96%, a un adsorbente de 0,15g de carbón activado para la eliminación de nor-floxacin.

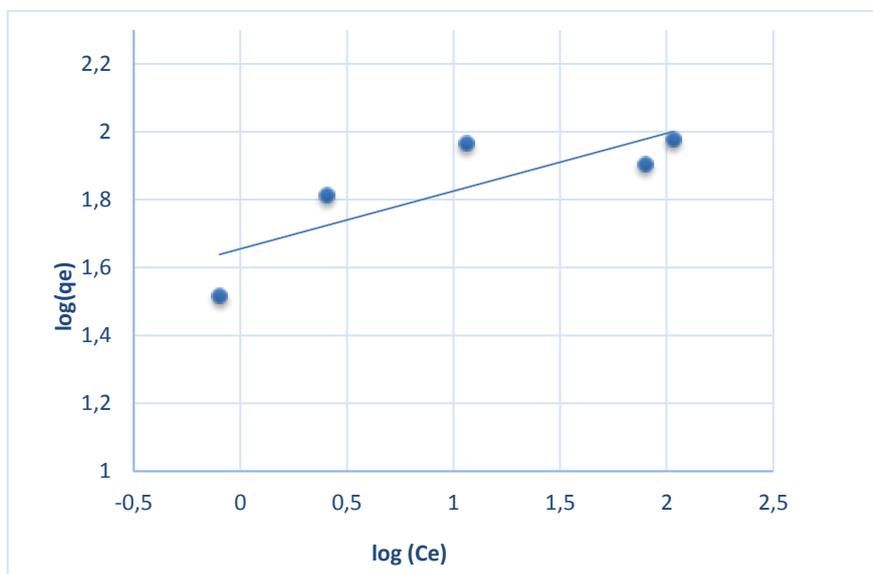
3.1.4. Estudio de equilibrio (isotermas)

El estudio de isotermas de adsorción nos sirve para conocer el comportamiento entre un líquido y un sólido, la finalidad de esta investigación experimental es conocer el equilibrio que hay entre el adsorbato y el adsorbente.

3.1.4.1. Isotherma de Levofloxacin

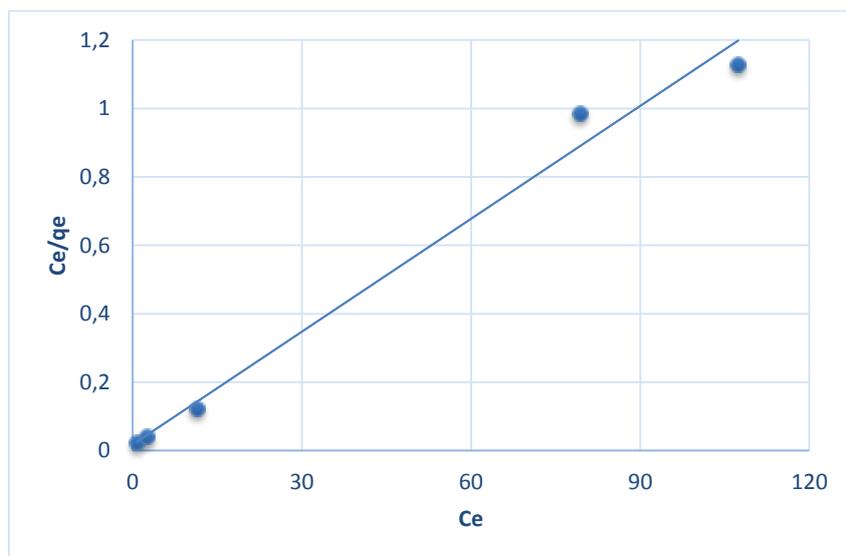
Luego de la investigación experimental se obtuvieron los resultados de la capacidad de adsorción de la Levofloxacin máximas, los parámetros de funcionamiento fueron constantes a sus mejores valores. Se utilizaron las ecuaciones de isoterma de adsorción de Langmuir y freundlich para aplicar los datos de isoterma experimentales, donde se evaluó el carbón activado granular como se observa en el gráfico 4.

Gráfico 4. Isotherma de Levofloxacin de Freundlich



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5. Isoterma de Levofloxacina de Langmuir



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3, se muestra los resultados de las isotermas de adsorción para los modelos matemáticos de Freundlich y Langmuir.

Tabla 3. Resultados de la Isoterma de adsorción

| Modelo de Langmuir | Modelo de Freundlich |
|---|-----------------------------|
| $q_{\max}(\text{mg/g}) = 90.9090 \pm 1.089$ | $n = 5.8685 \pm 0.2434$ |
| $b = 0.632185 \pm 0.003340$ | $K_f = 45.19 \pm 7.53$ |
| $R^2 = 0.9898$ | $R^2 = 0.6843$ |

