

**REMOCIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES  
PROVENIENTES DE POZOS DE PERFORACIÓN DE PETRÓLEO Y GAS A  
TRAVÉS DE COAGULANTES NATURALES A BASE DE ALMIDÓN DE YUCA Y  
*Opuntia ficus indica* EN EL MUNICIPIO DE SAHAGÚN, CÓRDOBA.**

**AUTOR:**

**ANDRÉS CAMILO MUNIBE SOLIS  
DANIELA TRUJILLO VELASQUEZ**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

**VALLEDUPAR – CESAR**

**2022**



**REMOCIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES  
PROVENIENTES DE POZOS DE PERFORACIÓN DE PETRÓLEO Y GAS A  
TRAVÉS DE COAGULANTES NATURALES A BASE DE ALMIDÓN DE YUCA Y  
*Opuntia ficus indica* EN EL MUNICIPIO DE SAHAGÚN, CÓRDOBA.**

**AUTOR:**

ANDRÉS CAMILO MUNIBE SOLIS  
DANIELA TRUJILLO VELASQUEZ

**DIRECTORA**

KARINA TORRES CERVERA  
INGENIERA AMBIENTAL Y SANITARIA

**CO-DIRECTOR**

ALCIDES TORREGROZA MOZO  
INGENIERO QUIMICO  
MAGISTER EN CIENCIAS AMBIENTALES

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR – CESAR**

**2022**

### **DEDICATORIA**

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres y abuelos, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Ha sido un orgullo y privilegio para nosotros tenerlos como guía en este camino.

A nuestras hermanas (os) por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Andrés Munibe Solís

Daniela Trujillo Velásquez



## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer a Dios en primera instancia, Su misericordia ha sido nuestro sustento en cada peldaño que hemos avanzado para llegar hasta aquí. Gracias al Señor todopoderoso por sus bendiciones y por ayudarnos en cada paso de este largo camino.

A nuestros padres, a los cuales nos sobran las palabras para agradecerles por tanto amor y tolerancia en estos años de preparación. Entregado cada momento de su vida, sacrificándose por nosotros para ayudarnos a llegar a la meta. Gracias a ellos por creer en nosotros y por apoyarnos incondicionalmente.

A nuestros familiares y amigos, porque cuando requerimos de su ayuda extendieron su mano para apoyarnos.

Al erudito en Perforaciones Hidráulica Miguel Argumendo por su apoyo.

Agradecer a los profesores que nos enseñaron academia, valores y ética profesional.

Agradecerle a nuestra directora de proyecto, Karina Torres, por su ayuda, su tiempo, su dedicación y sus consejos en cada fase del proyecto y a nuestro co-director Alcides Torregrosa por estar siempre presto en ayudarnos.

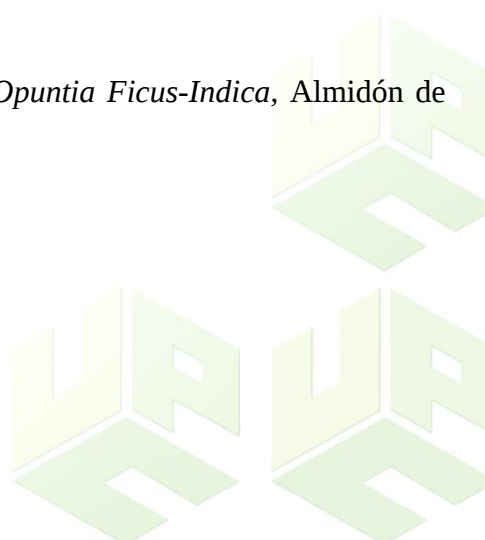


## RESUMEN

Se evaluó la eficiencia del *Opuntia ficus indica* y del almidón de la Yuca como coagulantes en el tratamiento de aguas asociadas a la producción de petróleo y Gas. Se realizaron pruebas a escala de laboratorio de coagulación, floculación y sedimentación con tiempos de 1 minuto (mezcla rápida), 20 minutos (mezcla lenta) y 30 minutos, respectivamente. Las muestras de Aguas Asociadas con la extracción de petróleo y gas, con valores de turbidez inicial de 14500 NTU, el pozo sobre el cual se tomó la muestra de agua tiene por nombre Clarinete-5 jurisdicción Sucre, el cual tiene como vereda principal Rodania y otros caseríos sobre la vía de influencia: Castañal, las piñuelas, Oviedolandia, Piñalito y Rincón. Se evaluarán diversas concentraciones, donde se tuvieron en cuenta parámetros tales como, demanda química de oxígeno (DQO), turbidez, pH y metales pesados (Mercurio, Hierro y Plomo) antes y después del tratamiento con el coagulante. El *opuntia ficus indica* fue eficiente para la remoción del Hierro, turbiedad, DBO y DQO generando resultados superiores al 87%.

Mientras que el almidón de Yuca fue un poco menos eficiente generando un porcentaje de remoción mayor al 65% con respecto a los parámetros estudiados.

**Palabras claves:** Coagulación, floculación, remoción, *Opuntia Ficus-Indica*, Almidón de Yuca.



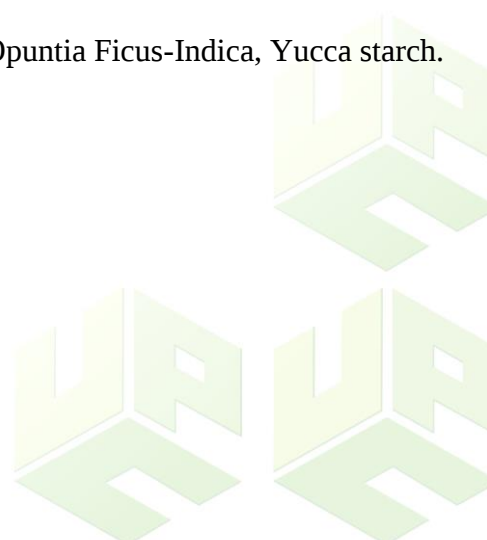


## **ABSTRACT**

The efficiency of *Opuntia ficus indica* and Yucca starch as coagulants in the treatment of water associated with oil and gas production was evaluated. Coagulation, flocculation and sedimentation tests were carried out on a laboratory scale with times of 1 minute (fast mix), 20 minutes (slow mix) and 30 minutes, respectively. The samples of Waters Associated with the extraction of oil and gas, with initial turbidity values of 14,500 NTU, the well from which the water sample was taken is called Clarinete-5 Sucre jurisdiction, which has Rodania as its main district and Other hamlets on the road of influence: Castañal, Las Piñuelas, Oviedolandia, Piñalito and Rincón. Various concentrations were evaluated, taking into account parameters such as chemical oxygen demand (COD), turbidity, pH and heavy metals (Mercury, Iron and Lead) before and after treatment with the coagulant. The *Opuntia ficus indica* was efficient for the removal of Iron, turbidity, BOD and COD, generating results higher than 87%.

While the Cassava starch was a little less efficient, generating a removal percentage greater than 65% with respect to the parameters studied.

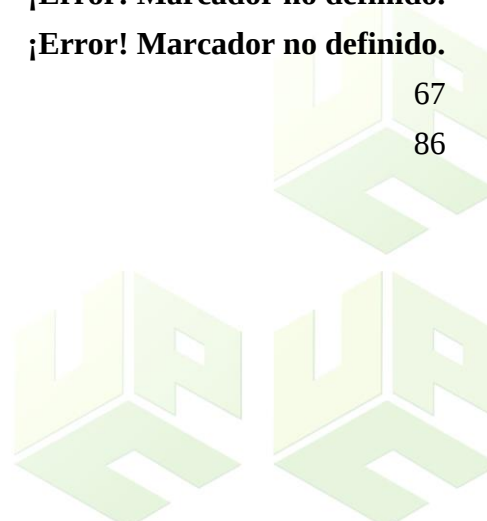
**Keywords:** coagulation, flocculation, removal, *Opuntia Ficus-Indica*, Yucca starch.



## **TABLA DE CONTENIDO**

|          |                                                  |    |
|----------|--------------------------------------------------|----|
| 2.       | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA                       | 10 |
| 3.       | JUSTIFICACIÓN                                    | 13 |
| 4.       | OBJETIVOS                                        | 15 |
| 4.2.     | OBJETIVO GENERAL                                 | 15 |
| 4.3.     | OBJETIVOS ESPECÍFICOS                            | 15 |
| 5.       | MARCO REFERENCIAL                                | 16 |
| 5.1      | ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN                 | 16 |
| 5.2.     | MARCO TEÓRICO                                    | 20 |
| 5.2.1.   | Agua Residual                                    | 21 |
| 5.2.1.1. | Características del agua residual:               | 21 |
| 5.2.1.2. | Características químicas del agua residual:      | 21 |
| 5.2.1.3. | Características físicas del agua residual:       | 23 |
| 5.2.1.4. | Características biológicas del agua residual:    | 23 |
| 5.2.1.5. | Clasificación de las aguas residuales:           | 25 |
| 5.2.1.6. | Tratamientos de aguas residuales:                | 26 |
| 5.2.1.7. | Métodos a implementar:                           | 29 |
| 5.2.2.   | Metales pesados                                  | 31 |
| 5.2.2.1. | Características generales de los metales pesados | 32 |
| 5.2.2.2. | Uso de los metales pesados                       | 33 |
| 5.2.2.3. | Clasificación de los metales pesados             | 34 |
| 5.2.2.4. | Consecuencias de los metales pesados en el agua  | 35 |
| 5.2.3.   | Almidón de yuca                                  | 36 |
| 5.2.3.1. | Características del almidón de yuca              | 37 |
| 5.2.3.2. | Usos del almidón de yuca                         | 37 |
| 5.2.3.3. | Tratamiento de agua mediante el almidón de yuca  | 38 |
| 5.2.3.4. | Requerimientos nutricionales                     | 38 |
| 5.2.4.   | Opuntia ficus indica                             | 38 |
| 5.2.4.1. | Características del Opuntia ficus indica         | 39 |
| 5.2.4.2. | Uso del Opuntia ficus indica                     | 39 |

|          |                                                   |                               |
|----------|---------------------------------------------------|-------------------------------|
| 5.2.4.3. | Tratamiento de agua mediante Opuntia ficus indica | 40                            |
| 5.2.5.   | Coagulación                                       | 40                            |
| 5.2.5.1. | Métodos de preparación de la solución coagulante  | 40                            |
| 5.2.5.2. | Mecanismos de la coagulación                      | 41                            |
| 5.2.5.3. | Factores que influyen en la coagulación           | 43                            |
| 5.2.5.4. | Etapas o Fases de la Coagulación                  | 46                            |
| 5.2.5.5. | Tipos de coagulación                              | 46                            |
| 5.3.     | MARCO CONCEPTUAL                                  | 47                            |
| 5.4.     | MARCO CONTEXTUAL                                  | 49                            |
| 5.5.     | MARCO LEGAL                                       | 51                            |
| 5.6.     | MARCO INSTITUCIONAL                               | 55                            |
| 6.       | MARCO METODOLÓGICO                                | 57                            |
| 6.2.     | LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN                 | 57                            |
| 6.3.     | TIPO DE INVESTIGACIÓN                             | 57                            |
| 6.4.     | POBLACIÓN DE ESTUDIO                              | 57                            |
| 6.5.     | MUESTRA POBLACIONAL                               | 57                            |
| 6.6.     | DISEÑO EXPERIMENTAL                               | 58                            |
| 5.6      | DESARROLLO METODOLÓGICO                           |                               |
| 5.6.1    | Etapas 1:                                         | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.6.2    | Etapas 2:                                         | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.6.3    | Etapas 3:                                         | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.       | RESULTADOS Y ANÁLISIS                             | 67                            |
| 9.       | BIBLIOGRAFÍA                                      | 86                            |



## ÍNDICE DE IMÁGENES

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Imagen 1</b> - Localización Geográfica de Colombia Fuente: Tomada a partir de Google Earth, 2020                 | 43 |
| <b>Imagen 2</b> - Localización Geográfica del departamento de Córdoba Fuente: Tomada a partir de Google Earth, 2020 | 44 |
| <b>Imagen 3</b> - Localización Geográfica de Sahagún Córdoba Fuente: Tomada a partir de Google Earth, 2020          | 44 |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> Normatividad colombiana relacionados con el recurso agua-----                                                                                                       | 45 |
| <b>Tabla 2</b> Normatividad colombiana concerniente a metales pesados -----                                                                                                        | 47 |
| <b>Tabla 3</b> Normatividad colombiana dirigida a vertimientos-----                                                                                                                | 59 |
| <b>Tabla 4</b> Normatividad colombiana dirigida a vertimientos -----                                                                                                               | 46 |
| <b>Tabla 5</b> Parámetros y métodos analíticos a identificar -----                                                                                                                 | 58 |
| <b>Tabla 6</b> Niveles permisibles y valores a monitorear en los vertimientos de aguas de aguas residuales residuales a cuerpos de aguas superficiales de actividades mineras----- | 59 |
| <b>Tabla 7</b> Resultados caracterización de aguas residuales de pozos de perforación petróleo y gas-----                                                                          | 64 |
| <b>Tabla 8</b> Caracterización del coagulante <i>opuntia ficus indica</i> -----                                                                                                    | 65 |
| <b>Tabla 9</b> Caracterización del coagulante <i>almidón de yuca</i> -----                                                                                                         | 66 |
| <b>Tabla 10</b> Valores de pH antes y después de la primera evaluación para cada concentración de coagulante natural-----                                                          | 68 |
| <b>Tabla 11</b> Valores de pH antes y después de la segunda evaluación para cada concentración de coagulante natural-----                                                          | 67 |
| <b>Tabla 12</b> Valores de pH antes y después en la tercera evaluación donde se halló dosis óptima para <i>opuntia ficus indica</i> -----                                          | 68 |
| <b>Tabla 13</b> Resultados de turbiedad con el coagulante natural <i>opuntia ficus indica</i> -----                                                                                | 72 |
| <b>Tabla 14</b> Resultados de turbiedad con el coagulante natural <i>opuntia ficus indica</i> -----                                                                                | 75 |
| <b>Tabla 15</b> Resultados de turbiedad con el coagulante natural <i>opuntia ficus indica</i> -----                                                                                | 72 |
| <b>Tabla 16</b> Resultados de turbiedad con el coagulante natural <i>Almidón de yuca</i> -----                                                                                     | 73 |
| <b>Tabla 17</b> Resultados de turbiedad con el coagulante natural <i>opuntia ficus indica</i> -----                                                                                | 72 |
| <b>Tabla 18</b> Resultados de turbiedad con el coagulante natural <i>Almidón de yuca</i> -----                                                                                     | 73 |
| <b>Tabla 19</b> Cuadro comparativo agua contaminada agua tratada con coagulante natural <i>Opuntia ficus indica</i> -----                                                          | 75 |
| <b>Tabla 20</b> Cuadro comparativo agua contaminada agua tratada con coagulante natural <i>Almidón de yuca</i> -----                                                               | 76 |



**Universidad  
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



## **1. TÍTULO DEL PROYECTO**

REMOCIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES  
PROVENIENTES DE POZOS DE PERFORACIÓN DE PETRÓLEO Y GAS A TRAVÉS  
DE COAGULANTES NATURALES A BASE DE ALMIDÓN DE YUCA Y *Opuntia ficus  
indica* EN EL MUNICIPIO DE SAHAGÚN, CÓRDOBA.

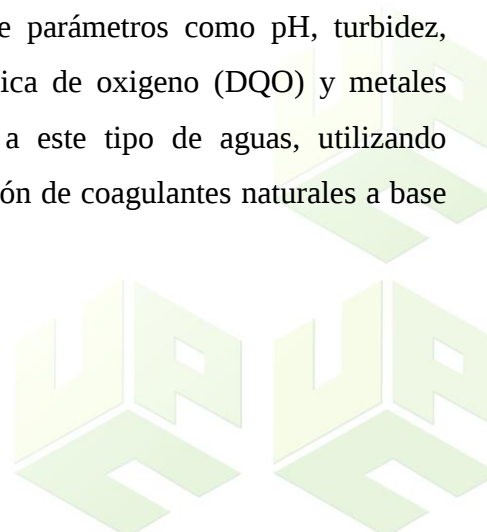


## INTRODUCCIÓN

La industria de los hidrocarburos constituye uno de los sectores más nocivos para el recurso hídrico, analizando la incidencia que actividades propias de las industrias extractivas han ocasionado o generan como un riesgo potencial en la afectación del medio ambiente y en especial en el agua. Teniendo en cuenta la importancia del agua como recurso natural que sustenta la vida, todos los esfuerzos deben estar dirigidos a protegerlo y prevenir su agotamiento, pero no pueden estar encaminados a detener el progreso, por el contrario, se menester encontrar las fórmulas que permitan un desarrollo conjunto que no solo estimula el crecimiento de la industria, sino que proteja las fuentes hídricas.

Ya que la producción genera alta carga contaminante que ocasiona el deterioro de la calidad de vida y el incumplimiento normativo, lo que obliga a la industria a buscar medidas de minimización de impactos ambientales. Por lo cual se hace necesaria esta investigación para reducir las cargas orgánicas en el efluente hacia la laguna de oxidación y así lograr el cumplimiento de la normatividad vigente (Resolución 0631 de 2015), utilizando mecanismos en los procesos de coagulación como lo son los coagulantes naturales que busquen una optimización en la remoción de metales pesados.

Por lo tanto se estudiará el comportamiento de parámetros como pH, turbidez, demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y metales pesados, buscando darle una alternativa de solución a este tipo de aguas, utilizando herramientas de bajo costo como lo son la implementación de coagulantes naturales a base del almidón de la yuca y del *opuntia ficus indica*.



## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La industria del petróleo tiene diferentes procesos para su explotación, extracción, tratamiento y venta de sus productos. Para su proceso de explotación se utiliza agua, la cual se extrae junto al hidrocarburo y el gas. Posterior al proceso de extracción se separa el agua, el hidrocarburo y el gas. El crudo se almacena hasta su venta, el gas es quemado en la TEA o antorcha y el agua es tratada en una planta de tratamiento de agua residual industrial, en donde se retienen diferentes materiales sólidos que componen los lodos; el agua resultante de este tratamiento se hace recircular al sistema para inyectar a otros pozos de extracción. Como subproducto del tratamiento del agua en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTARI), se obtienen lodos impregnados con hidrocarburos que también deben ser tratados para su disposición final de forma adecuada en el ambiente por su contenido de diferentes metales pesados y sustancias contaminantes (López, 2019).