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la tabla 3, que el coeficiente de correlación (R^2), se obtuvo que el mejor ajuste del modelo matemático de isoterma fue para el modelo de Langmuir con $R^2 = 0.9898$. Esto nos indica que el proceso de adsorción responde a un comportamiento de una monocapa, dicho de otra manera, los sitios activos están en una distribución homogénea en la superficie del carbón activado granular donde la Levofloxacina fue adsorbida. También se informó el mejor análisis de los datos de Levofloxacina de isoterma de Langmuir en comparación con otras ecuaciones de dos parámetros para

biochar y arcilla^{48,50}. La capacidad máxima de Adsorción de Levofloxacin en carbón activado granular según el modelo de Langmuir es de 90.9090 mg/g. Este valor se comparó con diferentes adsorbentes se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Comparación de capacidad máxima de adsorción en diferentes adsorbentes con la Levofloxacin.

| Adsorbentes | q_{max} | Adsorbatos |
|--|------------|--------------|
| Carbón activado granular(Base de coco) | 90.90 mg/g | Levofloxacin |
| Biochar de Cáscara de arroz ⁴⁸ | 7.72 mg/g | Levofloxacin |
| Biochar de astillas de madera ⁴⁸ | 4.99 mg/g | Levofloxacin |
| Montmorillonita(Arcilla mineral) ⁵⁰ | 56.66 mg/g | Levofloxacin |

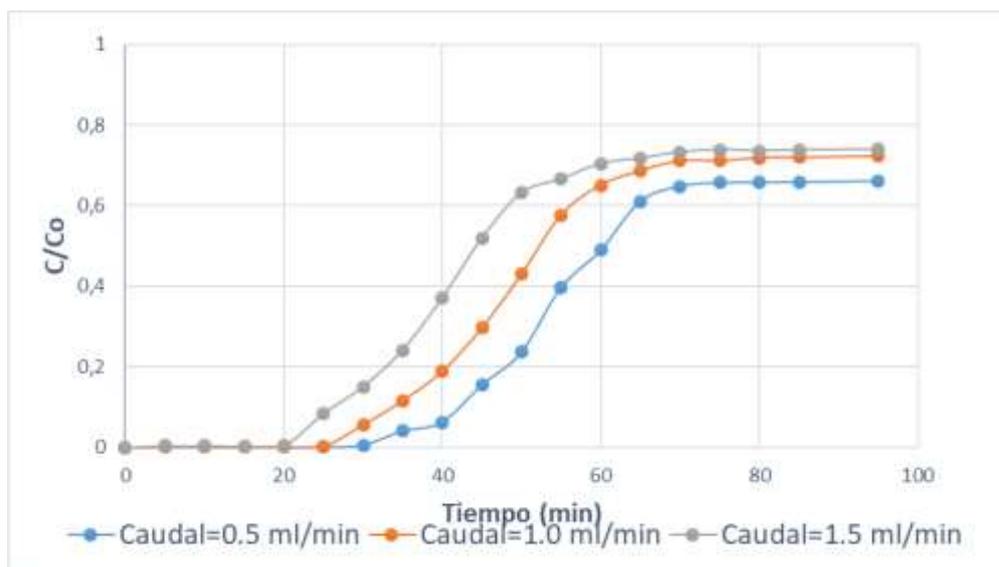
Fuentes: Elaboración propia y tomado de^{48,50}

3.2. Estudio en columna de lecho fijo

3.2.1. Estudio del caudal volumétrico

El efecto del caudal volumétrico se investigó el comportamiento de las curvas de rupturas para diferentes caudales volumétricos.

Gráfico 6. Efecto del caudal volumétrico



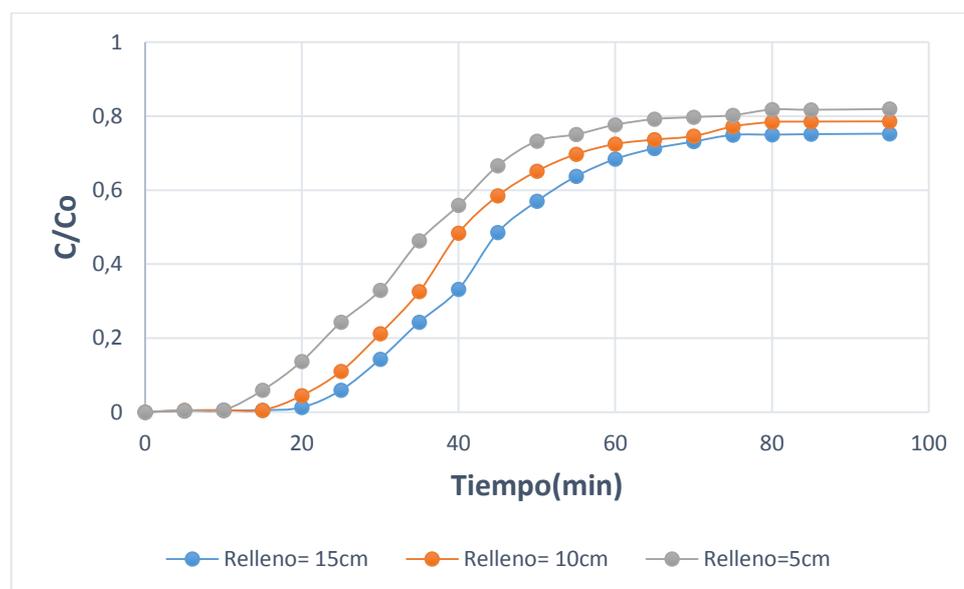
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que los caudales de 0.5 y 1.5 ml/min, el tiempo de ruptura de la Levofloxacin a $C/C_0=0.04$ se producen a partir del minuto 35 y 23, correspondientemente. En consecuencia, esto puede deberse al corto tiempo de contacto entre el adsorbato y el adsorbente, que reduce tanto el tiempo de ruptura como el tiempo de saturación⁵³. Adicionalmente, a un mayor caudal, la curva de ruptura, se mueve al origen y alcanza el punto de saturación más rápido. En la gráfica también se observa que en el minuto 35 los valores de C/C_0 son 0.04 y 0.24 a caudales de 0.5 y 15 ml/min respectivamente. Cuando la velocidad de flujo disminuye, el adsorbente tendrá tiempo suficiente para extenderse en los poros y crear una mejor capacidad de adsorción. Además, a mayor velocidad de flujo disminuye el espesor de las moléculas líquida en torno a las moléculas de absorción, lo que resulta una menor resistencia a la transferencia de masa y altas velocidades de transferencia de masa⁵⁴. En otra investigación estos mismos análisis se reportaron para la adsorción de Cefalexina utilizando carbón activo de cáscaras de nuez⁵⁵.

3.2.2. Estudio de la altura de relleno

El efecto de la altura de relleno se investigó a diferentes longitudes de relleno a 5,10 y 15 cm. Para el estudio del comportamiento de las curvas de rupturas.

Gráfico 7. Efecto de la altura de relleno



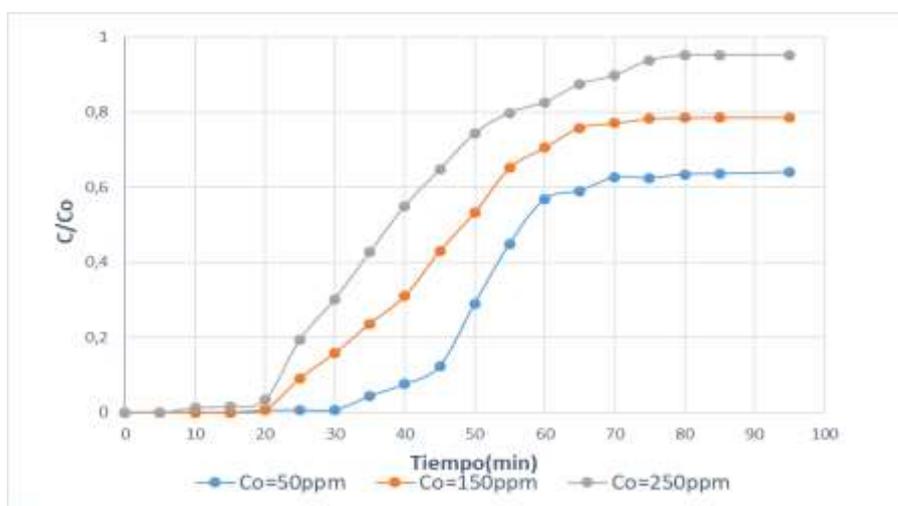
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que, al incrementar la longitud de relleno, el tiempo aumenta más para el punto de ruptura y las curvas de ruptura se alejan más del origen. Adicionalmente, para los rellenos a longitudes cortas, la relación entre la concentración final e inicial aumenta más rápido que en un relleno largo. Se puede fijar que las concentraciones de avances $C/C_0=0.04$ para Levofloxacina a alturas de relleno de 5 y 15 cm, se alcanza en los minutos 13 y 23, correspondientemente. Por otra parte, los valores de C/C_0 a los 35 minutos de tiempo de contacto son 0.46 y 0.24, correspondientemente, en el relleno más alto de 5 y 15cm. El incremento en la altura del relleno indica la utilización de más carbón activado granular que lleva una mejora en los sitios de adsorción y un incremento de tiempo para alcanzar la saturación total⁵⁶. Además, el adsorbato tiene tiempo suficiente para dispersarse por los poros del carbón activado granular y como resultado, incrementa la cantidad total adsorbida y la eficacia de eliminación de la Levofloxacina, al aumentar la altura del relleno. Aunque, la cantidad de moléculas de Levofloxacina a los sitios de adsorción existente es baja, en consecuencia, la capacidad de adsorción se reduce⁵⁷. Los mismos análisis del efecto de la altura del relleno se reportaron para la adsorción de Levofloxacina con relleno de óxido de grafeno⁵⁸.

3.2.3. Estudio de la concentración inicial

El efecto de la concentración inicial se investigó a diferentes concentraciones de Levofloxacina a 50,150 y 250 ppm, para conocer el comportamiento de las curvas de ruptura.