Según la ecologista América Lilia, 2011 hoy día se han evidenciado numerosos impactos ambientales asociados sobre todo a la fracturación hidráulica, el cual consiste en inyectar agua con arena y algunos aditivos a presión suficiente con el fin de provocar microfisuras en la roca y favorecer el flujo del gas natural, este método es empleado por la industria para incrementar la extracción de los hidrocarburos procedentes del pozo perforado. El tiempo de perforación de un pozo dependerá de la profundidad programada y las condiciones geológicas del subsuelo. Este proceso conlleva una serie de impactos ambientales, como la contaminación de las aguas subterráneas, contaminación atmosférica, emisión de gases de efecto invernadero (metano), terremotos (sismicidad inducida), contaminación acústica e impactos paisajísticos (Garzón, 2006). Ahora bien, uno de los problemas más significativos durante la extracción de petróleo, es el agua o lodo residual presente en los yacimientos petroleros, las aguas de formación pueden entrar al medio ambiente cuando se producen derrames por rotura de las líneas que las transporta, por desbordamiento o goteo de los

tanques donde se almacenan o accidentes en los pozos reinyectores (Bravo, 2007), otra de las consecuencias graves de este proceso extractivo y de la generación de aguas servidas e industriales, es la eutroficación de los lagos, disminución de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua y aumento de la demanda biológica de oxígeno (DBO). Los efluentes industriales y las aguas de formación que se extraen junto al petróleo crudo generalmente contienen hidrocarburos, fenoles, aguas agrias, salmuera, microorganismos, sulfuros, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, sales nitrogenadas, fósforo y altas temperaturas. Por esta razón, estas aguas deben ser sometidas a controles y monitoreos periódicos ya que estos elementos químicos altamente contaminantes pueden ser introducidos a los terrenos circundantes y a los cuerpos de agua (Rico, et. Al, 2007).

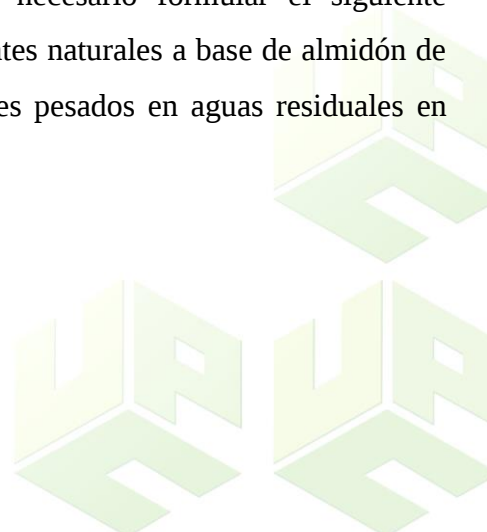
El crudo contiene componentes orgánicos tóxicos, materia natural con residuos radioactivos y metales pesados como cadmio, plomo, mercurio, arsénico, cobre entre otros, además, el petróleo contiene otros compuestos asociados como son azufre, metales pesados como es el vanadio, sales inorgánicas y otras sustancias tóxicas, algunas de ellas radioactivas (Bravo, 2007), lo que amerita una planeación, diseño y control operacional adecuados en cada fase, ya que con ello se lograría minimizar y mitigar los impactos. Es muy importante el entendimiento de que los procedimientos de manejo de las repercusiones ambientales de cada etapa de la exploración y la explotación, pueden ser evaluadas sistemáticamente antes de iniciar un proyecto para de esta manera tomar las medidas necesarias (Ramírez, 2014), sin embargo, actualmente no hay un manejo apropiado para minimizar la contaminación propiciada por el agua que sale del pozo y las alternativas disponibles son muy poco satisfactorias, lo cual no es un panorama muy favorable para un país como Colombia, donde en definitiva, posee una dependencia del petróleo (Acosta, 2018).

El no brindar un manejo adecuado a estas aguas residuales industriales traería problemas legales causados por la disposición de estos en el ambiente, sin un previo tratamiento podría causar diferentes impactos ambientales en el suelo y en el recurso hídrico,

incumpliendo con su responsabilidad ambiental siendo la empresa la generadora de estas, deben cumplir con las exigencias de la Resolución 0631 del 2015, la cual establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a sistemas de alcantarillados público, así como el decreto 3930 de 2010 por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974, en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Es por ello que ante esta problemática surge la necesidad de métodos económicos y efectivos para la remoción de estos metales presentes en estas aguas, implementando el desarrollo de nuevas tecnologías para lograr la separación, para tal fin, se ha ejecutado la precipitación química, la oxidación, el intercambio iónico, entre otras; con el objetivo de lograr la separación; en base a dicha problemática se propone una alternativa para la remoción de los metales pesados por medio de un adsorbente alternativo, con base de almidón de yuca y *opuntia ficus indica* ya que estudios previos las catalogan como bioadsorbentes prometedores en el retiro de los metales pesados.

## **2.1 Formulación del Problema:**

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se hace necesario formular el siguiente interrogante ¿Será viable la implementación de coagulantes naturales a base de almidón de yuca y *opuntia ficus indica* para la remoción de metales pesados en aguas residuales en perforación de pozos de petróleo y gas?



### 3. JUSTIFICACIÓN

La industria de perforación de pozos para extracción de petróleo y gas incide de una forma importante y necesaria en Colombia, sin embargo, no por eso debemos olvidarnos del agua residual que sale luego de finalizado el proceso ya que esto representa contaminación directa al recurso suelo y agua principalmente y con ello a la fauna y flora presente en estos (López & Maldonado, 2017), y es por ello mismo por lo que es necesario la implementación de un coagulante cuya elaboración requiera bajo costos y cuya eficiencia sea alta en cuanto al proceso de remoción de partículas suspendidas en el agua, turbiedad y metales pesados. Actualmente, se conocen industrias de alimentos que desechan residuos agrícolas y los llevan a la basura sin darles un aprovechamiento posterior, con la tecnología necesaria estos residuos pueden ser reutilizados como materiales bioadsorbentes de iones metálicos (López y Maldonado, 2017).

Actualmente existen métodos para tratar efluentes contaminados por metales pesados, sin embargo, estos procesos implican la utilización de agentes químicos, lo cual repercute en el gasto de mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, no obstante, existen otros procesos como la bioadsorción la cual es una alternativa novedosa, eficiente y económica para resolver este tipo de problemas, donde se reduce el uso de químicos y de lodos biológicos. Esta técnica permite emplear subproductos de bajo costo y con alta capacidad de remoción, por ejemplo, se pueden emplear biomateriales sin aplicación industrial como desechos agrícolas (Almidón de yuca, cáscaras de arroz, naranja, limón, marlo de maíz, salvado de soja y arroz, etc.), algas, hongos y levaduras que cumplan la función de coagulantes naturales (López & Maldonado, 2017); en este caso en específico se utilizarán el almidón de yuca y el *Opuntia ficus-indica*.



**Universidad  
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Dada la importancia que tienen estos procesos, generadores de las aguas residuales en la economía y en la vida de los colombianos, se hace necesario la búsqueda de alternativas más amigables con el medio ambiente, con excelentes resultados en la remoción de estos contaminantes, como pH bajo, es decir ácido, DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), en concentraciones muy altas, metales pesados (Mg, Fe y Pb.), en altas concentraciones, están por fuera de los límites permisibles y sus descargas de agua residual no cumplan con la normatividad vigente (Resolución 0631 del 2015) la cual establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a sistemas de alcantarillados público, así mismo minimizar parte de la contaminación que es causa de este tipo de procesos; es así que se plantea un coagulante natural a base del *Opuntia ficus indica* y del *almidón de yuca*, para agua residuales industriales proveniente de perforaciones de petróleo y gas, como un coagulante alternativo en la remoción de estos contaminantes, debido a estudios que lo catalogan como un bioadsorbente natural con gran capacidad en la remoción de estos.





## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Remover metales pesados presentes en aguas residuales provenientes de pozos de perforación de petróleo y gas a través de coagulantes naturales a base de almidón de yuca y *Opuntia ficus indica*.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Caracterizar físico y químicamente los parámetros de Turbidez, DQO, DBO, pH y metales pesados (Mg, Fe y Pb.) presentes en una muestra de agua residual proveniente de pozos de perforación de petróleo y gas.
- ❖ Determinar la dosis óptima de coagulantes naturales a base de almidón extraído de la yuca y *opuntia ficus indica* en el proceso de coagulación-floculación mediante el ensayo de prueba de jarras.
- ❖ Evaluar la efectividad de los coagulantes para la determinación de la remoción en cuanto a los parámetros fisicoquímicos y los metales pesados.



## **5. MARCO REFERENCIAL**

A continuación, se presentarán estudios recientes y bases teóricas que apoyarán en la investigación y desarrollo del anteproyecto, con tal de mejorar la comprensión y posterior entendimiento de este.

### **5.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **5.1.1 Antecedentes Internacionales**

Padilla Arévalo, O. G., & Zárate Morán, J. R. (2020). *En su investigación, determinación de las características coagulantes del almidón de papa (Solanum tuberosum) y de la tuna (Opuntia ficus-indica) para remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de aguas superficiales* (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química). Al aplicar, *Opuntia ficus-indica*, a una concentración de solución al 1%. La dosis óptima para la remoción de turbiedad y color respecto al coagulante fue de 5 mg/L. Obtuvo un porcentaje de remoción del 76,85% de color y 92% de turbiedad.

Además Maldonado Ushiñahua, A. R. (2018). En su investigación Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juninguillo–La Mina, Moyobamba–San Martín. Evaluó el almidón de yuca a distintas concentración (1%, 2%, 3% 4% 5% 6%). La concentración óptima encontrada en el conjunto de ensayos realizados en la prueba de jarras, fue de 1%, es decir 1 mg de almidón /L de agua destilada (relación: peso/ volumen) de solución de almidón de yuca.

En este sentido, Palacios y Zenobia, (2016). En su tesis de investigación titulada “Eficiencia del coagulante natural *Opuntia ficus indica* (L.) miller con un sistema de filtración para la remoción de parámetros fisicoquímicos y biológicos en el agua residual domestica del centro urbano hornillos, ancash 2016.” para optar el título profesional de Ingeniería Ambiental, en la Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. La cual tuvo como finalidad evaluar la eficiencia del coagulante natural *Opuntia ficus indica* (L.) en diferentes porcentajes de concentración y volumen para la remoción de los parámetros fisicoquímicos y biológicos presentes en el agua residuales domesticas generadas por el centro urbano de Hornillos. El presente trabajo de investigación consistió en tres fases, la primera fase fue la obtención del coagulante natural *Opuntia ficus indica* (L.) Miller, luego la determinación del volumen optimo del coagulante natural *Opuntia ficus indica* (L.) Miller con los distintos porcentajes de concentración en la prueba de jarras y la última fase consistió en utilizar los porcentajes de concentración con sus respectivos volúmenes óptimos del coagulante natural *Opuntia ficus indica* (L.) Miller, para luego ser llevado a la prueba de jarras y el sistema el filtro. Se obtuvo como resultado que el porcentaje de concentración optimo y el volumen óptimo fue de 80% con 1 ml de coagulante natural, durante la prueba de jarras se logró una eficiencia de remoción de turbidez del 95%, de Solidos Suspendidos Totales 57%, Demanda Química de Oxigeno 58% y de coliformes totales 44%. Para el proceso de prueba de jarras con el sistema de filtro se logró una eficiencia de remoción de turbidez de 99%, de Sólidos Suspendidos Totales 88%, Demanda Química de Oxigeno 82% y de coliformes totales 85%.

Al respecto, Ovando, (2012). En su tesis de investigación titulada “Modificación de biopolímero extraído de nopal (*Opuntia ficus indica*) y su aplicación para la remoción de metales pesados en agua” para optar el cargo de maestra en ciencias aplicada, en el Instituto Potosino de investigación científica y tecnológica A. C, San Luis, México. El mucílago de *Opuntia ficus-indica* (nopal) es un polímero natural el cual se observó que, como un excelente floculante para la remoción de partículas suspendidas, así como de metales pesados como plomo, cadmio y zinc. Sin embargo, es soluble en agua y por lo tanto su resistencia mecánica

es nula. Durante la presente investigación se llevó a cabo la extracción del mucílago proveniente del nopal, así como su modificación mediante ácidos carboxílicos y nanopartículas de plata, con el objetivo de obtener un material sólido, insoluble en medio acuoso, capaz de remover cadmio disuelto en solución acuosa con propiedades antimicrobianas gracias a las nanopartículas de plata, para alargar su vida útil. Mediante los resultados de espectroscopia infrarroja se corroboró que el mucílago de nopal contiene grupos funcionales que son capaces de atraer metales pesados, además de que estos mismos grupos funcionales permiten que el biopolímero sea entrecruzado, generando un material más resistente y útil para la remoción de metales pesados disueltos en agua. Los principales grupos funcionales que interactúan con los iones de cadmio son grupos hidroxilo y carboxilo.

De la misma forma, Miranda, (2012). En su tesis de investigación titulada “Biosorción de plomo (II), presente en soluciones acuosas, con cascara de tuna (*Opuntia ficus - indica*)” para obtener el cargo de Magister en Ciencia Mención Gerencia, Auditoria y Gestión Ambiental en la Universidad Nacional de San Agustín en Arequipa, Perú. El trabajo de investigación nombrado anteriormente estuvo enfocado en mostrar una nueva alternativa de tratamiento de remoción de iones metálicos, caso específico el plomo (II) que es altamente tóxico. La biosorción se presenta como una opción viable debido para ello, ya que los materiales utilizados como sorbentes son materiales orgánicos de desecho. El biosorbente se obtuvo a partir de la cáscara de Tuna (*Opuntia ficus - indica*), previo secado, molido, tamizado y luego se realizó un pretratamiento con formaldehído al 0,2%V/V. Las conclusiones, a las que se llegó, con el presente trabajo de investigación fue que la cáscara de tuna pretratada con formaldehído al 0,2%v/v, es un buen biosorbente, y puede remover el plomo (II) en más del 98,5% en el rango de pH 4,0 a 6,0 y en el rango de la cantidad de biosorbente 0,05 g a 0,25 g, demostrando así la eficiencia del *Opuntia Ficus Indica* en remoción de metales pesados en agua.

### **5.1.2. Antecedentes Nacionales**

De igual forma, Bravo, (2017). En su tesis de investigación titulada “coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales” En la facultad de ciencias y educación, Universidad distrital francisco José de caldas, Bogotá-Colombia. En esta monografía se realizó la recopilación de información sobre la capacidad de coagulación y floculación de metales pesados, sólidos en suspensión, turbidez, colorantes y demanda química de oxígeno presentes en aguas residuales mediante la aplicación de extractos derivados de fuentes naturales. Para esto, se recolecto y información bibliográfica de quince especies de plantas y dos extraídos de animales (*Moringa oleífera*, *Cassia obtusifolia*, *Jatropha curcas*, *Aesculus hyppocastanum*, *Quercus robur*, *Abelmoschus esculentus*, *Plantago mayor L.*, *Vitis vinífera*, *Plantago psyllium*, *Phaseolus vulgaris*, *Vicia faba L.*, Ácido láctico y Lactato de Calcio, Escamas de pescado, *Acacia mearnsii* y *Schinopsis balansae*) las cuales han sido estudiadas por otros autores en el proceso de coagulación floculación. Como resultado se pudo mostrar la capacidad de agentes coagulantes y floculantes extraídos de fuentes naturales con porcentajes de eliminación de contaminantes con hasta más del 90% de efectividad. Los mecanismos de coagulación más aplicables para coagulantes y floculantes naturales son adsorción y neutralización de carga y adsorción y puente entre partículas que se atribuye a la naturaleza aniónica o catiónica del agente coagulante

Así mismo, Tejada et. Al, (2014). En su artículo de investigación titulada “Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico” En la facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, Colombia. Tuvo como objetivo estudiar las generalidades de la adsorción como proceso alternativo para la remoción de contaminantes en solución y las biomásas comúnmente usadas en estos procesos, además de algunas de las modificaciones realizadas para la mejora de la eficiencia de adsorción de las mismas. Como resultado se obtuvo o se concluyó que el uso de la adsorción en la remoción de contaminantes en solución acuosa mediante el uso de biomasa residual es aplicable a estos procesos de descontaminación evitando problemas subsecuentes como la generación de lodos químicos,

y generando un uso alternativo a materiales considerados como desechos. Se identifica además que factores como el pH de la solución, tamaño de partícula, temperatura y la concentración del metal influye en el proceso. Todo esto, a través de una metodología meramente investigativa y de revisión bibliográfica. Este Artículo de investigación nos ayuda debido a que nos brinda una base de información de antecedentes para tener conocimiento sobre qué factores son los que afectan a la adsorción y al coagulante utilizado, especificando todo aquello que puede variar y cambiar por la presencia de estos efectos en el proceder de la parte práctica de este proyecto.

## **5.2. MARCO TEÓRICO**

El gran gasto actual en la fase de perforación (100.000-150.000 litros/día de perforación), ahora bien, es necesario entender que dicha agua no sale con las propiedades necesarias para re-usarse o para devolverla al ecosistema. En la actualidad se sacan 100.000-150.000 litros/día de perforación, se prepara lodo, se perfora, se "trata el agua" (remueven sólidos, no sales) y se vierte, vota en carreteras o infiltra, con la presencia de contaminantes que hacen que exista un flujo masivo de contaminación y un gasto excesivo de agua (Forero, 2014).

Ahora bien, "En la remediación de aguas residuales industriales o potabilización del agua, los coagulantes naturales permiten la desestabilización de la contaminación coloidal (sólidos suspendidos). Además, se ha comprobado la eficiencia en la adsorción de metales pesados como plomo, cromo, cadmio y zinc mediante extractos de plantas. La coagulación natural permite el tratamiento de efluentes industriales bajo condiciones extremas, como por ejemplo a valores de pH por encima de 12, altas concentraciones de salinidad, presencia de metales pesados y alcalinidad (Banchón et. Al, 2016)."

### **5.2.1. Agua Residual**

Desde el punto de vista del tratamiento de las aguas residuales, “éstas pueden ser las aguas utilizadas por el hombre para cubrir sus necesidades, o las aguas que se han emitido como residuos líquidos después de su utilización. El agua pura no se encuentra en forma natural. Cuando el agua entra en contacto con el aire, suelo, o el hombre, adquiere impurezas y se contamina; lo que ocasiona enfermedades y perjuicios al ser humano” (Raffo & Ruiz, 2014).

#### **5.2.1.1. Características del agua residual:**

A continuación, se describen brevemente los constituyentes físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales, los contaminantes importantes de cara al tratamiento de las aguas.

Ahora bien, Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica, así como sus principales constituyentes químicos y biológicos, y su procedencia. Es conveniente observar que muchos de los parámetros están relacionados entre ellos. Por ejemplo, una propiedad física como la temperatura afecta tanto a la actividad biológica como a la cantidad de gases disueltos en el agua residual (Espigares & Pérez, 2017).