Gráfico 8. Efecto de la concentración inicial



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que las concentraciones iniciales de Levofloxacin más alta, las curvas de ruptura se acercan más al origen. Este comportamiento puede estar asociado con una mejora en la fuerza impulsora de la transferencia de masa a través de la membrana líquida en combinación con una aceleración de la velocidad de absorción, lo que conduce a una saturación temprana de la capa de relleno⁵⁹. Se observa que la concentración inicial de 250 ppm, es la más pronunciada. Estos datos nos indica a mayor concentración de entrada los sitios de adsorción se llenan más eficientemente, lo que lleva a una saturación de columna previa y una curva más pronunciada⁶⁰.

3.3. Modelo de curva de ruptura

Para el estudio del comportamiento de las curvas de rupturas se utilizaron los modelos de Thomas y Yoon-Nelson. Los datos de estos modelos se obtuvieron a partir del programa Statistica 10.

Tabla 5. Condiciones y Parámetros del modelo de la curva de ruptura

| Parámetros | | | | Thomas | | | Yoon-Nelson | | | |
|------------|-----|----|------------------|--------------------------------|-------|----------------|----------------|-------|-------|----------------|
| Co | Q | H | q _{max} | K _T 10 ⁴ | error | R ² | K _Y | τ | error | R ² |
| 150 | 0.5 | 15 | 2.360 | 4.16 | 0.079 | 0.957 | 0.0638 | 65.11 | 0.079 | 0.957 |
| 150 | 1.0 | 15 | 1.425 | 4.20 | 0.072 | 0.923 | 0.0642 | 57.61 | 0.072 | 0.923 |
| 150 | 1.5 | 15 | 1.102 | 4.22 | 0.100 | 0.919 | 0.0644 | 50.53 | 0.100 | 0.919 |
| 150 | 1.5 | 5 | 1.482 | 4.62 | 0.103 | 0.917 | 0.0705 | 39.12 | 0.103 | 0.917 |
| 150 | 1.5 | 10 | 1.270 | 4.23 | 0.120 | 0.916 | 0.0647 | 45.46 | 0.120 | 0.916 |
| 150 | 1.5 | 15 | 1.102 | 4.22 | 0.100 | 0.919 | 0.0644 | 50.53 | 0.100 | 0.919 |
| 50 | 1.5 | 15 | 0.632 | 8.40 | 0.114 | 0.901 | 0.0624 | 64.45 | 0.114 | 0.901 |
| 150 | 1.5 | 15 | 1.102 | 4.22 | 0.100 | 0.919 | 0.0644 | 50.53 | 0.100 | 0.919 |
| 250 | 1.5 | 15 | 1.282 | 4.00 | 0.022 | 0.961 | 0.0899 | 38.35 | 0.022 | 0.961 |

Fuente: Elaboración propia

Se muestra que la correlación de datos de Thomas y Yoon-Nelson se ajustan por igual con una R²= (0.901-961) se muestra un buen pronóstico de datos innovadores para el procedimiento de Levofloxacin con carbón activado granular para estos modelos cinéticos, a una concentración de entrada de 250 ppm, un caudal de 1,5 ml / min y una

altura de relleno de 15 cm. La baja capacidad de adsorción de Levofloxacin con el incremento del caudal y la altura del relleno, y su incremento con la concentración de entrada se pueden comprobar a partir de los valores de q_{\max} para el modelo matemático de Thomas. De igual forma, el bajo tiempo de avance con el caudal y la concentración de entrada, y su incremento con la altura consigue concluirse del valor de K_Y del modelo de Yoon-Nelson. Los mismos análisis de curvas se reportaron, utilizando los modelos matemáticos de Thomas y Yoon-Nelson, para contaminantes emergentes y adsorbentes carbonosos⁵⁵.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES

Para el estudio de pH se determinó que el pH óptimo para una buena capacidad de adsorción fue con un pH 9 de Levofloxacin.

En el resultado de estudio de adsorción con carbón activado granular se obtuvo un porcentaje de remoción de 98.5% con las mejores condiciones en un proceso discontinuo.

Para el estudio de equilibrio en carbón activado granular se ajustó el modelo de Langmuir donde su capacidad máxima de adsorción de 90.90mg/g y $r^2=0.9898$.

La utilización de carbón activado granular en una columna de lecho fijo es efectiva, alcanzando una eficiencia de remoción de 95.9%.

La máxima capacidad de adsorción en una columna de lecho fijo rellena de carbón activado granular fue de 2.360mg/g a una altura de 15 cm, un caudal 0.5ml/min y una concentración inicial de 150ppm.

CAPÍTULO 5: RECOMENDACIONES

Para el estudio de adsorción por columna de lecho fijo es recomendable controlar el flujo volumétrico con una bomba peristáltica para obtener resultados más precisos.

Realizar estudios con diferentes adsorbentes para comparar cuál de estos es más beneficiosos para la remoción de los productos farmacéuticos.

Realizar experimentos de adsorción con otros productos farmacéuticos para comparar que antibióticos tiene más afinidad con el adsorbente.

Realizar estudios sobre adsorción-desorción para hacer una evaluación de la reutilización del material que se utiliza en la investigación.