#### **5.2.1.2. Características químicas del agua residual:**

Según Espigares & Pérez en 2017, existen una serie de parámetros que tienen una especial importancia para describir composición de las aguas residuales:

##### **Orgánicas**

- Carbohidratos: Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales grasas animales, aceites: Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales y grasa
- Pesticidas: Residuos agrícolas



- Fenoles: Vertidos industriales
- Proteínas: Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
- Contaminantes prioritarios: Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
- Agentes tensoactivos: Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
- Compuestos orgánicos volátiles: Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
- Otros: Degradación natural de materia orgánica

### **Inorgánicas**

- Alcalinidad: Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
- Cloruros: Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
- Metales pesados: Vertidos industriales
- Nitrógeno: Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas
- PH: Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
- Fósforo: Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de Escorrentía
- Contaminantes prioritarios: Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
- Azufre: Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales

### **Gases**

- Sulfuro de hidrógeno: Descomposición de residuos domésticos
- Metano: Descomposición de residuos domésticos

#### **5.2.1.3. Características físicas del agua residual:**

Según Espigares & Pérez en 2017, algunas de las características físicas de las aguas residuales urbanas son las siguientes:

- *Color:* Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica
- *Olor:* Agua residual en descomposición, residuos industriales
- *Sólidos:* Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
- *Temperatura:* Aguas residuales domésticas e industriales
- *Turbidez:* Se debe a la cantidad de materias en suspensión que hay en las aguas residuales (limo, materia orgánica y microorganismos. Esta turbidez, en las masas de aguas receptoras, afecta a la penetración de la luz, lo que redundaría en una menor productividad primaria.

#### **5.2.1.3.1. Características biológicas del agua residual:**

Las aguas residuales, dependiendo de su composición y concentración, pueden llevar en su seno gran cantidad de organismos. También influyen en su presencia la temperatura y el pH, puesto que cada organismo requiere unos valores determinados de estos dos parámetros para desarrollarse (Espigares & Pérez, 2017).

A continuación, se describen los principales grupos de organismos que se pueden encontrar:

- *Bacterias:* pueden ser de origen fecal o bacterias implicadas en procesos de biodegradación, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento. En las aguas residuales brutas, predominan las especies pertenecientes a los siguientes

grupos: *Escherichia*, *Salmonella*, *estreptococos fecales*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Serratia*, *Bifldobacterium*, *Clostridium*, *Zooglea*, *Flavohacterium*, *Nocardia*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Mycohacterium*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, etc. Las bacterias coliformes se utilizan como indicador de polución por vertidos de origen humano, ya que cada persona elimina diariamente de 100.000 a 400.000 millones de coliformes a través de las heces, además de otras clases de bacterias.

- Virus: proceden de la excreción, por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Poseen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias particuladas, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales. Se pueden encontrar virus pertenecientes a distintos grupos: Poliovirus, virus Echo, Coxsackievirus A y E, virus de la hepatitis, agente de Norwalk, Rotavirus, Reovirus, Adenovirus y Parvovirus. La gran supervivencia de los virus origina la resistencia a algunos tratamientos de aguas residuales, constituyendo un peligro para las aguas receptoras. Durante los tratamientos, los virus se adsorben a la superficie de los flóculos y de esta forma son separados de las aguas residuales, pero no inactivados. Algunos quedan en el efluente, siendo un peligro para la salud, aunque el mayor riesgo lo constituyen aquellos que quedan en el fango, en mayores cantidades, sobre todo si este fango se utiliza como fertilizante sin tratamiento previo.
- Algas: su crecimiento está favorecido por la presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono y vestigios de elementos tales como hierro y cobalto, dando lugar a procesos de eutrofización. Este fenómeno esta producido principalmente por algas de los géneros *Anacystis*, *Anabaena*, *Gleocystis*, *Spirogyra*, *Cladophora*, *Enteromorpha*, *Stigeoclonium*<sup>2</sup> *Ulothrix*, *Chiorella*, *Euglena* y *Phormidium*, etc.
- Protozoos: los que se encuentran más frecuentemente en las aguas residuales son amebas, flagelados y los ciliados libres y fijos. Estos organismos juegan un papel muy



importante en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en filtros percoladores y fangos activados. Pueden eliminar bacterias suspendidas en el agua, ya que éstos no sedimentan, evitando la producción de efluentes con turbidez. Hongos: la mayoría son aerobios estrictos, pueden tolerar valores de pH relativamente bajos, y tienen baja demanda de nitrógeno. Esto les hace desempeñar una función importante en el tratamiento de aguas residuales industriales. Los géneros que pueden encontrarse son: Geotrichium, Mucor, Aureobasidium, Subbaromyces, Fusarium, Sepedonium y Sphaerotilus. En el tratamiento con fangos activados, los hongos, junto a bacterias filamentosas, pueden dar lugar a un problema conocido como bulking, debido a que su presencia dificulta la sedimentación de los fangos.

#### **5.2.1.4. Clasificación de las aguas residuales:**

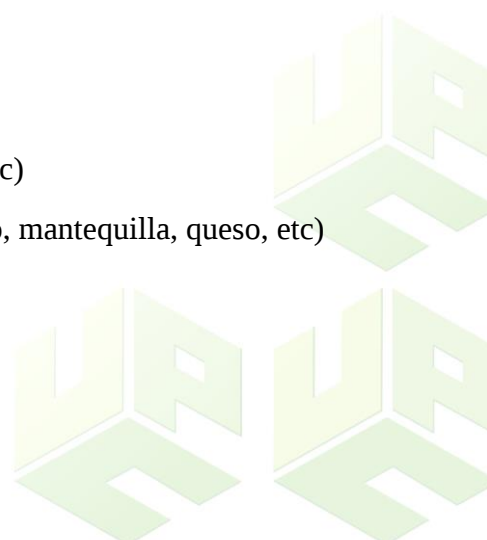
Según Muñoz en 2008, las aguas residuales se pueden clasificar en 5 grupos y esto según los contaminantes que este arrastre:

##### **1. Industrias con efluentes principalmente orgánicos:**

- Papeleras
- Azucareras
- Mataderos
- Curtidos
- Conservas (vegetales, carnes, pescados, etc)
- Lecherías y subproductos (Leche en polvo, mantequilla, queso, etc)
- Fermentación
- Bebidas lavanderías

##### **2. Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos:**

- Refinerías y petroquímicos
- Coquería





- Textiles
- Fabricación de productos químicos varios
- 3. Industrias con efluentes principalmente inorgánicos:
  - Limpieza y recubrimientos de metales
  - Explotación minera y salina
  - Fabricación de productos químicos inorgánicos
- 4. Industrias con efluentes con materias en suspensión:
  - Lavaderos de mineral y carbón
  - Corte y pulido de mármol y otros minerales
  - Laminación en caliente y colada continua
- 5. Industrias con efluentes de refrigeración
  - Centrales térmicas
  - Centrales nucleares

#### **5.2.1.5. Tratamientos de aguas residuales:**

“En ingeniería ambiental el término tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación, así como la eliminación de las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales llamadas, en el caso de las urbanas, aguas negras” (Muñoz, 2008).

Ahora bien, según Muñoz en 2008, podemos encontrar los siguientes procesos para tratar aguas residuales:

#### **5.2.2. Procesos físicos**

Los procesos físicos de tratamiento de aguas residuales son todos aquellos en los que se emplean las fuerzas físicas para el tratamiento. En general, las operaciones



físicas se emplean durante todo el proceso del tratamiento de las aguas residuales, aunque algunas son casi exclusivamente operaciones de pretratamiento (desbaste, dilaceración y homogenización de caudales).

Los principales procesos físicos son los siguientes:

- Desbaste.
- Dilaceración.
- Evaporación.
- Homogenización de caudales.
- Mezclado.
- Floculación.
- Sedimentación.
- Flotación
- Filtración.

### **5.2.3. Procesos químicos**

Los procesos químicos son todos aquellos procesos en los que la eliminación de los contaminantes del agua residual se lleva a cabo mediante la adición de reactivos químicos o bien mediante las propiedades químicas de diversos compuestos. Los procesos químicos se utilizan en la depuración de aguas junto a operaciones físicas y procesos biológicos.

Los principales procesos químicos son los siguientes:

- Precipitación química.
- Transferencia de gas.
- Separación de amoníaco mediante arrastre con aire.



- Adsorción.
- Desinfección.
- Desinfección con cloro.
- Ozono (eliminación de materia orgánica refractaria).
- Decoloración.
- Decoloración con dióxido de azufre.
- Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas.
- Intercambio iónico.
- Ósmosis inversa.
- Ultrafiltración.

#### **5.2.4. Procesos biológicos**

El tratamiento biológico de las aguas residuales se puede realizar en todo tipo de aguas y es generalmente un tratamiento secundario. Tiene como misión la coagulación y eliminación de sólidos coloidales no sedimentables en la decantación primaria, así como la estabilización de la materia orgánica. Se consigue biológicamente utilizando una variedad de microorganismos principalmente bacterias.

Ahor, en el tratamiento biológico el proceso consiste únicamente transformando los nutrientes en tejido celular y diversos gases. El tejido celular es ligeramente más pesado que el agua, en consecuencia, la separación se tendrá que hacer por sedimentación y decantación. Si no se eliminase el tejido celular del agua el nivel de DBO de las aguas disminuiría poco puesto que el tejido celular es materia orgánica y la disminución correspondería a la conversión bacteriana de nutrientes en productos gaseosos.

Según el tipo de agua residual a tratar los objetivos en el tratamiento biológico pueden diferenciarse ligeramente; en el tratamiento de aguas residuales domésticas los objetivos son la eliminación de la materia orgánica así como nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo; en aguas residuales industriales el tratamiento persigue la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos, teniendo en cuenta que algunos metales pesados son tóxicos para las bacterias utilizadas en ciertos procesos biológicos. En función del uso de las aguas residuales tratadas también se emplearán distintos tratamientos biológicos (por ejemplo, para usar las aguas tratadas en agricultura o riego el tratamiento va encaminado a la eliminación de nutrientes de plantas acuáticas).

#### **5.2.4.1. Métodos para implementar:**

Los métodos más comunes que se usan en este tipo de agua residuales son los siguientes:

Método de adsorción: En la investigación presentada por Kumar, Revellame, Gang, Zappi y Subramaniam (2018) en la revista “producción más limpia” se concluyó que el adsorbente preparado de carbón activado a base de cáscara de nuez se puede utilizar como un adsorbente eficaz para la eliminación de iones metálicos de aguas residuales industriales. También en dicha investigación se evidencia que el Carbón activado a base de cáscara de pacana para la eliminación de hierro (II) de Fracking de aguas residuales: cinética de adsorción, isoterma y estudios termodinámicos, La superficie específica el área y el volumen de poros del PSBAC son 1516,5 m<sup>2</sup> /g y 0,7 cm<sup>3</sup>/ g, respectivamente, indicando la eficacia de PSBAC para la adsorción de hierro (II). El porcentaje de adsorción de hierro (II) aumentó de 69,9% a 98,6% para un aumento en la dosis de adsorbente de 3 g / L a 9 g / L. El porcentaje de adsorción aumentó de 83,4% a 100% cuando la temperatura aumentó de 30 ° C a 70 ° C. de hierro (II) sobre PSBAC tiende a seguir una cinética de pseudo segundo orden con una alta correlación factor de 99,7%. Basado en el modelo de difusión intrapartícula de Weber-

Morris, es evidente que La difusión intrapartícula no es el paso limitante de la velocidad, lo que sugiere que la película externa la difusión o el proceso de adsorción fue el paso limitante de la velocidad. La adsorción es química en la naturaleza y es espontáneo de acuerdo con las estimaciones de energía libre de Gibbs. Los datos de equilibrio se han analizado utilizando las isothermas de Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich y Temkin. Los datos experimentales arrojaron ajustes excelentes dentro del siguiente orden de isothermas: Temkin>Freundlich> Langmuir basadas en sus valores de coeficiente de correlación.

Sistema Dewatering: Es un proceso de lodos por coagulación, floculación y centrifugación para separar la fase solidad y líquida del lodo para su disposición o reutilización en el caso del agua (Prada, 2015).

En la investigación DISEÑO PRELIMINAR DE CENTRIFUGACIÓN Y DEWATERING PARA LODOS DE PERFORACIÓN. Presentada por García y Medina (2017) concluyeron que mediante el tratamiento de dewatering y centrifugado se pueden obtener beneficios económicos y ambientales, algunos de ellos son: un menor costo de disposición y/o transporte de fluidos resultantes debido a la reducción del volumen de desechos líquidos y sólidos; y la reutilización y mejora de las propiedades de los lodos. Al introducir al proceso lodos de otras etapas, únicamente se deben modificar y con ello se reduce el consumo elevado de agua en cada etapa del proceso de perforación. También concluyeron que para que proceso de dewatering se deben controlar el pH, tipos y cantidades de coagulantes y floculantes para que el proceso sea efectivo.

Así mismo, Muñoz (2012) expresa los beneficios del método dewatering y también los factores que podrían tener efectos negativos en dicho proceso

Beneficios del dewatering:

- Costo efectivo Vs transporte y opción de disposición.
- Mejora la reología del lodo.



- Reduce el volumen de desechos líquidos y costos de disposición.
- Reduce el consumo de agua y el impacto ambiental.
- Altamente efectivo en perforación con lodo bentonítico.

Factores que afectan el dewatering:

- pH puede afectar los costos del dewatering
- Los dispersantes hacen que el proceso sea difícil (generalmente es muy costoso)
- Los coagulantes pueden ser usados para reforzar las reacciones químicas. Los polímeros líquidos generalmente tienen mayor costo que los secos.
- El tiempo de hidratación es crítico en los polímeros secos

Métodos preparación de la solución coagulante: En la investigación Rodríguez, Oñate, Gutiérrez y Caldera (2012) concluyeron que el quitosano es eficiente para la remoción de hidrocarburos, A y G, SST, SSV, turbidez y color presentes en las aguas asociadas a la producción de petróleo media-no (APPM), obteniéndose remociones superiores al 80% para la concentración óptima de 4 mg/L, es decir, El quitosano es una alternativa de coagulante para la remoción de altas concentraciones de hidrocarburos presentes en aguas asociadas a la producción de petróleo de alta y baja turbidez.

En la investigación presenta por, Gutiérrez, Fuentes, Rodríguez y otro (2015) los resultados demostraron que el quitosano como coagulante representa una alternativa para remover más 76% de turbidez, color, sólido e hidrocarburos presentes en las aguas residuales industriales (petroleras) y aguas sintéticas con alta turbidez.

#### **5.2.5. Metales pesados**

Los metales pesados son sustancias propias de la naturaleza cuyo peso molecular tiende a ser muy alto, son potencialmente tóxicos, pero en algunos casos suelen ser muy útiles para ciertos procesos industriales (Erostegui, 2009).

#### **5.2.5.1. Características generales de los metales pesados**

Según la tabla periódica, los metales son elementos químicos con alta densidad (mayor a  $4 \text{ g/cm}^3$ ), masa y peso atómico por encima de 20, y son tóxicos en concentraciones bajas. Algunos de estos elementos son: aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), cobalto (Co), cobre (Cu), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), talio (Tl), vanadio (Va), oro (Au) y zinc (Zn) [9,10]. En general se considera, que los metales son perjudiciales, pero muchos resultan esenciales en nuestra dieta y en algunos casos, su deficiencia o exceso puede conducir a problemas de salud, por ejemplo, el organismo requiere de hierro, cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio y zinc. Otros en cambio no cumplen una función fisiológica conocida, alteran la salud y es mejor evitarlos siempre (Londoño et. Al, 2016).

A continuación, se citarán las características generales de algunos metales pesados según Londoño et. Al, en 2016:

- **Cadmio:** es relativamente raro, en la naturaleza se asocia al zinc, es de color blanco ligeramente azulado, su peso atómico 112 y densidad relativa 8. Tiene ocho isótopos estables y presenta once radioisótopos inestables de tipo artificial y naturalmente no se encuentra en estado libre.
- **Arsénico:** su número atómico es 33, se distribuye ampliamente en la naturaleza, su peso atómico es 74, tiene 17 nucleídos radiactivos, es conductor térmico y eléctrico fácil de romper y de baja ductilidad. En la naturaleza se encuentra como mineral de cobalto, aunque regularmente está en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn.
- **Plomo:** su número atómico es 82, su peso atómico 207, presenta un color azulado, forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos. Forma aleaciones con

estaño, cobre, arsénico, bismuto, cadmio y sodio, el plomo por lo general se encuentra en metales de uranio y de torio, ya que proviene de la división radiactiva.

- Cobre: su número atómico es 29, es un metal no ferroso, suele ser muy abundante. La mayor parte del cobre del mundo se obtiene de los sulfuros minerales como la calcocita, covelita, calcopirita, bornita y enargita. Tiene dos isótopos naturales estables  $^{63}\text{Cu}$  y  $^{65}\text{Cu}$  y nueve isótopos inestables (radiactivos).
- Mercurio: su número atómico es 80 y su peso atómico 200. Es un líquido blanco plateado a temperatura ambiente, se encuentra comúnmente como sulfuro, también como rojo de cinabrio, en menor abundancia metal cinabrio negro y el menos común cloruro de mercurio. La tensión superficial de mercurio líquido es de 484 dinas/cm, seis veces mayor que la del agua en contacto con el aire, por consiguiente, no puede mojar la superficie con la cual esté en contacto.

#### **5.2.5.2. Uso de los metales pesados**

Según Londoño et. Al, en 2016 el uso de los metales pesados está ligado con sus características principales, ya que dependiendo de sus características se puede conocer para que sería más útil:

- Cadmio: Estados Unidos, Canadá, México, Australia, Bélgica, Luxemburgo y República de Corea son productores importantes de este metal. El cadmio se usa en pinturas, plásticos, pilas, baterías, abonos, soldaduras, asbestos, pigmentos, barras (reactores nucleares), farmacéutica, fotografía, vidrio, porcelana, etc.
- Arsénico: El principal mineral del arsénico es el  $\text{FeAsS}$  (arsenopirita) y se usa en tratamiento de maderas, productos agrícolas (pesticidas, herbicidas) bronceadores de piel, anticorrosivos, vidrio, cerámica, pinturas, pigmentos, medicamentos. En alimentación animal como factor de crecimiento, gases venenosos de uso militar, etc.

- **Plomo:** En la industria, los compuestos más importantes son óxidos y tetraetilo de plomo ya que forma aleaciones con estaño, cobre, arsénico, bismuto, cadmio y sodio. El plomo se usa como aditivo antidetonante en la gasolina, baterías, en monitores de computadores y pantallas de televisión, joyería, latas de conserva, tintes para el pelo, grifería, pigmentos, aceites, cosmetología, aleaciones, cerámicas, municiones, soldaduras, plomadas, armamento, radiación atómica, insecticidas, etc.
- **Cobre:** De cientos de compuestos fabricados de manera industrial, el más importante es el sulfato de cobre. El cobre se usa en equipo eléctrico, maquinaria industrial, construcción, en aleaciones de bronce: latón, níquel, clavos, pernos, objetos decorativos, tuberías, techos, monedas, utensilios de cocina, joyería, muebles, maquillaje, pinturas, instrumentos musicales y medios de transporte. Además, el sulfato de cobre es uno de los primeros compuestos utilizados como pesticidas, las sales de cobre poseen efectos fungicidas y alguicidas.
- **Mercurio:** Se usa en empastes dentales, fabricación de pilas, lámparas fluorescentes, aparatos eléctricos (baterías, conmutadores), pinturas, catálisis, agricultura (fungicidas, pesticidas), productos farmacéuticos, pulpa, papel, cosméticos, cremas y jabones para la piel y drogas herbales, termómetros clínicos Y en minería de oro, cobre, plata y extracción de cientos de toneladas de carbón, por su facilidad de formar amalgamas y así extraerlos fácilmente.

#### **5.2.5.3. Clasificación de los metales pesados**

Según Máxima, 2020, los elementos metálicos se clasifican en distintos tipos, tal y como aparecen en la Tabla Periódica de los Elementos. Cada grupo presenta propiedades exclusivas:



- **Metales alcalinos:** son brillantes, blandos y muy reactivos en condiciones normales de presión y temperatura, razón por la cual nunca se hallan en estado de pureza. Presentan bajas densidades y son buenos conductores del calor y la electricidad.
- **Metales alcalinotérreos:** su nombre proviene del hecho que sus óxidos (llamados “tierras” antiguamente) tienen propiedades alcalinas. Son más duros y menos reactivos que los alcalinos, brillantes y buenos conductores del calor y la electricidad, además de tener baja densidad y a menudo colores.
- **Metales de transición:** La mayoría de los metales son de transición. Casi todos son duros, tienen elevados puntos de fusión y de ebullición, y además una buena conducción del calor y de la electricidad.
- **Lantánidos:** Llamados lantanoides o “Tierras raras”, forman los “elementos de transición interna” junto a los actínidos. Son elementos muy similares entre sí y muy abundantes en la superficie terrestre. Tienen comportamientos magnéticos únicos.
- **Actínidos:** metales de altos números atómicos, muchos de ellos radiactivos en todos sus isótopos. Son sumamente escasos en la naturaleza.
- **Transactínidos:** se trata de metales “superpesados”, que superan en número atómico al más pesado de los actínidos: el lawrencio (103). Todos sus isótopos tienen una vida media muy corta, pues son muy radiactivos y se han obtenido únicamente por síntesis en un laboratorio.

#### **5.2.5.4. Consecuencias de los metales pesados en el agua**

“Las aguas procedentes de las industrias como la minera, la de recubrimientos metálicos, las fundidoras y otras más contaminan el agua con diversos metales. Por ejemplo, las sales de metales como el plomo, el zinc, el mercurio, la plata, el níquel, el cadmio y el arsénico son muy tóxicas para la flora y la fauna terrestres y acuáticas. Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio son muy tóxicas y acumulables por los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de

contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridos por alguno de sus eslabones. Al ser ingeridos por el hombre en el agua y alimentos contaminados por los compuestos de mercurio, plomo o cadmio, provocan ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o hasta la muerte” (Fondo para la comunicación y educación ambiental, 2007).

Ahora bien, las consecuencias con respecto a los metales pesados son bastantes graves y hablando específicamente, pueden llegar a cambiar el pH del agua, obviamente, depende mucho de la concentración. También es necesario entender que al contaminar el agua se contaminan los cultivos y a su vez el suelo. En estos si es una cantidad excesiva de plomo se pueden producir algunas alteraciones en las plantas, también degrada el suelo, lo cual disminuye su productividad, si la contaminación es excesiva, puede llegar a producir desertificación. A nivel de los ríos y lagos, también afecta principalmente la fauna. El problema de la contaminación del medio ambiente por metales pesados es que su efecto es silencioso, no se ve, y cuando nos damos cuenta del daño que producen, ya es tarde y sobre todo que son peligrosos para la salud. Felizmente se están tomando medidas, aunque ha costado mucho que algunos países industrializados apliquen estas. (Romero, 2009)

#### **5.2.6. Almidón de yuca**

La yuca (*Manihot esculenta* Grantz) es una planta originaria de América del Sur, usada principalmente para el consumo tanto humano como animal, y en un pequeño porcentaje para la obtención de almidón y otros usos industriales, El almidón puede encontrarse además en otras raíces, frutos, semillas, tubérculos e incluso en bacterias que lo generan como mecanismo de defensa ante situaciones de estrés presentes en su medio. El almidón de yuca puede clasificarse como agrio y nativo (dulce). El almidón agrio sufre un proceso de fermentación que le otorga propiedades deseables para los alimentos; el almidón nativo o dulce no es sometido a un proceso de fermentación, y es el que se usa generalmente en la industria. (Meneses et. Al, 2007)

#### **5.2.6.1. Características del almidón de yuca**

El almidón es un polímero natural cuyos gránulos consisten en estructuras macromoleculares ordenadas en capas y cuyas características en cuanto a composición, cantidad y forma varían de acuerdo con el tipo de fuente de la que provenga. Los gránulos de almidón están compuestos por capas externas de amilopectina y capas internas de amilosa, cuya proporción es variable dependiendo de la fuente del almidón. Su composición química es la de un polisacárido formado únicamente por unidades glucosídicas, es decir, es una macromolécula formada por gran cantidad de moléculas de glucosa que se repiten. En el caso del almidón de yuca, su tamaño puede variar de 5  $\mu\text{m}$  a 35  $\mu\text{m}$ , su forma es entre redonda y achatada y su contenido de amilosa es alrededor del 17%. Una de las principales propiedades del almidón nativo es su semicristalinidad, donde la amilopectina es el componente dominante de la cristalización en la mayoría de los almidones. La porción cristalina está compuesta por estructuras de doble hélice formadas por puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo en las cadenas lineales de la molécula de amilopectina y por cadenas externas de amilopectina unidas con porciones de amilosa (Meneses et. Al, 2007)

#### **5.2.6.2. Usos del almidón de yuca**

“Es considerada planta de aprovechamiento integral ya que sus raíces y hojas son fuente de carbohidratos y proteínas. Las raíces son de gran utilidad en la alimentación humana (mercado fresco, croquetas, harina, almidón), animal (como complemento en los concentrados para aves, cerdos y rumiantes) y es empleada como materia prima en la industria de gran variedad de productos, entre los que se destacan el almidón industrial, la harina, el alcohol carburante, gomas, adhesivos y pegantes, dextrina, glucosa, sorbitol, acetona, manufactura de explosivos, colorantes y como floculante en minería” (Cadavid, 2008).

#### **5.2.6.3. Tratamiento de agua mediante el almidón de yuca**

El uso de materiales naturales de origen vegetal para clarificar las aguas superficiales no es una idea reciente. Las escrituras en sánscrito procedentes de la India y fechadas varios siglos antes de Cristo, hacen la referencia de las semillas del árbol nirmali (*Strychnos potatorum*) utilizadas hace 4000 años para clarificar aguas pluviales turbias. Ahora bien, mediante investigaciones se ha logrado comprobar que las mezclas de sulfato de aluminio con almidón de yuca tienen un potencial de coagulación-floculación y podrían ayudar al tratamiento de las aguas superficiales (Solís et. Al, 2012).

#### **5.2.6.4. Requerimientos nutricionales**

“Se tienen indicios de que la baja fertilidad y aún niveles medios a altos de sales en los suelos son algunos de los factores edáficos que reducen el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas de yuca e inciden sobre la cantidad y la calidad del material de siembra y la capacidad del cultivo para expresar su potencial genético. También, algunos factores físicos del suelo como falta de agregación, pérdida de la estructura, compactación y sellamientos superficiales están influyendo negativamente en este aspecto, debido al mal uso e inadecuado manejo que se les ha dado a los suelos dedicados a este cultivo. La cantidad y la calidad del material de siembra está en función de un conjunto de factores como: vigor de la variedad, tipo de planta, porción del tallo dentro la planta, número de tallos por planta, hábito de crecimiento y ramificación, sistemas de cultivo, edad de la planta, fertilidad del suelo, si se fertiliza o no se fertiliza, competencia de malezas, condiciones climatológicas y contenido de nutrimentos de la estaca madre” (Cadavid, 2008).

#### **5.2.7. *Opuntia ficus indica***

La *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller es una planta de las Cactáceas que se adapta a condiciones restringidas de regiones áridas y semiáridas del país. Los frutos son comestibles

y comercializados en mercados locales y nacionales. Investigaciones realizadas han revelado su alto contenido de componentes químicos en el fruto, importantes desde el punto de vista alimenticio, funcional y tecnológico (Terán et. al, 2015).

#### **5.2.7.1. Características del *Opuntia ficus indica***

Entre las principales características de la Tuna, se destaca que son plantas arborescentes, arbustivas o rastreras, con forma simple o de matorrales. Poseen un tronco leñoso muy definido, con ramificaciones esparcidas o en forma de copa, con tallos y ramas articuladas. Pueden llegar a medir hasta 5 m de alto. Sus partes oblongas llamadas pencas alcanzan los 30 a 50 cm de ancho y 2 cm de espesor, son de color verde opaco. Algunas tienen espinas, cortas, débiles, blancas o amarillas. Poseen flores y frutos, ovalados de color rojo, naranja o amarillo, además, es una planta que no requiere tierras de gran calidad, pues puede crecer en terrenos poco fértiles y de escasa humedad, los cuidados que necesitan son mínimos, sin embargo, se ven afectadas por las bajas temperaturas (Villabona et. Al, 2013).

#### **5.2.7.2. Uso del *Opuntia ficus indica***

El opuntia ficus-indica es, entre las cactáceas, la de mayor importancia agronómica, tanto por sus sabrosos frutos como por sus tallos que sirven de forraje o pueden ser consumidos como verdura, en México, el nopal es importante, ya que se utiliza como forraje, fruta y verdura (Kiesling, 2015).

El uso del nopal en el Estado de Baja California Sur cubre dos propósitos básicos: 1) Exportación a EUA la cual resulta un incentivo importante para el productor dedicado a esta labor debido a la cercanía con la frontera norte del país, 2) recurso forrajero debido a la vocación eminentemente ganadera hacia la producción de leche bovina y caprina en esta región que obliga a la introducción de cultivos eficientes en el consumo de agua entre los que destaca el nopal (Higinio et. Al, 208)

#### **5.2.7.3. Tratamiento de agua mediante *Opuntia ficus indica***

Estudios fitoquímicos realizados a la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) han indicado la presencia de proteínas, carbohidratos, azúcares reductores como glucosa y fructosa, y de metabolitos secundarios tales como saponinas, en forma de triterpenos y flavonoides, y la ausencia de taninos y alcaloides. Muchas especies de cactus hacen parte de la larga lista de sustancias ensayadas para obtener coagulantes naturales alrededor del mundo. En México se extrajo el agente activo de varias especies nativas de cactus (*Opuntia imbricata* y *Opuntia lindheimeri*), los coagulantes naturales obtenidos fueron utilizados para el tratamiento de aguas sintéticas, aguas residuales domésticas y para la remoción de metales pesados. Los resultados obtenidos permitieron concluir, que los cactus pueden utilizarse, como coagulantes por sí solo, o trabajar junto con el alumbre para aumentar su eficiencia (Villabona et. Al, 2013).

#### **5.2.8. Coagulación**

La coagulación consiste en neutralizar la carga, generalmente electronegativa, de los coloides presentes en el agua, quedando estos en condiciones de formar flóculos. Este proceso se consigue introduciendo en el agua un producto químico denominado coagulante, para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión, este hace que las partículas, que anteriormente tendían a repelerse una de otras, sean atraídas las unas a las otras o hacia el material agregado. La coagulación ocurre durante una mezcla rápida o en el proceso de agitación que inmediatamente sigue a la adición del coagulante (Valdés et. Al, 2009).

#### **5.2.9. Métodos de preparación de la solución coagulante**

En la investigación Rodríguez, Oñate, Gutiérrez y Caldera (2012) concluyeron que el quitosano es eficiente para la remoción de hidrocarburos, A y G, SST, SSV, turbidez y color presentes en las aguas asociadas a la producción de petróleo media-no (APPM),

obteniéndose remociones superiores al 80% para la concentración óptima de 4 mg/L, es decir, El quitosano es una alternativa de coagulante para la remoción de altas concentraciones de hidrocarburos presentes en aguas asociadas a la producción de petróleo de alta y baja turbidez.

En la investigación presenta por Gutiérrez, Fuentes, Rodríguez y otro (2015) los resultados demostraron que el quitosano como coagulante representa una alternativa para remover más 76% de turbidez, color, sólido e hidrocarburos presentes en las aguas residuales industriales (petroleras) y aguas sintéticas con alta turbidez.

#### **5.2.9.1. Mecanismos de la coagulación**

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes (Cárdenas, 2000):

- Compresión de la doble capa:

Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se consigue sólo con los iones del coagulante. Existe por otro lado un potencial de atracción o fuerzas de atracción  $Ea$ , entre las partículas llamadas fuerzas de Van der Waals, que dependen de los átomos que constituyen las partículas y de la densidad de estos últimos.

- Absorción y neutralización de cargas:

Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide. El



potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electrocinético - potencial ZETA, este potencial rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua. Después de la teoría de la doble capa la coagulación es la considerada como la anulación del potencial obtenido por adición de productos de coagulación – floculación, en la que la fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es suficiente requiriéndose una energía complementaria necesaria; por ejemplo, realizar la agitación mecánica o hidráulica. Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce a la restabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que el exceso de coagulante es absorbido en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original.

- **Atrapamiento de Partículas dentro de un Precipitado:**

Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un floc, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalente como el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , o Cloruro Férrico  $FeCl_3$ , el floc está formado de moléculas de  $Al(OH)_3$  o de  $Fe(OH)_3$ . La presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales aceleran la formación del precipitado. Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del floc; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida. En otras palabras, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante.

- **Adsorción y Puente:**

En cualquier caso, se obtiene el tratamiento más económico utilizando un polímero aniónico, cuando las partículas están cargadas negativamente. Este fenómeno es explicado por la teoría del “puente”. Las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos

que pueden absorber las partículas coloidales. La molécula de polímero puede así absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas. Por eso se dice que las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas coloidales. Esto puede tener una restabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros.

#### **5.2.9.2. Factores que influyen en la coagulación**

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación, debido a que la interrelación entre cada uno de ellos permite predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua (Cárdenas, 2000).

- **Influencia del pH:**

El pH es una medida de la actividad del ion hidrógeno en una solución, y es igual a:  $\text{pH} = -\log\{\text{H}^+\}$  El pH

Es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua. El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dosis requerida es alta. Para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5 unidades.

- **Influencia de las Sales Disueltas:**

Las sales contenidas dentro del agua ejercen las influencias siguientes sobre la coagulación y floculación:

- Modificación del rango de pH óptimo.



- Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.
- Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

- **Influencia de la Temperatura del Agua:**

La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación. Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

- **Influencia de la Dosis del Coagulante:**

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

- ° Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los micro flóculos es muy escaso, por lo tanto, la turbiedad residual es elevada.

- ° Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de micro flóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada.

- ° La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra.

- **Influencia de Mezcla:**



El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecho y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.

En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 seg., máx.) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los micro flóculos.

- **Influencia de la Turbiedad:**

La turbiedad es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz; y es función del número, tamaño y forma de partículas.

La turbiedad del agua superficial es gran parte debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5  $\mu\text{m}$ . La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo. La variación de la concentración de las partículas permite hacer las siguientes predicciones:

- Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.

- Cuando la turbiedad aumenta se debe adicionar la cantidad de coagulante no es mucho debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario, cuando



la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.

- Cuando la turbiedad es muy alta, conviene realizar una presedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico. (En la Planta de la Atarjea, se realiza este último, en época de alta turbiedad).

- Es siempre más fácil coagular las aguas de baja turbiedad y aquellas contaminadas por desagües domésticos industriales, porque requieren mayor cantidad de coagulante que los no contaminados.

#### **5.2.9.3. Etapas o Fases de la Coagulación**

El proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), en el que se presenta las siguientes etapas (Cárdenas, 2000):

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de Compuestos químicos poliméricos.
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Adsorción mutua de coloides.
- Acción de barrido.

#### **5.2.9.4. Tipos de coagulación**

Se presentan dos tipos básicos de coagulación: Por Adsorción y Por Barrido (Cárdenas, 2000):

- Coagulación Por Adsorción: Se presenta cuando el agua presenta una alta concentración de partículas al estado coloidal; cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los productos solubles de los coagulantes son absorbidas por los coloides y forman los flóculos en forma casi instantánea.

- **Coagulación por Barrido:** Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (presenta baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloides es pequeña; en este caso las partículas son entrampadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico.

### 5.3. MARCO CONCEPTUAL

**Adsorción:** es un concepto que se utiliza en el terreno de la física con referencia al proceso y el resultado de adsorber. Este verbo alude a la atracción y retención que realiza un cuerpo en su superficie de iones, átomos o moléculas que pertenecen a un cuerpo diferente (Pérez y Gardey, 2015)

**Coagulantes:** sustancias que se usan generalmente en el tratamiento de aguas naturales e industriales para aglomerar los sólidos en suspensión. La coagulación consiste en la neutralización de las cargas eléctricas de los coloides que componen una solución (Díaz, 2014)

**Coagulante natural:** Sustancia natural que hace parte del tratamiento de potabilización del agua (Díaz, 2014).

**Floculación:** La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad ().

**Floculantes Orgánicos Naturales:** Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales (Andía, 2000).

**Isótopos:** Se conoce como isótopo a las variedades de átomos que tienen el mismo número atómico y que, por lo tanto, constituyen el mismo elemento aunque tengan

un diferente número de masa. Los átomos que son isótopos entre sí tienen idéntica cantidad de protones en el núcleo y se encuentran en el mismo lugar dentro de la tabla periódica (Pérez y Merino, 2009).

**Prueba de jarras:** Es un método de simulación de los procesos de Coagulación y floculación, realizado a nivel de laboratorio que permite obtener agua de buena calidad, fácilmente separable por decantación; los flóculos formados con diferentes dosis del coagulante dan como resultado valores de turbiedad deferentes (Andía,2000).

**Mezcla rápida:** se efectúa para la inyección de productos químicos dentro de la zona de fuerte turbulencia, una inadecuada mezcla rápida conlleva a un incremento de productos químicos (Andía,2000).

**Sedimentación:** Es el proceso de remoción de partículas más pesadas que el agua por acción de la fuerza de la gravedad. Puesto que la sedimentación de lodos de aguas residuales es un proceso que depende del tiempo, el sistema que involucra la sedimentación de lodos puede analizarse dinámicamente y el conocimiento del comportamiento dinámico de las partículas, es primordial para conocer las ecuaciones de movimiento de las mismas cuando estén sedimentando (Oliva, et. Al, 2008).

**Los fluidos de fractura:** consisten principalmente en miles de metros cúbicos de agua mezclada con arenas de fractura y una variedad de aditivos químicos, son productos formulados con precaución, y las empresas de servicio varían el diseño de estos fluidos, basadas en las características de la formación del reservorio y de los objetivos específicos del operador. La composición del fluido de fractura variará por yacimiento, empresa contratada y pozo (Trombetta, 2012).

**Coloides:** son suspensiones estables, por lo que es imposible su sedimentación natural, son sustancias responsables de la turbiedad y del color del agua. Los sistemas

coloidales presentan una superficie de contacto inmensa entre la fase sólida y la fase líquida (Andía,2000).

**Alcalinidad:** Es un método de análisis, con el que se determina el contenido de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ); carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e hidróxidos de un agua natural o tratada. La alcalinidad tiene relación con el pH del agua (Andía,2000).