Realizar pruebas con aguas del mar para ver si hay interferencia con el proceso de adsorción.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Peña-Guzmán, C.; Ulloa-Sánchez, S.; Mora, K.; Helena-Bustos, R.; Lopez-Barrera, E.; Alvarez, J.; Rodriguez-Pinzón, M. Emerging Pollutants in the Urban Water Cycle in Latin America: A Review of the Current Literature. *J. Environ. Manage.* **2019**, *237* (February), 408–423. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.100>.
- (2) Bilal, M.; Iqbal, H. M. N. Persistence and Impact of Steroidal Estrogens on the Environment and Their Laccase-Assisted Removal. *Sci. Total Environ.* **2019**, *690*, 447–459. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.025>.
- (3) Teodosiu, C.; Gilca, A. F.; Barjoveanu, G.; Fiore, S. Emerging Pollutants Removal through Advanced Drinking Water Treatment: A Review on Processes and Environmental Performances Assessment. *J. Clean. Prod.* **2018**, *197*, 1210–1221. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.247>.
- (4) Tobajas, M.; Belver, C.; Rodriguez, J. J. Degradation of Emerging Pollutants in Water under Solar Irradiation Using Novel TiO₂-ZnO/Clay Nanoarchitectures. *Chem. Eng. J.* **2017**, *309*, 596–606. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.10.002>.
- (5) Ashfaq, M.; Khan, K. N.; Rasool, S.; Mustafa, G.; Saif-Ur-Rehman, M.; Nazar, M. F.; Sun, Q.; Yu, C. P. Occurrence and Ecological Risk Assessment of Fluoroquinolone Antibiotics in Hospital Waste of Lahore, Pakistan. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* **2016**, *42*, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.12.015>.
- (6) Kaur, A.; Kansal, S. K. Bi₂WO₆ Nanocuboids: An Efficient Visible Light Active Photocatalyst for the Degradation of Levofloxacin Drug in Aqueous Phase. *Chem. Eng. J.* **2016**, *302*, 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.05.010>.
- (7) Sturini, M.; Speltini, A.; Maraschi, F.; Profumo, A.; Tarantino, S.; Gualtieri, A. F.; Zema, M. Removal of Fluoroquinolone Contaminants from Environmental Waters on Sepiolite and Its Photo-Induced Regeneration. *Chemosphere* **2016**, *150*, 686–693. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.127>.
- (8) Zhou, Y.; Meng, J.; Zhang, M.; Chen, S.; He, B.; Zhao, H.; Li, Q.; Zhang, S.; Wang, T. Which Type of Pollutants Need to Be Controlled with Priority in Wastewater Treatment Plants: Traditional or Emerging Pollutants? *Environ. Int.*

- 2019**, *131* (April). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104982>.
- (9) Ahmed, M. B.; Zhou, J. L.; Ngo, H. H.; Guo, W.; Thomaidis, N. S.; Xu, J. Progress in the Biological and Chemical Treatment Technologies for Emerging Contaminant Removal from Wastewater: A Critical Review. *J. Hazard. Mater.* **2017**, *323*, 274–298. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.04.045>.
- (10) Ramirez-Cando, L. J.; Chicaiza Ramírez, S. E.; Ramos López, A. D.; Álvarez, C. I. Detección de Antibióticos Betalactámicos, Tetraciclinas y Sulfamidas Como Contaminantes Emergentes En Los Ríos San Pedro y Pita Del Cantón Rumiñahui. *La Granja* **2019**, *30* (2), 88–102. <https://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.08>.
- (11) Voloshenko-Rossin, A.; Gasser, G.; Cohen, K.; Gun, J.; Cumbal-Flores, L.; Parra-Morales, W.; Sarabia, F.; Ojeda, F.; Lev, O. Emerging Pollutants in the Esmeraldas Watershed in Ecuador: Discharge and Attenuation of Emerging Organic Pollutants along the San Pedro-Guayllabamba-Esmeraldas Rivers. *Environ. Sci. Process. Impacts* **2015**, *17* (1), 41–53. <https://doi.org/10.1039/c4em00394b>.
- (12) Benítez, M. B.; Champagne, P.; Ramos, A.; Torres, A. F.; Ochoa-Herrera, V. Wastewater Treatment for Nutrient Removal with Ecuadorian Native Microalgae. *Environ. Technol. (United Kingdom)* **2019**, *40* (22), 2977–2985. <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1459874>.
- (13) Puga, A.; Rosales, E.; Sanromán, M. A.; Pazos, M. Environmental Application of Monolithic Carbonaceous Aerogels for the Removal of Emerging Pollutants. *Chemosphere* **2020**, *248*, 125995. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125995>.
- (14) Katsigiannis, A.; Noutsopoulos, C.; Mantziaras, J.; Gioldasi, M. Removal of Emerging Pollutants through Granular Activated Carbon. *Chem. Eng. J.* **2015**, *280*, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.05.109>.
- (15) Ahmed, M. J.; Hameed, B. H. Removal of Emerging Pharmaceutical Contaminants by Adsorption in a Fixed-Bed Column: A Review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2018**, *149* (October 2017), 257–266. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.012>.
- (16) Ciencias Y Filosofía, F. DE; Cazorla Talleri, A.; Jesie Claudia Silva Arroyo, B.; Llanos Chang Lima-Perú, B. “Biosorción de Penicilina g Como Contaminante Emergente Con Adsorbentes Naturales y Químicamente Modificados,”

UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA, 2016.