#### **5.4. MARCO CONTEXTUAL**

El Municipio de Sahagún está ubicado al NE de Montería, sobre la carretera troncal de occidente, a 69 kilómetros al nororiente de Montería. Sus terrenos son planos, conformando la región conocida como las sabanas de Córdoba. Sahagún se ha convertido en la quinta ciudad más poblada del Departamento de Córdoba, con una población aproximada de 137.527 habitantes (Dane, 2017). Sahagún tiene importantes reservas de gas natural en la zona del corregimiento de Santiago, sobre la ruta de El Viajano a San Marcos, el cual es llevado a las refinerías de Cartagena a través del gasoducto El Jobo-Mamonal.

Los principales arroyos que bañan a la región son Salitral, Trementino, Culumutu, Churri, El Ceibo, La Culebra, que tributan sus aguas al Caño de Aguas Prietas, afluentes del río Sinú. El arroyo de Santiago, con sus afluentes San Antonio, Las Bocas, San Francisco, Santo Domingo; Morrocoy que tributan sus aguas a la Ciénaga de San Marcos. Los arroyos de San Juan, Catalina, Monte Grande, Rodáculo, que tributan sus aguas a la Ciénaga de Caimito. Estas ciénagas alimentan al río San Jorge (Alcaldía de Sahagún,2018).

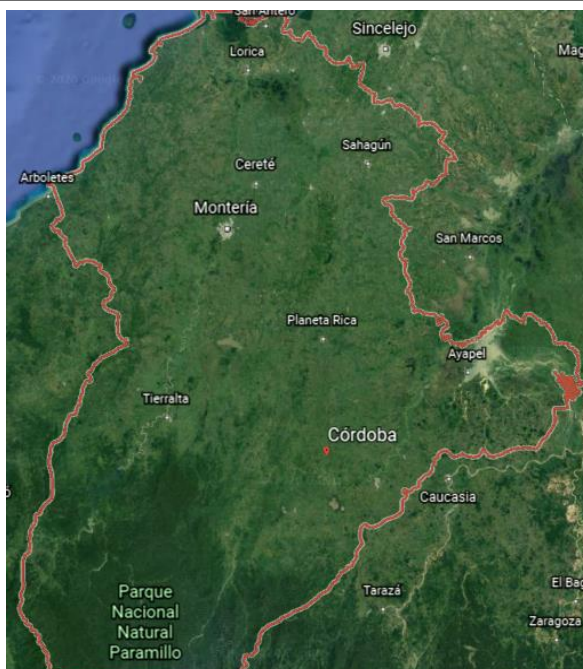
El sistema hidrográfico está limitado por el este con las Lomas de la Vaca, La Olla, Caballo Blanco, San Rafael y Ceno Naranjal y son arroyos que van a desembocar al río Sinú. La expansión de la frontera agrícola ha marcado visiblemente la biodiversidad de las sabanas de Córdoba, pasando de un bosque extenso, tropical y lluvioso a sabanas de pastos especialmente dedicadas a la ganadería y algunas actividades agrícolas.

Los proyectos de Exploración y Explotación de pozos de petróleo y gas, autorizados por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), se encuentran principalmente ubicados

en las Veredas y corregimientos del municipio, principalmente en los corregimientos de Aguas Vivas, El Crucero, La Quebrada, Las Bocas, Santiago Abajo, Los Chibolos, Rodania y San Antonio. En la Veredas de Pocas Aguas, Villanueva, El Orgullo, La Corocita, La Padilla, Los Rosales, La Envidia, Villavicencio, Morrocoicito, y Nube de Agua.

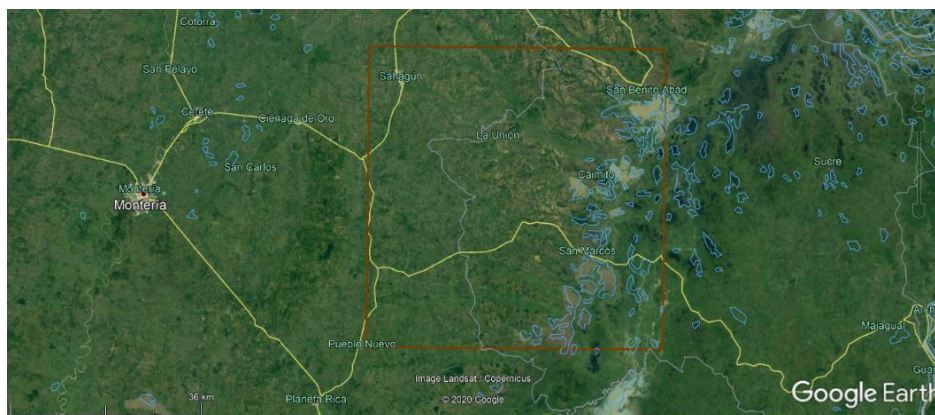
El pozo sobre el cual se tomará la muestra de agua tiene por nombre Clarinete-5, el cual tiene como vereda principal Rodania y otros caseríos sobre la vía de influencia: Castañal, las piñuelas, Oviedolandia, Piñalito y Rincón, sin embargo, el área de bloque donde Canacol ha venido perforando durante los últimos 4 años, aproximadamente, es de 22.600 Ha.

**Imagen 1** - Localización Geográfica del departamento del Córdoba, Colombia



Fuente: Tomada a partir de Google Earth, 2020

**Imagen 3** - Localización Geográfica del municipio de Sahagún,  
Córdoba



Fuente: Tomada a partir de Google Earth, 2020

## **5.5. MARCO LEGAL**

La constitución política de Colombia es considerada el mayor órgano regulador del país, la cual establece los lineamientos para el uso, explotación y conservación de los recursos naturales, así mismo, esta, junto con leyes, decretos y resoluciones son las encargadas de legislar la forma correcta en la cual el estado y las personas naturales deben comportarse frente a estos recursos.



**Tabla 1** –Normatividad colombiana relacionada con el recurso agua

| TEMÁTICA                          | LEYES-DECRETOS                  | CONTENIDO                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Constitución política de Colombia | Constitución colombiana de 1991 | Art 79: Establece el derecho el cual tienen todas las personas a gozar de un ambiente sano.<br><br>Art 80: El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible. |
| AGUA                              | Ley 373 de 1997                 | se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua                                                                                                                                                                  |
|                                   | Decreto 1594 de 1984            | Usos del agua y residuos líquidos, reglamentó la prevención y control de la contaminación al recurso.                                                                                                                             |
|                                   | Decreto 475 de 1998             | Se regulan las actividades relacionadas con la calidad del agua potable para consumo humano.                                                                                                                                      |
|                                   | Decreto 1575 de 2007            | Se establece el sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.                                                                                                                                  |
|                                   | Decreto 1076 de 2015            | Se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Explica la Protección y aprovechamiento de las aguas.                                                                                       |
|                                   | Resolución 1096 de 2000         | Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico, RAS                                                                                                                              |

|  |                         |                                                                                                                                      |
|--|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Resolución 2115 de 2007 | características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano |
|  | Resolución 0330 de 2017 | Se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico                                                  |

Fuente: Min Ambiente y Decreto Único 1076, Adaptada por autores, 2020

**Tabla 2** – Normatividad colombiana concerniente a Metales Pesados

|                 |                         |                                                                                                                                               |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| METALES PESADOS |                         |                                                                                                                                               |
| METALES PESADOS | Resolución 4506 de 2013 | Por la cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano y se dictan otras disposiciones. |

Fuente: Min Ambiente y Decreto Único 1076, Adaptada por autor, 2020

**Tabla 3** – Normatividad colombiana dirigida a los Vertimientos

|              |                      |                                                                                                                      |
|--------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VERTIMIENTOS |                      |                                                                                                                      |
|              | Decreto 3930 de 2010 | Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los |



|  |                         |                                                                                                                                                                                                                               |
|--|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                         | vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.                                                                                                                                                            |
|  | Resolución 631 de 2015  | Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. |
|  | Resolución 0883 de 2018 | Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas, y se dictan otras disposiciones”                                                 |

Fuente: Min Ambiente y Decreto Único 1076, Adaptada por autor, 2020

### **Normativa internacional**

Louisiana 29B: normatividad norte americana de la cual se toman los parámetros fisicoquímicos que serán medidos a lo largo de la prueba. Esta norma define los límites máximos permisibles para disposición de suelos y agua provenientes de la actividad industrial. Esta normativa es aplicada en Colombia para la comparación de los parámetros fisicoquímicos en contingencias con hidrocarburos

EPA part 503 Biosolids rule: guía de la agencia de protección ambiental norteamericana en la cual se establecen los rangos y composición necesaria de un biosólido municipal para poder ser aprovechado. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha sido referente de la normativa ambiental alrededor del mundo, incluyendo Colombia.

RAS 2017: título E: el cual incluye unidades de tratamiento, caracterización y clasificación de aguas residuales usadas en el tratamiento de las ARI de GTEC.

## **5.6. MARCO INSTITUCIONAL**

### **Misión de Canacol Energy Colombia S.A**

Es una empresa que explora, produce y comercializa hidrocarburos en forma eficiente, socialmente responsable, apoyada en nuestra gente y comprometidos con el desarrollo de todos los sitios donde operamos en un marco de respeto y protección a nuestro entorno, acorde con las políticas establecidas por el gobierno, nuestra casa matriz y generando bienestar a nuestros grupos de interés (accionistas, socios, empleados y vecinos), (Bacca y Vacca, 2011)

### **Visión de Canacol Energy Colombia S.A:**

Ser dentro de los próximos cinco años una empresa líder en el sector de hidrocarburos, reconocida nacional e internacionalmente por sus operaciones responsables, rentables, seguras, limpias y transparentes dentro de un entorno de respeto y confianza en nuestra organización, asociados y comunidades vecina (Bacca y Vacca, 2011).

### **Políticas de Canacol Energy Colombia S.A:**

En Canacol Energy respaldamos e implementamos un modelo sostenible para nuestro entorno social. El modelo busca la convivencia y la armonía con las comunidades del área de influencia de nuestras operaciones teniendo en cuenta la eficiencia, participación social, creación de alianzas públicas y privadas, sostenibilidad, transparencia e innovación y respeto. Estos principios reflejan nuestros valores compartidos como una Corporación mediante la adopción de un enfoque de colaboración, actuando de una manera abierta y responsable, contribuyendo al desarrollo, y el respeto de los derechos humanos, trabajamos

para ser un inversionista bienvenido y valorado por las comunidades (Canacol Energy Colombia, 2020).

### **Principales objetivos de Canacol Energy Colombia S.A:**

En Canacol Energy tenemos como uno de nuestros objetivos más importantes generar valor a todos nuestros grupos de interés. Los cuales están comprendidos por las comunidades del área de influencia de nuestra operación, nuestros accionistas, empleados, gobierno y la ciudadanía en general. Operar de manera segura, responsable y respetuosa con el medio ambiente hace posible alcanzar nuestros objetivos (Canacol Energy Colombia, 2020).



## **6. MARCO METODOLÓGICO**

### **6.1. LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Este proyecto se enmarca en la línea de investigación Sostenibilidad y Gestión Ambiental adscrita al programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la facultad de Ingenierías y tecnologías, además se ubica en la sublínea de investigación Gestión del Recurso Hídrico.

### **6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación es explicativa con un nivel de investigación correlacional a un nivel de investigación longitudinal ya que tiene como propósito evaluar las relaciones que existen entre los coagulantes elaborados a partir del almidón de yuca y *opuntia ficus indica*.

### **6.3. POBLACIÓN DE ESTUDIO**

El área de explotación donde se encuentran ubicados los Pozos explotados por parte del bloque donde Canacol es de, aproximadamente, es de 22.600 Ha. Y se encuentran las comunidades de Castañal, las piñuelas, Oviedolandia, Piñalito y Rincón, Municipio de Sahagún, Córdoba con una población o número de habitantes de 12000 hb.

### **6.4. MUESTRA POBLACIONAL**

Correspondiente a las aguas residuales que salen de los cortes de perforación del taladro para realizar los siguientes parámetros DBO, DQO, turbidez, pH, metales como, Mg, Fe y Pb.

## **6.5. DISEÑO EXPERIMENTAL**

Diseño experimental que se obtuvo fue uno experimental con tres repeticiones y tres tratamientos correspondientes a las aguas residuales provenientes de perforación de petróleo y gas, con diferentes pH ya que dicha variable no se controló, se realizaron tres tratamientos y al último fue al que se le realizaron tres repeticiones. A partir de los datos obtenidos se realizó un estudio de medias, desviación estándar para que a partir de estos realizar el análisis de varianza con soporte en la prueba de Dunnett, ya que dicha prueba es utilizada para realizar comparaciones planeadas, donde se compara cada uno de los grupos (en nuestro caso cada jarra estudiada en cada uno de los tratamientos) con respecto a un grupo control, a través de este procedimiento se detecta los tratamientos que presentan condiciones eficaces con respecto al control (Cardoso, 2008).

## **6.6. DESARROLLO METODOLOGICO**

La metodología utilizada para el desarrollo de la investigación, se ejecutó en forma sucesiva acorde a la manera en que se encuentran establecidos los objetivos planteados. Por consiguiente, se manifiestan las etapas realizadas

**Etapas 1:** Caracterizar fisicoquímicamente (antes de la aplicación del coagulante) las muestras de aguas residuales provenientes de pozos de perforación y gas, mediante pruebas de pH, Turbidez, DQO, DBO5 y metales pesados, estas actividades se realizaron de acuerdo a los métodos estándar del Instituto de Higiene ambiental – IHA- SAS (2018).

### **▪ Actividad 1.1. Punto de muestreo**

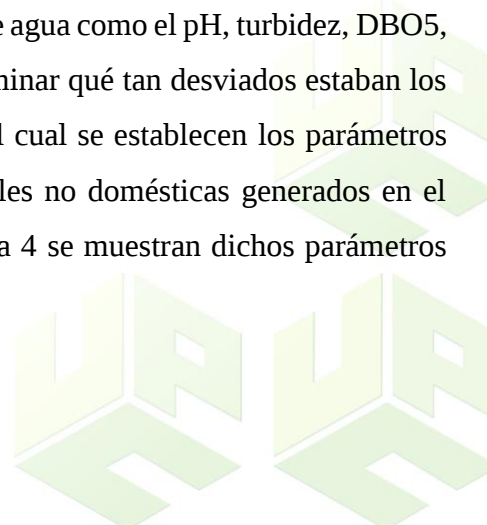
Descripción: se escogió y se georreferenció por medio de GPS el lugar donde se tomaron las muestras de agua residual para realizarle el análisis de los parámetros de estudio.

- **Actividad 1.2. Toma de muestra**

Descripción: Se realizaron tres muestreos simples en diferentes intervalos de tiempos en el vertimiento de aguas de producción de petróleo y gas. Las muestras se recolectaron en recipientes plásticos de 30 L con el fin de determinar los parámetros en estudio de turbidez, DQO, DBO5, pH y metales pesados conservadas con ácido Clorhídrico y ácido sulfúrico, según lo establecido en el instructivo del IDEAM para la toma de muestras de aguas residuales (2007). Las dos primeras muestras se trasladaron al laboratorio y se refrigeraron a 4°C para su conservación en el laboratorio de aguas de la Universidad De Córdoba. Sin embargo, la tercera muestra fue trasladada al laboratorio de mecánica de fluidos de la Universidad Popular del Cesar. Con el fin de evaluar la efectividad del *opuntia ficus indica* y el almidón de yuca como coagulantes naturales.

- **Actividad 1.3. Identificar las propiedades fisicoquímicas de la muestra de agua residual mediante la realización de la prueba pH, Turbiedad, DBO5, DQO y metales pesados (Fe,Pb,Hg).**

Descripción: se determinaron parámetros en la muestra de agua como el pH, turbidez, DBO5, DQO y metales pesados (Fe,Pb,Hg). Con el fin de determinar qué tan desviados estaban los valores con respecto a la Resolución 0631 de 2015 en el cual se establecen los parámetros monitoreados y sus valores límites de las aguas residuales no domésticas generados en el sector de la elaboración de productos lácteos, En la tabla 4 se muestran dichos parámetros con sus respectivos valores límite.



**Tabla.4** *Valores límites permisibles de parámetros físicos-químicos en los vertimientos puntuales de aguas residuales no doméstica ARnD procedentes de aguas asociadas con hidrocarburos.*

| Parámetros | Valores Límite – Res. 0631 de 2015 |
|------------|------------------------------------|
| pH         | 6.00 – 9.00                        |
| Turbidez   | NR                                 |
| Mercurio   | 0,01 mg/L                          |
| Hierro     | 3 mg/L                             |
| Plomo      | 0,20 mg/L                          |
| DQO        | 400 mg O <sub>2</sub> /L           |
| DBO5       | 200 mg/L                           |

**Nota.** Fuente: Resolución 0631 2015, Adaptada por autor, 2022

De la siguiente manera:

- pH (4500-H<sup>+</sup>): El pH se determinó a través del método potenciométrico, usando un pH-metro (Orión Research 611), con electrodo de vidrio, calibrado con soluciones buffers de pH 4 y 7. Se midieron 50 ml de muestra en un matraz de 250 ml, se introdujo el electrodo del pH-metro hasta obtener la lectura constante.
- Turbidez (2130B): Para medir la turbidez se tomaron 25 ml de la muestra previa agitación y se llevaron al turbidímetro (Hatch 2100AN), seleccionando el método 750, a una longitud de onda de 450 nm, calibrado con el blanco (agua destilada), arrojando la medida de la turbidez.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO) (5220C): Se envió 100 ml al laboratorio de la Universidad de Córdoba refrigerado  $\leq 6^{\circ}$ .



- Demanda biológica de oxígeno (DBO) (5210B): Se envió 1000 ml al laboratorio de la Universidad de Córdoba adicionando H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hasta pH 2 para conservación de la muestra.
- Hierro (3030-G; SM 3111-B): Se envió 1000 ml al laboratorio de la Universidad de Córdoba, se adiciona HNO<sub>3</sub> hasta pH 2, refrigerar,  $\leq 6^{\circ}\text{C}$ .
- Plomo (3030-G; SM 3111-B): Se envió 1000 ml al laboratorio de la Universidad de Córdoba, se adiciona HNO<sub>3</sub> hasta pH 2, refrigerar,  $\leq 6^{\circ}\text{C}$ .
- Mercurio ng/L CVAAS-Zeeman: Se envió 1000 ml al laboratorio de la Universidad de Córdoba, se adiciona HNO<sub>3</sub> hasta pH 2, refrigerar,  $\leq 6^{\circ}\text{C}$ .

**Etapas 2:** Determinar la dosis óptima de coagulantes naturales a base de almidón extraído de la yuca y *Opuntia ficus indica* en el proceso de coagulación-floculación mediante el ensayo de prueba de jarras. Estas actividades se realizaron similar al método de Padilla Arevalo y Sara Morano (2020), Maldonado (2018), Bravo (2017) Tejada (2014) & Miranda (2012).

**Actividad 2.1.** preparación de la solución coagulante de *Opuntia ficus indica*

**Descripción:** se recolectará las cantidades necesarias de yuca y Opuntia Ficus Indica para posteriormente procesarla.

**Descripción:** Para extraer el coagulante en polvo se aplicó un procedimiento similar al sugerido por Almendárez., (2004). La metodología general involucra cinco etapas, las cuales consisten en reducción inicial de tamaño, secado, molienda y tamizado.