- (17) Cruz Carrillo, M. de J. Evaluación y Tratamiento de Contaminantes Emergentes (Fármacos Ácidos) En Aguas Residuales Mediante Un Reactor SBRLF Acoplado a Fotocatálisis, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS INSTITUTO, 2019.
- (18) Reinoso, J. del C.; Serrano, C. Y.; Orellana, D. F. Contaminantes Emergentes y Su Impacto En La Salud. Emerging Contaminants and Its Impact on the Health. *Rev. la Fac. Ciencias Médicas la Univ. Cuenca* **2017**, 35 (2), 55–59.
- (19) Rodr, A. H.; Rodr, A.; Mart, G.; Dra, N. E. Z.; Lilia, M.; Pati, N.; Albeiro, H.; Nore, S. Investigación y Evaluación de Contaminantes Emergentes (Productos Farmacéuticos) Presentes En La Cuenca Del Río Apatlaco En El Estado de Morelos, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS INSTITUTO, 2018.
- (20) Cartagena, C. J. Emerging Organic Pollutants in Environment: Pharmaceutical Products. *Rev. Lasallista Investig.* **2011**, 8 (2), 143–153.
- (21) Saher, O.; Ghorab, D. M.; Mursi, N. M. Journal of Drug Delivery Science and Technology Levo Fl Oxacin Hemihydrate Ocular Semi-Sponges for Topical Treatment of Bacterial Conjunctivitis : Formulation and in-Vitro / in-Vivo Characterization. *J. Drug Deliv. Sci. Technol.* **2016**, 31, 22–34. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2015.11.004>.
- (22) Lu, G.; Lun, Z.; Liang, H.; Wang, H.; Li, Z.; Ma, W. In Situ Fabrication of BiVO₄-CeVO₄ Heterojunction for Excellent Visible Light Photocatalytic Degradation of Levofloxacin. *J. Alloys Compd.* **2018**. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.09.064>.
- (23) Teva García, F. Aplicación de Tecnologías de Filtración Mediante Membranas En La Depuración de Aguas Residuales Urbanas Para Su Reutilización, Universidad de extremadura, 2018.
- (24) Kovalova, L.; Siegrist, H.; Von Gunten, U.; Eugster, J.; Hagenbuch, M.; Wittmer, A.; Moser, R.; McArdell, C. S. Elimination of Micropollutants during Post-Treatment of Hospital Wastewater with Powdered Activated Carbon, Ozone, and UV. *Environ. Sci. Technol.* **2013**, 47 (14), 7899–7908.

<https://doi.org/10.1021/es400708w>.

- (25) De la Torre Ostos, J.; Echevarría Flores, D.; Álvarez Bautista, J.; Barreda Gutiérrez, N. Remoción de Cromo Total En Agua, Usando Carbón Mineral Activado Con Radiación de Microondas. *Ind. Data* **2017**, *20* (2), 43. <https://doi.org/10.15381/idata.v20i2.13947>.
- (26) Alberto, J.; Carmina, R.; Carmen, M.; Solís-fuentes, J. A.; Morales-téllez, M.; Ayala-tirado, R. C.; Durán-de-bazúa, M. C. Obtención de Carbón Activado a Partir de Residuos Agroindustriales y Su Evaluación En La Remoción de Color Del Jugo de Caña. *Tecnol. Ciencia, Educ.* **2012**, *27* (1), 36–48.
- (27) Bach. Henry Alejandro, C. M. “Remoción de Arsénico Mediante El Uso Del Biofiltro de Carbón Activado a Base de Cáscara de Manzana Para El Tratamiento de Aguas Subterráneas Empleadas Para El Consumo Humano de La Comunidad Campesina San Marcos de La Aguada, Mala, Lima 2019,” UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO, 2019.
- (28) Taípe Coronado, P. O. Facultad de Ingeniería Facultad de Ingeniería. *Ucv* **2014**, 0–116.
- (29) Burgos, A. J.; Suárez, L. J. Fichas Técnicas De Etapas De Proceso De Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales De La Industria Textil. **2014**, 25.
- (30) Azimi, A.; Azari, A.; Rezakazemi, M.; Ansarpour, M. Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewaters: A Review. *ChemBioEng Rev.* **2017**, *4* (1), 37–59. <https://doi.org/10.1002/cben.201600010>.
- (31) Castellar Ortega, G. C.; Vilorio C., C. A.; Morrison B., C. A.; Angulo M., E. R.; Zambrano A., A. M. Evaluation of Commercial Activated Carbon in the Removal of the Dye DB2. *Reca* **2017**, *9* (2), 164–170. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.n2.2017.512>.
- (32) Castillo, F. C.; Vasquez, Y.; Pablo, C. D. S.; Puro, Q. De Carbón Xantado Adsorption Capacity of Lead With. *Rev. U.D.C.A Actual. Divulg. Científica* **2017**, 425–433.
- (33) Anastopoulos, I.; Bhatnagar, A.; Lima, E. C. Adsorption of Rare Earth Metals: A Review of Recent Literature. *J. Mol. Liq.* **2016**, *221* (June), 954–962.