La planta del cactus fue obtenida en la zona rural de la ciudad de Valledupar. Un saco cuyas dimensiones son variadas y cuyo peso total era 15 kg, dichas pencas son lavadas y peladas para retirarle la capa exterior (cutícula). La pulpa libre de cáscara se cortó en pequeñas tiras,

las cuales, de inmediato, serán sometidas a un proceso de secado durante 48 horas continuas a una temperatura de  $60 \pm 1$  °C. A consecuencia de la deshidratación, las tiras sufrieron una disminución considerable de su tamaño, tornándose frágiles y quebradizas. Se utilizó un mortero manual para triturarlas con el objeto de reducir el tamaño de partícula del material; como producto se obtiene un polvo de color amarillo. El polvillo se tamizó durante 5 minutos mediante una serie de tamices normalizados con el fin de garantizar que las partículas utilizadas en la etapa posterior tuvieran un diámetro de partícula inferior a 0.5 mm para favorecer la extracción de pigmentos. El polvo adquirió un color marfil, el cual se almacenó en un desecador a temperatura ambiente (alrededor de 30°C) para ser utilizado en pruebas posteriores Villabona., A (2013).

- **Actividad 2.2.** Proceso de obtención del almidón de yuca

Para la obtención del almidón de yuca se aplicará un proceso similar al de Jiménez y Martínez (2016) en su tesis titulada “Obtención y caracterización física y química del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad Guayape.” Y al de Alcocer et. Al., (2018) en su tesis titulada “Almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas”

La metodología cuenta con varias etapas que deben hacerse en orden jerárquico, cuyo orden es: pesado y lavado, pelado, picado y macerado, molido, filtrado y sedimentado, decantado y luego reposo, se debe repetir lo anterior para luego centrifugarlo y secarlo, pulverizarlo y luego envasarlo.

- **Descripción:** Para la obtención de dicho almidón, se pesará la cantidad de yuca necesaria en una balanza y se lavará, a esto se le quitará la cascará y se partirá en porciones aproximadas de 2 cm x 2 cm x 1.2 cm, las cuales serán depositadas en un recipiente con agua a una cierta temperatura de 40 °C aproximadamente (el volumen del agua debe pesar aproximadamente 6 veces el peso del tubérculo). Estas porciones, posteriormente, serán molidas en una licuadora a prueba de impacto hasta que se consiga su completa desintegración. El resultado de este proceso deberá ser lavado tres veces con la misma agua de remojo sobre un tamiz



número 100. El material pasado por el tamiz se dejará sedimentar por un periodo de 3 horas (la materia que se retuvo en el tamiz se eliminará). Transcurrido el tiempo de reposo por decantación, se debe separar el sobrenadante, y el sedimento obtenido se dejará reposar en refrigeración durante la noche. Al día siguiente se repetirá la operación para eliminar el sobrenadante y, posteriormente, el sedimento se centrifugará a 850 r. p. m. durante 15 minutos. La pasta obtenida se secará en una estufa a aproximadamente 40 °C durante 24 horas, y luego se pulverizará en un mortero con pistilo en cantidades de 5 g. Por último, se envasará en recipientes de plástico (PET).

▪ **Actividad 2.3.** Proceso de obtención del opuntia ficus indica

Para extraer el coagulante en polvo se aplicó un procedimiento similar al sugerido por Almendárez., (2004). La metodología general involucra cinco etapas, las cuales consisten en reducción inicial de tamaño, secado, molienda y tamizado, extracción de clorofila, y eliminación de solvente.

La planta del cactus fue obtenida en la zona rural de la ciudad de Valledupar. Un bulto de pencas, que medían rangos de valores diferentes y con un peso total de 20 kg son lavadas y peladas para retirarle la capa exterior (cutícula). La pulpa libre de cáscara se cortó en pequeñas tiras, las cuales, de inmediato, serán sometidas a un proceso de secado durante 48 horas continuas a una temperatura de  $60 \pm 1$  °C. A consecuencia de la deshidratación, las tiras sufrieron una disminución considerable de su tamaño, tornándose frágiles y quebradizas. Se utilizó un mortero manual para triturarlas con el objeto de reducir el tamaño de partícula del material; como producto se obtiene un polvo de color amarillo.

El polvillo se tamizo durante 5 minutos mediante una serie de tamices normalizados con el fin de garantizar que las partículas utilizadas en la etapa posterior tuvieran un diámetro de partícula inferior a 0.5 mm para favorecer la extracción de pigmentos. De los "finos" obtenidos, 20.23 Villabona., A (2013).

Para la preparación de la solución coagulante. La penca del cactus es lavada y posteriormente cortada en pequeñas tiras (tamaño promedio 10 cm).

- **Actividad 2.4.** Preparación de las soluciones de los coagulantes *opuntia ficus indica* y almidón de yuca.
- **Descripción:** se prepararon ambos coagulantes a una concentración de 1%, es decir, se adicionó 1 gramo de cada uno de los coagulantes en 1000 ml de agua, usando una metodología similar a la de Padilla Arévalo, O. G., & Zárate Morán, J. R. (2020). Maldonado Ushiñahua, A. R. (2018).
- **Actividad 2.5.** Proceso de coagulación para determinación de dosis optima

Descripción: la determinación de la de la dosis optima con ambos componentes naturales se llevará a cabo el ensayo de Prueba de Jarra;

Se agrega 1 L agua residual, a cada uno de los seis vasos de precipitado de 1.000 ml, tomaremos uno de estos como control. Se procede a agregar el coagulante, al iniciar el mezclado rápido (100 rpm, alrededor de 1 min); se agregará en cinco de los vasos de precipitado las diferentes dosis de coagulante usando una pipeta. Se procederá luego al mezclado lento (30 rpm, durante 20 min), para finalizar con la fase de sedimentación (30 min). Los ensayos se realizarán varias veces, a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Para el *opuntia ficus indica* y el almidón de yuca se realizaron tres tratamientos con diferentes concentraciones y en el último tratamiento se realizaron tres repeticiones. En la primera y segunda corrida tanto como al almidón de yuca y al *opuntia ficus indica* se usaron las mismas concentraciones, es decir, en la corrida uno: 5, 30, 55, 80, 105 mg/L, corrida dos: 5, 10, 15, 20 y 25 mg/L.

Ahora bien, en la tercera corrida con ambos coagulantes se utilizaron concentraciones diferentes, el *Opuntia ficus indica* se trabajó con 5, 8, 12, 15, 20 mg/L, mientras que,



el almidón de yuca se trabajó con 6, 7, 8, 9, 10 mg/L en estos intervalos y con las repeticiones generadas pudimos encontrar la dosis óptima, la cual fue 20 mg/L para el *Opuntia ficus indica* y en el almidón de yuca fue de 8 mg/L.

Los parámetros fisicoquímicos de cada una de las muestras se medirán antes y después del tratamiento. Luego del proceso de sedimentación, las muestras se filtrarán. Para determinar la dosis óptima, se considerará la menor concentración del coagulante que removió el mayor valor de turbidez en las jarras con las muestras de agua residual. El método empleado es similar Caldera, Y., Clavel, N., Briceño, D., Nava, A., Gutiérrez, E., & Mármol, Z. (2009). Quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de producción de petróleo. Boletín del Centro de Investigaciones biológicas

**Etapas 3:** Evaluar la efectividad de los coagulantes para la determinación de la remoción en cuanto a los parámetros fisicoquímicos y los metales pesados.

▪ **Actividad 3.1** Eficiencia del coagulante (actividad coagulante)

La eficiencia del proceso será determinada mediante el porcentaje de remoción de turbidez de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{t_o - t_f}{t_o} \times 100$$

$t_o$  = turbidez inicial

$t_f$  = turbidez final

▪ **Actividad 3.2** Comparación del porcentaje de remoción de acuerdo con la normatividad ambiental vigente

Estas actividades se realizarán en base al protocolo de monitoreo de agua y guías del IDEAM sobre alcalinidad, pH y metales pesados.

A partir de la tabulación de los análisis realizados en los laboratorios; se comparará la información con la normatividad que establece los valores máximos permitidos con relación al uso del recurso hídrico, esta se encuentra referenciado en el Decreto 3930 del 2010, Resolución 0631 del 2015 y el Decreto 1594 del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076 de 2015 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; esta comparación fue con la tabla:

**Tabla 5-** Niveles permisibles y valores a monitorear en los vertimientos de aguas de aguas residuales no domesticas – ArnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades mineras.

| Parámetros       | Valores Límite – Res. 0631 de 2015 |
|------------------|------------------------------------|
| pH               | 6.00 – 9.00                        |
| Turbidez         | NR                                 |
| Mercurio         | 0,01 mg/L                          |
| Hierro           | 3 mg/L                             |
| Plomo            | 0,20 mg/L                          |
| DQO              | 400 mg O <sub>2</sub> /L           |
| DBO <sub>5</sub> | 200 mg/L                           |

**Nota.** Fuente: Resolución 0631 2015, Adaptada por autor, 2022

## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas fisicoquímicas realizadas de cada uno de los parámetros en estudio y los rangos óptimos utilizados para los coagulantes naturales *Opuntia ficus indica* y almidón de yuca. Al igual que los parámetros para evaluar el desempeño en la remoción de la carga contaminante del agua residual proveniente de pozo de perforación de petróleo y gasen los vertimientos puntuales de aguas residuales no doméstica ARnD procedentes de aguas asociadas con hidrocarburos.

### 7.1 Caracterizar físico y químicamente los parámetros de Turbidez, DQO, DBO, pH y metales pesados (Mg, Fe y Pb.) presentes en una muestra de agua residual proveniente de pozos de perforación de petróleo y gas.

Las características físico y químicas en el agua de residuales provenientes de pozo en perforaciones de petróleo y gas, donde se observa una diferencia en los parámetros estudiados. Comparando estos resultados con la normativa ambiental vigente para os vertimientos puntuales de aguas residuales no doméstica ARnD procedentes de aguas asociadas con hidrocarburos (Resolución 0631 del 2015).

**Tabla 6-** Niveles permisibles y valores obtenidos en los vertimientos de aguas de aguas residuales no domesticas – ArnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades mineras.

| PARÁMETROS | VALOR OBTENIDO | VALORES LÍMITES - Res. 0631 DE 2015 |
|------------|----------------|-------------------------------------|
| pH         | 7.33           | 6.00 – 9.00                         |
| Turbidez   | 14500          | NR                                  |
| DBO5       | 1725           | 200.00 mg O2/L                      |



|          |           |                             |
|----------|-----------|-----------------------------|
| DQO      | 2986.67   | 400.00 mg O <sub>2</sub> /L |
| Hierro   | 14930     | 3,00 mg/L                   |
| Plomo    | <LC(0.10) | 0,20 mg/L                   |
| Mercurio | <LC(0.10) | 0,01 mg/L                   |

**Fuente:** Laboratorio de la Universidad de Córdoba, 2022

En términos generales se puede observar que los parámetros DQO, DBO<sub>5</sub>, Hierro, no cumplen con los límites máximos permisibles según la legislación colombiana Resolución 0631 de 2015, por lo que se evidencia que las aguas provenientes de la actividad extractiva presentan una enorme concentración de contaminantes como se observa en la caracterización inicial realizada.

También se observó que el pH si cumplen con los límites máximos permisibles según la legislación colombiana Resolución 0631 de 2015.

Además se pudo percibir la presencia del Plomo y el Mercurio no son significativa, es decir, <LC(0.10) cumpliendo con el valor máximo permisible.

## **7.2 Determinación de la Dosis Optima de los Coagulantes naturales a base de almidón extraído de la yuca y *opuntia ficus indica*.**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a diferentes concentraciones, en los tratamientos y corridas realizadas, las cuales aportaron el rango óptimo de la dosis del coagulante.

Para determinar el rango de mejor comportamiento se realizaron tres ensayos y tres repeticiones con diferentes concentraciones de la solución coagulante; la dosis óptima se estableció teniendo en cuenta la eficacia en la remoción con respecto a la turbiedad.

A continuación, se presentarán las tablas con cada uno de los valores de turbiedad hallados y en los cuales se observó que el coagulante obtuvo mayor eficiencia.

### 7.2.1 Determinación de la dosis óptima para el *Opuntia ficus indica*.

Para este coagulante orgánico el rango de mejor comportamiento fluctuó entre 12 y 15 mg/L al 1% para todas las concentraciones estudiadas, sin embargo, el mejor comportamiento se obtuvo con 15 mg/L. En ese sentido, Padilla Arévalo, O. G., & Zárate Morán, J. R. (2020) obtuvieron buenos resultados en su proceso de tratamientos de aguas al aplicar una concentración de solución al 1%. La dosis óptima para la remoción de turbiedad y color respecto al coagulante fue de 5 mg/L.

**Tabla 7.-** Evaluación de turbiedad con el coagulante natural *opuntia ficus indica* en la corrida 1

| Evaluación 1 – Valores de Turbiedad Alcanzada (NTU) |        |         |        |         |          |         |
|-----------------------------------------------------|--------|---------|--------|---------|----------|---------|
| DOSIS                                               | 5 mg/l | 30 mg/l | 55 mg/ | 80 mg/l | 105 mg/l | Control |
| Inicial (NTU)                                       | 14.500 | 14.500  | 14.500 | 14.500  | 14.500   | 14.500  |
| Final (NTU)                                         | 110    | 170     | 300    | 650     | 1.200    | 3.400   |
| Remoción                                            | 14.390 | 14.330  | 14.200 | 13.850  | 13.300   | 11.100  |

Fuente: Autores, 2022

**Tabla 8.-** Evaluación de turbiedad con el coagulante natural *opuntia ficus indica* en la corrida 2

| Evaluación 2 – Valores de Turbiedad Alcanzada (NTU) |        |         |         |         |         |         |
|-----------------------------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| DOSIS                                               | 5 mg/l | 10 mg/l | 15 mg/l | 20 mg/l | 25 mg/l | control |
| Inicial (NTU)                                       | 14.500 | 14.500  | 14.500  | 14.500  | 14.500  | 14.500  |
| Final                                               | 112    | 89,6    | 73,2    | 99,9    | 102     | 3.600   |

|          |        |          |          |          |        |        |
|----------|--------|----------|----------|----------|--------|--------|
| (NTU)    |        |          |          |          |        |        |
| Remoción | 14.388 | 14.410,4 | 14.426,8 | 14.400,1 | 14.398 | 10.900 |

Fuente: Autores, 2022

**Tabla 9-** Evaluación de turbiedad con el coagulante natural *opuntia ficus indica* en la corrida 3

Evaluación 3 – Valores de Turbiedad Alcanzada (NTU)

|               |        |        |          |          |         |         |
|---------------|--------|--------|----------|----------|---------|---------|
| DOSIS         | 5 mg/l | 8 mg/l | 12 mg/l  | 15 mg/l  | 20 mg/l | Control |
| Inicial (NTU) | 14.500 | 14.500 | 14.500   | 14.500   | 14.500  | 14.500  |
| Final (NTU)   | 110    | 92     | 85,4     | 71,6     | 99      | 3.600   |
| Remoción      | 14.390 | 14.408 | 14.414,6 | 14.428,4 | 14.401  | 10.900  |

Fuente: Autores, 2022

Las tablas 7,8 y 9 se muestra el comportamiento del *opuntia ficus indica* durante los ensayos para obtener la dosis óptima, se puede observar que para las diferentes concentraciones la dosis de mejor comportamiento fue la de 15 mg/L donde se obtuvo el mejor resultado frente a la turbiedad.

### 7.2.2 Determinación de la dosis óptima para el coagulante natural a base de almidón de yuca

Para este coagulante orgánico el rango de mejor comportamiento fluctuó entre 7 y 10 mg/L al 1% para todas las concentraciones estudiadas, sin embargo, el mejor comportamiento se obtuvo con 8 mg/L. En ese sentido Maldonado Ushiñahua, A. R.

(2018) En su investigación Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas evaluarón el almidón de yuca a distintas concentraciones (1%, 2%, 3% 4% 5% 6%). La concentración óptima encontrada en el conjunto de ensayos realizados en la prueba de jarras, fue de 1%.

**Tabla 10-** Evaluación de turbiedad con el coagulante natural a base de almidón de yuca en la corrida 1

| Evaluación 1 – Valores de Turbiedad Alcanzada (NTU) |          |          |          |         |          |         |
|-----------------------------------------------------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|
| DOSIS                                               | 5 mg/l   | 30 mg/l  | 55 mg/l  | 80 mg/l | 105 mg/l | control |
| Inicial (NTU)                                       | 14.500   | 14.500   | 14.500   | 14.500  | 14.500   | 14.500  |
| Final (NTU)                                         | 135,7    | 350,6    | 983,4    | 1.126   | 1.500    | 3.200   |
| Remoción                                            | 14.364,3 | 14.149,4 | 13.516,6 | 13.374  | 13.000   | 11.300  |

Fuente: Autores, 2022

**Tabla 11-** Evaluación de turbiedad con el coagulante natural a base de almidón de yuca en la corrida 2

| Evaluación 2 – Valores de Turbiedad Alcanzada (NTU) |        |         |         |          |         |         |
|-----------------------------------------------------|--------|---------|---------|----------|---------|---------|
| DOSIS                                               | 5 mg/l | 10 mg/l | 15 mg/l | 20 mg/l  | 25 mg/l | control |
| Inicial (NTU)                                       | 14.500 | 14.500  | 14.500  | 14.500   | 14.500  | 14.500  |
| Final (NTU)                                         | 420    | 345     | 600     | 870,6    | 1600    | 3.400   |
| Remoción                                            | 14.080 | 14.155  | 13.900  | 13.629,4 | 12.900  | 11.100  |

Fuente: Autores, 2022

**Tabla 12-** Evaluación de turbiedad con el coagulante natural a base de almidón de yuca en la corrida 3

| Evaluación 3 – Valores de Turbiedad Alcanzada (NTU) |          |          |        |        |          |         |
|-----------------------------------------------------|----------|----------|--------|--------|----------|---------|
| DOSIS                                               | 6 mg/l   | 7 mg/l   | 8 mg/l | 9 mg/l | 10 mg/l  | control |
| Inicial (NTU)                                       | 14.500   | 14.500   | 14.500 | 14.500 | 14.500   | 14.500  |
| Final (NTU)                                         | 412,2    | 380,1    | 311    | 340    | 348,7    | 3.700   |
| Remoción                                            | 14.087,8 | 14.119,9 | 14.189 | 14.160 | 14.151,3 | 10.800  |

Fuente: Autores, 2022

Las tablas 10,11 y 12 se muestra el comportamiento del almidón de yuca durante los ensayos para obtener la dosis óptima, se puede observar que para las diferentes concentraciones la dosis de mejor comportamiento fue la de 8 mg/L donde se obtuvo el mejor resultado frente a la turbiedad.

### **7.3 Evaluación de la efectividad de los coagulantes para la determinación de la remoción en cuanto a los parámetros fisicoquímicos y los metales pesados.**

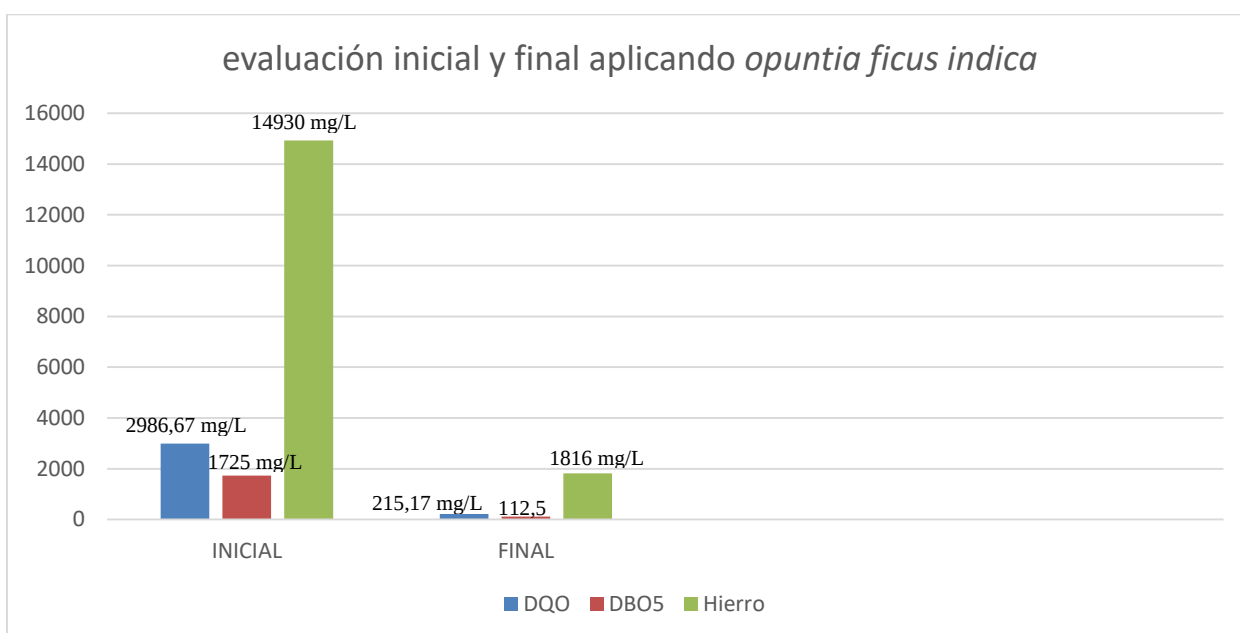
A continuación, se realiza el análisis y la discusión de los resultados de los tratamientos realizados para aguas residuales provenientes de perforaciones hidráulicas. En primer lugar, se destaca la eficiencia en el tratamiento con los coagulantes naturales *Opuntia ficus indica* y Almidón de yuca. Eficiencias evaluadas para la reducción de la DQO, DBO, Metales pesados (Pb, Fe, Hg) y pH.

#### **7.3.1 Eficiencia del *Opuntia ficus indica* durante el tratamiento para aguas residuales provenientes de perforaciones hidráulicas.**

Se trabajó al 1% y con concentraciones de 5 mg/L hasta 105 mg/L, cabe resaltar que el pH no fue tomado como una variable controlada, sin embargo, se midió en cada una de las corridas.

7.3.1.1 Remoción de los parámetros estudiados, Metales pesados (Pb, Fe, Hg), DQO, DBO, y pH a partir de la dosis optima hallada con el coagulante natural *Opuntia ficus indica*.

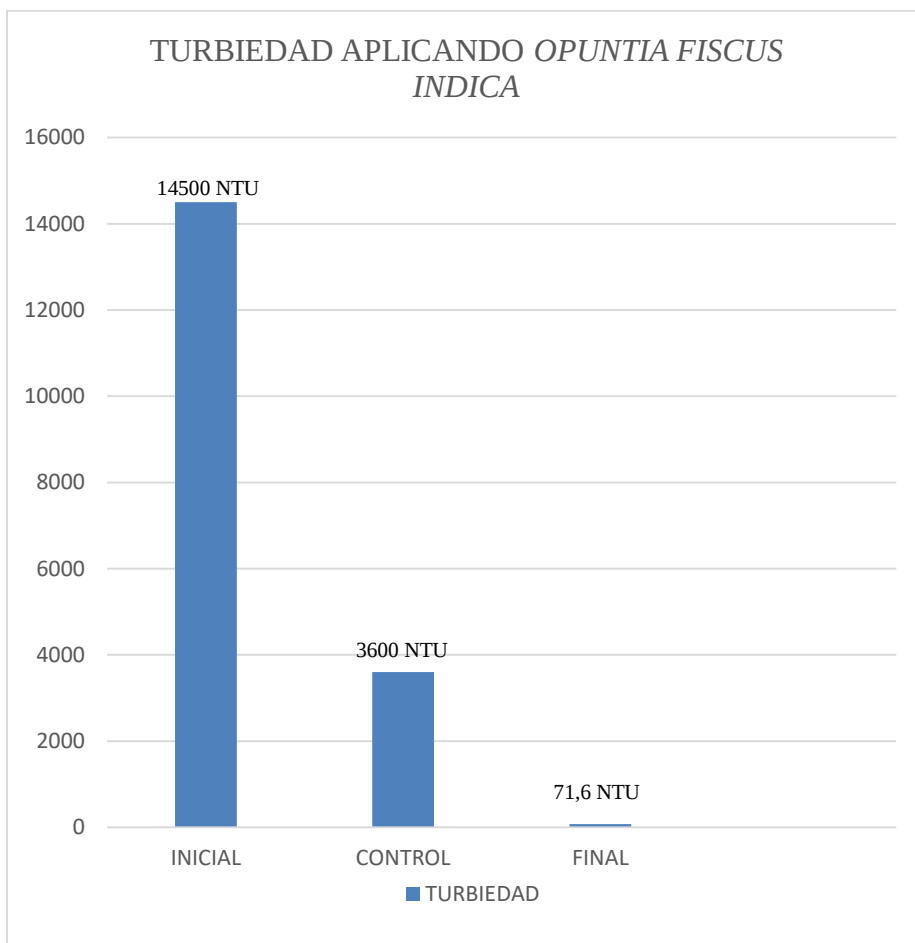
**Gráfica 1.** Evaluación inicial y final (DQO, DBO y HIERRO) aplicando *Opuntia ficus indica*.



Fuente: Autores, 2022



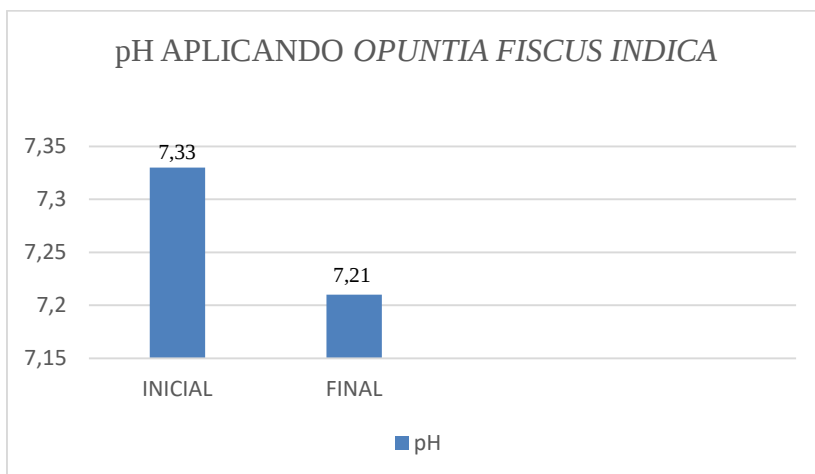
**Gráfica 2.** Evaluación de la turbiedad aplicando *Opuntia ficus indica*.



Fuente: Autores, 2022



**Gráfica 3.** Evaluación inicial y final del pH aplicando *Opuntia ficus indica*.



Fuente: Autores, 2022

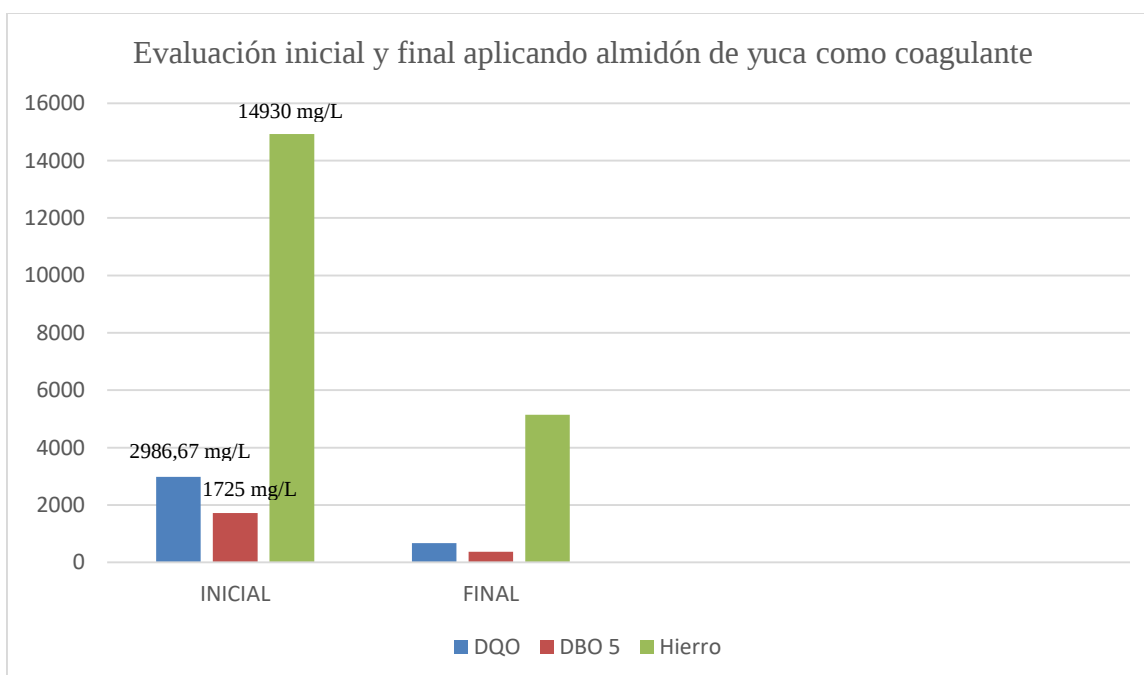
Como se puede observar en los gráficos 1, 2 y 3 el comportamiento con respecto a la remoción de las variables estudiadas, se puede afirmar que están directamente correlacionadas con la turbiedad, en este sentido parámetros como DQO y DBO 5 superan el 90% de remoción al aplicarle la dosis optima de coagulante *opuntia ficus indica* hallada en el último tratamiento, de el mismo modo se muestra que el pH disminuyó de 7,33 a 7,21 y el hierro presentó un 87,9% de remoción y la turbiedad más de un 95%. En el estudio de Bravo (2017), se presentan antecedentes donde se evidencia que el *opuntia ficus indica* presenta un mejor comportamiento para remoción de turbidez, metales pesados, DBO5 y DQO en pH bajos, manejando intervalos entre 3 - 8. En la investigación de Padilla Arévalo, O. G., & Zárate Morán, J. R. (2020)., al aplicar, *Opuntia ficus-indica*, a una concentración de solución al 1%. La dosis óptima para la remoción de turbiedad y color respecto al coagulante fue de 5 mg/L. Obtuvo un porcentaje de remoción del 76,85% de color y 92% de turbiedad.

Ahora bien, es necesario recalcar que, aunque en primera instancia se escogió estudiar otros metales tales como plomo (Pb) y mercurio (Mg) no salió rastro de dichos componentes en la segunda prueba enviada al laboratorio de la Universidad de Córdoba.



7.3.1.2 Remoción de los parámetros estudiados, Metales pesados (Pb, Fe, Hg), DQO, DBO, y pH a partir de la dosis optima hallada con el coagulante natural a base de almidón de yuca.

**Gráfica 4.** Evaluación inicial y final (DQO, DBO y HIERRO) aplicando almidón de yuca como coagulante

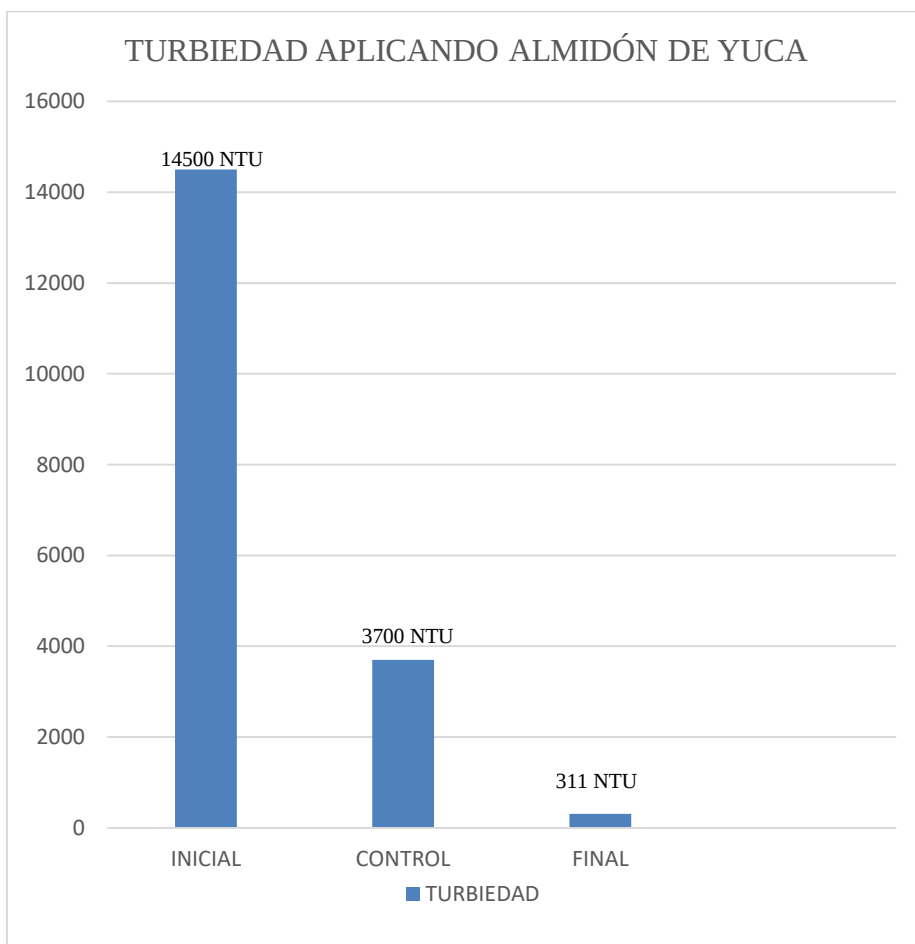


Fuente: Autores, 2022

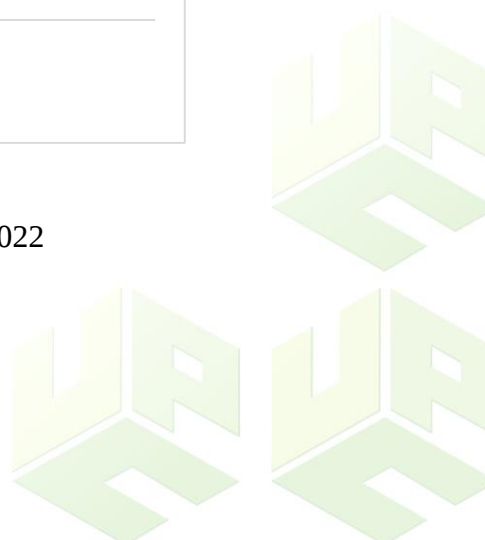




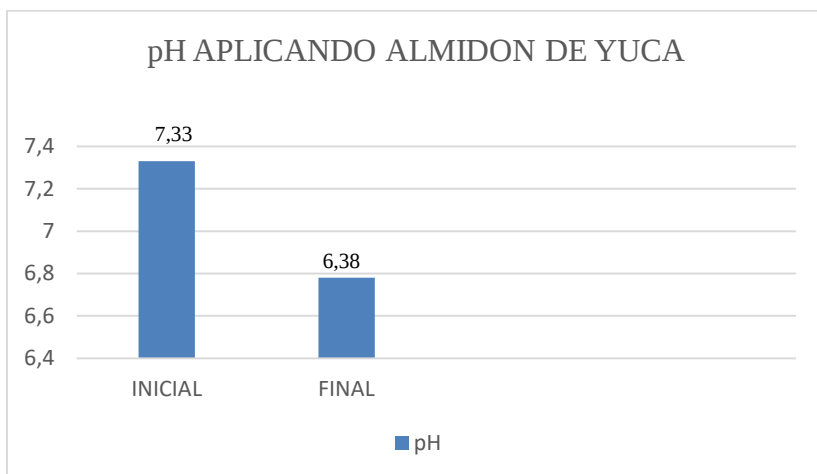
**Gráfica 5.** Evaluación de la turbiedad aplicando almidón de yuca como coagulante



Fuente: Autores, 2022



**Gráfica 6.** Evaluación inicial y final del pH aplicando almidón de yuca como coagulante.



Fuente: Autores, 2022

Como se puede observar en los gráficos 4, 5 y 6 el comportamiento con respecto a la remoción de las variables estudiadas, en este sentido parámetros como DBO5, podemos observar que el porcentaje de remoción fue de 78,69% y aunque es un valor alto observamos que no es lo suficiente para cumplir con la legislación, de la misma manera se presentan con los otros factores como DQO cuyo porcentaje de remoción es 77,47%, hierro cuyo porcentaje es 65,50%, no obstante, ninguno de estos valores cumple lo establecido con la norma 0631 de 2015 Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. En el estudio de Espinoza, et al (2021), se presentan antecedentes donde se evidencia que el almidón de yuca presenta un mejor comportamiento para remoción de turbidez, DBO5 y DQO en intervalos de pH de 6 - 7. Además, Maldonado Ushiñahua, A. R. (2018). En su investigación Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juninguillo–La Mina, Moyobamba–San Martín. Evaluó

el almidón de yuca a distintas concentraciones (1%, 2%, 3% 4% 5% 6%). La concentración óptima encontrada en el conjunto de ensayos realizados en la prueba de jarras, fue de 1%, es decir 1 mg de almidón /L de agua destilada (relación: peso/ volumen) de solución de almidón de yuca.

Ahora bien, es necesario recalcar que, aunque en primera instancia se escogió estudiar otros metales tales como plomo (Pb) y mercurio (Mg) no salió rastro de dichos componentes en la segunda prueba enviada al laboratorio de la Universidad de Córdoba.