<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.06.076>.

- (34) Bergaoui, M.; Nakhli, A.; Benguerba, Y.; Khalfaoui, M.; Erto, A.; Soetaredjo, F. E.; Ismadji, S.; Ernst, B. Novel Insights into the Adsorption Mechanism of Methylene Blue onto Organo-Bentonite: Adsorption Isotherms Modeling and Molecular Simulation. *J. Mol. Liq.* **2018**, *272* (January), 697–707. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.10.001>.
- (35) Gutiérrez, C.; Hansen, H. K.; Hernández, P.; Pinilla, C. Biosorption of Cadmium with Brown Macroalgae. *Chemosphere* **2015**, *138*, 164–169. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.06.002>.
- (36) Condoy, P.; Fabian, D.; Loayza, B. T. Obtención de Celulosa a Partir de Raquis de Banano Aplicado a La Remoción de Plomo y Cadmio En Solución Acuosa., Universidad técnica de Machala, 2019.
- (37) de Farias, R. S.; Buarque, H. L. de B.; da Cruz, M. R.; Cardoso, L. M. F.; Gondim, T. de A.; de Paulo, V. R. Adsorption of Congo Red Dye from Aqueous Solution onto Amino-Functionalized Silica Gel. *Eng. Sanit. e Ambient.* **2018**, *23* (6), 1053–1060. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018172982>.
- (38) Shanker, M.; Chinniagounder, T. Adsorption of Reactive Dye Using Low Cost Adsorbent: Cocoa (Theobroma Cacao) Shell. *World J. Appl. Environ. Chem.* **2017**, *1* (1), 22–29.
- (39) Figueroa, D.; Moreno, A.; Angelina, A. Equilibrio, Termodinámica y Modelos Cinéticos En La Adsorción de Rojo 40 Sobre Tuza de Maíz. *Rev. Ing. Univ. Medellín* **2015**, *14* (26), 105–120. <https://doi.org/10.22395/rium.v14n26a7>.
- (40) Tejada-Tovar, C. N.; Villabona-Ortíz, A.; Alvarez-Bajaire, G.; Attin-Torres, L.; Granados-Conde, C. Influencia de La Altura Del Lecho Sobre El Comportamiento Dinámico de Columna de Lecho Fijo En La Biosorción de Mercurio. *TecnoLógicas* **2017**, *20* (40), 71–81. <https://doi.org/10.22430/22565337.706>.
- (41) Vera-Cabezas, L. M.; Bermejo-Campos, D.; Uguña-Rosas, M. F.; García-Alvear, N.; Flores-Zamora, M.; Brazales, D. Modeling in Fixed Bed Column for the Biosorption of Cd²⁺ Y Pb²⁺ by Cocoa Shell. *Rev. Int. Contam. Ambient.* **2018**, *34* (4), 611–620. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.04.05>.

- (42) Villabona, Á.; Tejada, C.; Tejada, L. Adsorción de Diésel En Solución Acuosa Sobre Aserrín Cedro (*Cedrela Odorata* L.) En Columna de Lecho Fijo. *Rev. Investig. Andin.* **2018**, *19* (35), 31–44. <https://doi.org/10.33132/01248146.946>.
- (43) Calero, M.; Blázquez, G.; Hernáinz, F.; Ronda, A.; Martín-Lara, M. A. Biosorción de Cobre Con Corteza de Pino En Columna de Lecho de Fijo: Optimización de Las Variables Del Proceso. *Afinidad* **2012**, *69* (559), 175–184.
- (44) Montiel León, J. M. Desarrollo de Un Método de Análisis Voltamperométrico Para La Cuantificación de Acetaminofén Empleando Electrodo Modificado Con Polipirrol, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO, 2013.
- (45) Alkaine, V. D.; Mahmud, Z.; Gordillo, G. Informe Técnico Voltimetría de Onda Cuadrada Para Estudiar La Electrodeposición de Cinc En Medio Ácido . Zona de Potenciales de Control Por Transferencia de Masa. *Bibl. Digit. Dr. Luis Federico Leloi* **2017**, No. May.
- (46) Sun, Y.; Yue, Q.; Gao, B.; Li, Q.; Huang, L.; Yao, F.; Xu, X. Preparation of Activated Carbon Derived from Cotton Linter Fibers by Fused NaOH Activation and Its Application for Oxytetracycline (OTC) Adsorption. *J. Colloid Interface Sci.* **2012**, *368* (1), 521–527. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.10.067>.
- (47) Pouretedal, H. R.; Sadegh, N. Effective Removal of Amoxicillin, Cephalexin, Tetracycline and Penicillin G from Aqueous Solutions Using Activated Carbon Nanoparticles Prepared from Vine Wood. *J. Water Process Eng.* **2014**, *1*, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2014.03.006>.
- (48) Yi, S.; Gao, B.; Sun, Y.; Wu, J.; Shi, X.; Wu, B.; Hu, X. Removal of Levofloxacin from Aqueous Solution Using Rice-Husk and Wood-Chip Biochars. *Chemosphere* **2016**, *150* (2015), 694–701. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.112>.
- (49) Ahmed, M. J.; Theydan, S. K. Fluoroquinolones Antibiotics Adsorption onto Microporous Activated Carbon from Lignocellulosic Biomass by Microwave Pyrolysis. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* **2014**, *45* (1), 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2013.05.014>.
- (50) Liu, Y.; Dong, C.; Wei, H.; Yuan, W.; Li, K. Adsorption of Levofloxacin onto an Iron-Pillared Montmorillonite (Clay Mineral): Kinetics, Equilibrium and Mechanism. *Appl. Clay Sci.* **2015**, *118*, 301–307.

<https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.10.010>.

- (51) Li, G.; Zhang, D.; Wang, M.; Huang, J.; Huang, L. Preparation of Activated Carbons from Iris Tectorum Employing Ferric Nitrate as Dopant for Removal of Tetracycline from Aqueous Solutions. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2013**, *98*, 273–282. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.08.015>.
- (52) Liu, H.; Ning, W.; Cheng, P.; Zhang, J.; Wang, Y.; Zhang, C. Evaluation of Animal Hairs-Based Activated Carbon for Sorption of Norfloxacin and Acetaminophen by Comparing with Cattail Fiber-Based Activated Carbon. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **2013**, *101*, 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.01.016>.
- (53) Han, R.; Wang, Y.; Zhao, X.; Wang, Y.; Xie, F.; Cheng, J.; Tang, M. Adsorption of Methylene Blue by Phoenix Tree Leaf Powder in a Fixed-Bed Column: Experiments and Prediction of Breakthrough Curves. *Desalination* **2009**, *245* (1–3), 284–297. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.07.013>.
- (54) Liao, P.; Zhan, Z.; Dai, J.; Wu, X.; Zhang, W.; Wang, K.; Yuan, S. Adsorption of Tetracycline and Chloramphenicol in Aqueous Solutions by Bamboo Charcoal: A Batch and Fixed-Bed Column Study. *Chem. Eng. J.* **2013**, *228*, 496–505. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.04.118>.
- (55) Nazari, G.; Abolghasemi, H.; Esmaili, M.; Sadeghi Pouya, E. Aqueous Phase Adsorption of Cephalexin by Walnut Shell-Based Activated Carbon: A Fixed-Bed Column Study. *Appl. Surf. Sci.* **2016**, *375*, 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.03.096>.
- (56) Baral, S. S.; Das, N.; Ramulu, T. S.; Sahoo, S. K.; Das, S. N.; Chaudhury, G. R. Removal of Cr(VI) by Thermally Activated Weed *Salvinia Cucullata* in a Fixed-Bed Column. *J. Hazard. Mater.* **2009**, *161* (2–3), 1427–1435. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.127>.
- (57) Chen, S.; Yue, Q.; Gao, B.; Li, Q.; Xu, X.; Fu, K. Adsorption of Hexavalent Chromium from Aqueous Solution by Modified Corn Stalk: A Fixed-Bed Column Study. *Bioresour. Technol.* **2012**, *113*, 114–120. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.110>.
- (58) Dong, S.; Sun, Y.; Wu, J.; Wu, B.; Creamer, A. E.; Gao, B. Graphene Oxide as Filter Media to Remove Levofloxacin and Lead from Aqueous Solution.

Chemosphere **2016**, *150*, 759–764.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.11.075>.

- (59) Gupta, S.; Babu, B. V. Modeling, Simulation, and Experimental Validation for Continuous Cr(VI) Removal from Aqueous Solutions Using Sawdust as an Adsorbent. *Bioresour. Technol.* **2009**, *100* (23), 5633–5640. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.025>.
- (60) Sotelo, J. L.; Ovejero, G.; Rodríguez, A.; Álvarez, S.; García, J. Analysis and Modeling of Fixed Bed Column Operations on Flumequine Removal onto Activated Carbon: PH Influence and Desorption Studies. *Chem. Eng. J.* **2013**, *228*, 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.04.088>.

ANEXOS

Anexo 1. Preparación de las muestras para de Levofloxacinas a diferentes disoluciones para los estudios de adsorción por lotes y columna de lecho fijo.

Ilustración 1. Muestras madre de Levofloxacina



Ilustración 2. Toma de una alícuota a la muestra madre



Ilustración 3. Disoluciones de Levofloxacinas



Anexo 2. Montaje de la columna de lecho fijo rellena de carbón activado

Ilustración 4. Tubo de vidrio



Ilustración 5. Controlador del flujo volumétrico microgotero



Ilustración 6. Base de columna



Ilustración 7. Columna de lecho fijo.



Anexo 3. El equipo que se utilizó para los análisis fue un Potenciostato/Galvanostato/FRA (SQUIDSTATTM PLUS) equipado con el software Squidstat User Interface v2.09.28.2018 Beta

Ilustración 8. Equipo de análisis electroanalítico.