### 7.3.2 Comparación del porcentaje de remoción de acuerdo con la normatividad ambiental vigente

**Tabla 13-** Cuadro comparativo agua contaminada agua tratada con coagulante natural *Opuntia ficus indica* al 1% dosis optima de 15mg/l.

| Parámetros | Agua contaminada | Agua tratada | Valores límite - res. 0631 de 2015 |
|------------|------------------|--------------|------------------------------------|
| Ph         | 7,33             | 7,21         | 6,00 - 9,00                        |
| Turbiedad  | 14.500           | 71,6         | NR                                 |
| DQO        | 2.986,67         | 215,17       | 400 mg/L                           |
| DBO5       | 1725             | 112,50       | 200 mg/L                           |
| Mercurio   | <LC (0,10)       | <LC (0,10)   | 0,01 mg/L                          |
| Hierro     | 14.930           | 1.816        | 3 mg/L                             |
| Plomo      | <LC (0,119)      | <LC (0,119)  | 0,20 mg/L                          |

Fuente: Laboratorio de la Universidad de Córdoba, 2022

En la tabla anterior se pueden ver los cambios que presentan en el agua asociada con perforaciones hidráulica después de haberle aplicado el *opuntia ficus indica* al 1%. Lo cual muestra una reducción significativa de la carga contaminante.

Gracias a este tratamiento recibido la DQO presenta un 92,79% de remoción, la DBO5 presento remoción de 93,47%, el Hierro 87,83% y la turbiedad 99,5%.

Cabe resaltar que los parámetros DBO5, DQO y pH se encuentran dentro de los parámetros exigidos por la legislación colombiana a través de la Resolución 0631 de 2015 para aguas residuales no domésticas generadas por las actividades enfocadas en hidrocarburos.

A pesar que el Hierro presento un 87,83% de remoción, no cumple con lo exigidos por la legislación colombiana a través de la Resolución 0631 de 2015 para aguas residuales no domésticas generadas por las actividades enfocadas en hidrocarburos.

caracterización de metales realizada antes de la aplicación del coagulante no estaban presentes el mercurio ni el plomo, esto debido al ambiente de formación están sujetos a cambios y deformaciones dependiendo del ambiente de depósito encontrado en ese momento, o de factores ambientales externos e internos en la cuenca lo que pueden generar una variabilidad en la carga contaminante.

A partir del estudio realizado se puede inferir que los resultados que se obtuvieron en el laboratorio con respecto a la dosis optima del *diverge* con Bravo, (2017). Ya que, nuestra dosis para el *opuntia ficus indica* fue de 15mg/L mientras que en la monografía anterior las dosis optima estuvieron dentro del intervalo 4mg/l-10mg/l.

De la misma manera se puede deducir que los resultados que se obtuvieron en el laboratorio con respecto a la dosis optima *diverge* Padilla Arévalo, O. G., & Zárate Morán, J. R. (2020). Ya que, nuestra dosis para el *opuntia ficus indica* es de 15mg/L.

En la investigación se logró analizar que hay convergencia con Palacios y Zenobia, (2016). En su tesis de investigación titulada “Eficiencia del coagulante natural *opuntia ficus*” Teniendo de mismo modo una eficiencia de remoción de turbidez de 99%.

Del mismo modo se evidencio que el *Opuntia ficus indica* tiene mejor comportamiento para remoción de turbidez, metales pesados, DBO5 y DQO en pH entre los intervalos 3-8 lo cual coincide con el estudio de Bravo (2017).

En la última caracterización de metales realizada antes de la aplicación del coagulante no estaban presentes el mercurio ni el plomo, esto debido al ambiente de formación están sujetos a cambios y deformaciones dependiendo del ambiente de depósito encontrado en ese momento, o de factores ambientales externos e internos en la cuenca lo que pueden generar una variabilidad en la carga contaminante.

**Tabla 14-** Tabla de rangos de turbiedad al aplicar *Opuntia ficus indica*

| <b>Turbiedad Inicial</b> | <b>Turbiedad de Jarra control</b> | <b>Turbiedad al Aplicar dosis<br/>optima de 15mg/l</b> |
|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 14500 NTU                | 3600NTU                           | 71,6NTU                                                |

Fuente: Autor, 2022

En la tabla anterior evidencia también, un porcentaje de remoción de la dosis de 71,6 de un 98% con respecto al control, lo que garantiza la efectividad del *Opuntia ficus indica* en la remoción de turbiedad.

**Tabla 15-** Cuadro comparativo agua contaminada agua tratada con coagulante natural Almidón de yuca al 1% donde la dosis optima es de 8 mg/l.

| <b>Parámetros</b> | <b>Agua contaminada</b> | <b>Agua tratada</b> | <b>Valores límite - res.<br/>0631 de 2015</b> |
|-------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------------------------------|
| Ph                | 7,33                    | 6,78                | 6,00 - 9,00                                   |
| Turbiedad         | 14.500                  | 311                 | NR                                            |
| DQO               | 2.986,67                | 672                 | 400 mg/L                                      |
| DBO5              | 1725                    | 367,50              | 200 mg/L                                      |

|          |             |             |           |
|----------|-------------|-------------|-----------|
| Mercurio | <LC (0,10)  | <LC (0,10)  | 0,01 mg/L |
| Hierro   | 14.930      | 5150        | 3 mg/L    |
| Plomo    | <LC (0,119) | <LC (0,119) | 0,20 mg/L |

Fuente: Autor 2022

En la tabla anterior se pueden ver los cambios que presentan en el agua asociada con perforaciones hidráulica después de haberle aplicado el almidón 1%. Lo cual muestra una reducción carga contaminante, pero los parámetros DQO, DBO5 y Hierro no cumple con el valor máximo permisible exigido por la legislación colombiana a través de la Resolución 0631 de 2015 para aguas residuales no domésticas generadas por las actividades enfocadas en hidrocarburos.

Se puede observar que el pH si cumple con el valor máximo permisible exigido por la legislación colombiana a través de la Resolución 0631 de 2015 para aguas residuales no domésticas generadas por las actividades enfocadas en hidrocarburos.

La reducción porcentual de la turbiedad fue de 97,85%, DQO 77,5%, DBO5 78,7%, Hierro 65%, 639.

Cabe resaltar que los parámetros DBO5, DQO y pH se encuentran dentro de los parámetros exigidos por la legislación colombiana a través de la Resolución 0631 de 2015 para aguas residuales no domésticas generadas por las actividades enfocadas en hidrocarburos.

Ahora bien, se pudo analizar primera vista un alto valor de remoción con respecto a la turbiedad mostrado mayor porcentaje de eficiencia comparación con Calle y Adolfo (2021), donde se afirma y estudia que el porcentaje de remoción en cuanto turbiedad con almidón de yuca es de 68,5%.

Además, a partir del estudio realizado se puede inferir que los resultados que se obtuvieron en el laboratorio con respecto a la dosis optima divergen con Maldonado Ushiñahua, A. R.

(2018). Ya que, nuestra dosis óptima para el almidón de yuca es de 8 mg/L, esta discrepancia puede presentarse debido a que la carga contaminante es distinta.

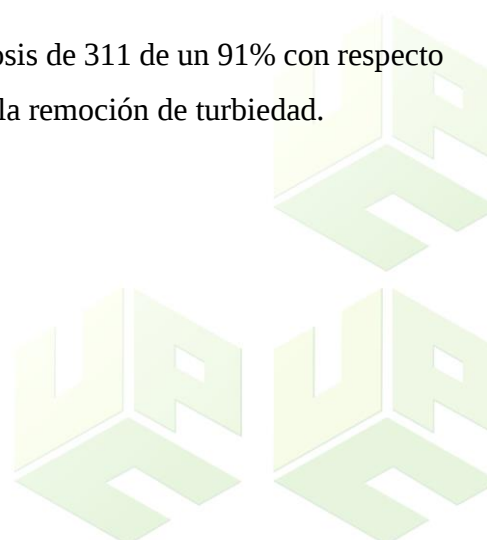
Se analizó que hay convergencia Maldonado Ushiñahua, A. R. (2018). En su investigación Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juninguillo–La Mina, Moyobamba–San Martín. Evaluó el almidón de yuca a distintas concentraciones (1%, 2%, 3% 4% 5% 6%). La concentración óptima encontrada en el conjunto de ensayos realizados en la prueba de jarras, fue de 1%, es decir 1 mg de almidón /L de agua destilada (relación: peso/ volumen) de solución de almidón de yuca.

**Tabla 16-** Tabla de rangos de turbiedad al aplicar almidón de yuca

| <b>Turbiedad Inicial</b> | <b>Turbiedad de Jarra control</b> | <b>Turbiedad al Aplicar dosis<br/>óptima de 8 mg/l</b> |
|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 14500 NTU                | 3700NTU                           | 311NTU                                                 |

Fuente: Autor 2022

Se evidencia también, un porcentaje de remoción de la dosis de 311 de un 91% con respecto al control, lo que garantiza la efectividad del almidón en la remoción de turbiedad.



## 8. CONCLUSIONES

A partir del trabajo investigativo realizado se establecen las siguientes conclusiones:

De acuerdo a los resultados esperados en el proyecto y los resultados obtenidos, podemos afirmar; que el *Opuntia ficus indica* es un coagulante efectivo que remueve de manera eficiente parámetros como DQO, DBO5, turbidez y metales como el Hierro donde se obtuvo remoción de hasta el 90%.

Al momento de caracterizar el agua se observa que no cumple con los valores permisibles de la resolución 0631 excepto el pH, sin embargo, después de hallar dosis optima con el *opuntia ficus indica* se logró que se cumpliera con los valores permisibles en los parámetros de DQO, DBO5.

Se puede concluir que en comparación de ambos coagulantes el mas efectivo fue el *opuntia ficus indica* teniendo un porcentaje de remoción de turbiedad de 99,5%, DQO presentó un 92,79% de remoción, la DBO5 con un 93,47% de remoción y el Hierro 87,83%.

El rango de pH en el que mejor actuó el Almidón de yuca fue a pH 7,12 mostrando que a pH bajos su rendimiento y efectividad es mucho mas notorio, pudiendo eliminar un porcentaje de remoción de DBO5 de 78,69, DQO cuyo porcentaje de remoción fue 77,47 y el hierro con un porcentaje de 65,50, no obstante, ninguno de estos valores cumple lo establecido en la resolución 0631.

En la ultima caracterización de metales realizada antes de la aplicación del coagulante no estaban presentes el mercurio ni el plomo, esto debido al ambiente de formación están sujetos a cambios y deformaciones dependiendo del ambiente de deposito encontrado en ese momento, o de factores ambientales externos e internos en la cuenca lo que pueden generar una variabilidad en la carga contaminante.

## **9. RECOMENDACIONES**

Después de haber realizado el anterior proyecto se establecen las siguientes recomendaciones:

1. Continuar con la línea de investigación de los coagulantes naturales por sus múltiples beneficios, especialmente los relacionados con los riesgos a la salud.
2. Realizar evaluaciones simultáneas para evaluar la eficiencia de varios coagulantes obtenidos a partir de plantas autóctonas y endémicas del país.
4. Direcccionar este estudio a otros posteriores, específicamente al aprovechamiento de los materiales retirados de la planta como la cutícula, la comparación frente a otros coagulantes y la determinación de las sustancias activas que generan la coagulación.
5. Gestionar la dotación de los laboratorios de la Universidad Popular del Cesar de los equipos y materiales para que no haya necesidad de dirigirse a terceros, con el fin de obtener los análisis necesarios.
6. Se debe tener en cuenta que para la realización de este tipo de estudios es necesario controlar diversas variables que influyen directamente en los resultados y en la eficiencia del coagulante.



## **10. BIBLIOGRAFÍA**

Acosta, A. (2018). La dependencia del petróleo. Recuperado de:  
<https://www.larepublica.co/analisis/amytkar-d-acosta-m-557896/la-dependencia-del-petroleo-2792214>

Alcaldía municipal de Sahagún, Córdoba. (S.F). Recuperado de <http://www.sahaguncordoba.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>

Alcocer, V. Ocaña, G. Balcazar, C. y González, L. (2018). Almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas/Cassava Starch (*Manihot esculenta* Crantz) As a coadyuvant in the coagulation flocculation of domestic wastewater. Recuperado de <http://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/73>

Almendárez, N. (2004). Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del lago de Managua "Piedras Azules." Managua, Nicaragua. Recuperado de <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/MAR04/Almendarez2004.pdf>

América, L. (2018). El fracking y sus consecuencias en el ambiente. Recuperado de:  
<https://ecologica.jornada.com.mx/2018/01/26/el-fracking-y-sus-consecuencias-en-el-ambiente-865.html>

Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua, coagulación y floculación. Lima, Perú. Recuperado de [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)

Arnedo, A., y Yunes, K. (2018). Fracking: Extracción de gas y petróleo no convencional, y su impacto ambiental. Cartagena, Colombia. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/550f/1590c09b89221f431eb8e31615742490851d.pdf>

Bacca, W. & Vacca, J. (2011). Diseño de lineamientos metodológicos reproducibles para la implementación de planes de gestión ambiental en las instalaciones administrativas, de empresas de explotación de hidrocarburos, con un enfoque preliminar en la empresa Canacol Energy Colombia S.A. con sede en Bogotá. Tomado de: <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00000192.pdf>

Banchón, C. Baquerizo, R. Muñoz, D. Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. Recuperado de <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v7n4/1390-6542-enfoqueute-7-04-00111.pdf>

Bembibre, C. (2011). Importancia del petróleo. Recuperado de <https://www.importancia.org/petroleo.php>

Bravo, E. (2007). Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad. Recuperado de: [https://www.inredh.org/archivos/documentos\\_ambiental/impactos\\_explotacion\\_petrolera\\_es.pdf](https://www.inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotacion_petrolera_es.pdf)

Bravo, M. (2015). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. Recuperado de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5609/1/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf>

Cadavid, L. (2008). Fertilización del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*). Recuperado de

[https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19225/44718\\_59468.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19225/44718_59468.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Caldera, Y. Clavel, N. Briceño, D. Nava, A. Gutiérrez, E. y Mármol, Z. (2009). Quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de producción de petróleo. Recuperado de <https://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/3988>

Calle Clavijo, G. A. Identificación de un Coagulante Orgánico para el Tratamiento del Agua en el Acueducto veredal Rancho Largo del Municipio de Samaná.

Calle Clavijo, G. A. Identificación de un Coagulante Orgánico para el Tratamiento del Agua en el Acueducto veredal Rancho Largo del Municipio de Samaná.

Canacol Energy Colombia S.A. (2015). Tomado de: <https://www.canacolenergy.co/esp/corporate-social-responsibility.asp>

Cuadros, L. (2020). Evaluación de la Remoción de la Turbidez del Agua del Rio Fucha por Medio del Fruto de la Planta Arbustiva Cactus (Opuntia ficus indica) como Coagulante Natural. Recuperado de: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/34251/lmcuadrospu.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Decreto 1076 de 2015, Se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Explica la Protección y aprovechamiento de las aguas. Recuperado de: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Decreto 1575 de 2007, Por el cual se establece el sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Recuperado de: [https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto\\_1575\\_2007.htm](https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto_1575_2007.htm)

Decreto 1594 de 1984, Usos del agua y residuos líquidos, reglamentó la prevención y control de la contaminación al recurso. Recuperado de: [http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Dec\\_1594\\_1984.pdf/aacbcd5d-fed8-4273-9db7-221d291b657f](http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Dec_1594_1984.pdf/aacbcd5d-fed8-4273-9db7-221d291b657f)

Decreto 3930 de 2010, Por el cual se establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados. Recuperado de: [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec\\_3930\\_2010.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf)

Decreto 475 de 1998, Por el cual se regulan las actividades relacionadas con la calidad del agua potable para consumo humano. Recuperado de: [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/DECRETO%200475%20DE%201998.PDF](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%200475%20DE%201998.PDF)

Díaz, J. (2014). Coagulantes – floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas. Tomado de: [file:///E:/Usuarios/Datos%20Usuario/Downloads/coagulantes-floculantes-organicos-e-inorganicos-elaborados-de-plantas-y-del-reciclaje-de-la-chatarra-para-el-tratamiento-de-aguas-contaminadas%20\(1\).pdf](file:///E:/Usuarios/Datos%20Usuario/Downloads/coagulantes-floculantes-organicos-e-inorganicos-elaborados-de-plantas-y-del-reciclaje-de-la-chatarra-para-el-tratamiento-de-aguas-contaminadas%20(1).pdf)

Eróstegui, C. (2009). Entrevistas Revista Científica Ciencia Médica SCEM 45 CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS. Recuperado de [http://www.scielo.org.bo/pdf/rccm/v12n1/v12n1\\_a13.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/rccm/v12n1/v12n1_a13.pdf)

Espigares, M., y Pérez, J. (2017). Aguas residuales. Composición. Recuperado de [https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)

Fondo para la comunicación y educación ambiental, A.C. (2007). Contaminación del agua por metales. Recuperado de <https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-del-agua-por-metales/>

Forero, G. (2014). Análisis de tratamientos de agua en la industria petrolera en el bloque llanos 14, oportunidades de mejora en el tratamiento de agua en petroleras. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/263305435\\_ANALISIS\\_DE\\_TRATAMIENTOS\\_DE\\_AGUA\\_EN\\_LA\\_INDUSTRIA\\_PETROLERA\\_EN\\_EL\\_BLOQUE\\_LLANOS\\_14\\_opportunidades\\_de\\_mejora\\_en\\_el\\_tratamiento\\_de\\_agua\\_en\\_petroteras](https://www.researchgate.net/publication/263305435_ANALISIS_DE_TRATAMIENTOS_DE_AGUA_EN_LA_INDUSTRIA_PETROLERA_EN_EL_BLOQUE_LLANOS_14_opportunidades_de_mejora_en_el_tratamiento_de_agua_en_petroteras)

García, R. & Medina, R. (2017). Diseño preliminar de centrifugación y dewatering para lodos de perforación. Tomado de: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15958/1/Dise%C3%B1o%20preliminar%20de%20Centrifugaci%C3%B3n%20y%20Dewatering%20para%20lodos%20de%20perforaci%C3%B3n.pdf>

Garzón, M. (2006). Mantenimiento de torres de perforación petrolera. Quito, Ecuador. Recuperado de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/430/1/CD-0410.pdf>

Gutiérrez, E., Rodríguez, Y., Oñate, H., Caldera, Y. (2012). Eficiencia del quitosano como coagulante en el tratamiento de aguas asociadas a la producción de petróleo mediano. Tomado de: [https://www.researchgate.net/publication/282723359\\_Eficiencia\\_del\\_quitosano\\_como\\_coagulante\\_en\\_el\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_asociadas\\_a\\_la\\_produccion\\_de\\_petroleo\\_mediano](https://www.researchgate.net/publication/282723359_Eficiencia_del_quitosano_como_coagulante_en_el_tratamiento_de_aguas_asociadas_a_la_produccion_de_petroleo_mediano)

IDEAM. (2005). PSO determinación de alcalinidad por potenciometría. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Alcalinidad+total+en+agua+por+electrometr%C3%ADa..pdf/dd9a3610-8ff7-49bc-97eb-5306362466df>

IDEAM. (2007). Dureza total en agua con EDTA por volumetría. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Dureza+total+en+agua+con+EDTA+por+volumetr%C3%ADa.pdf/44525f65-31ff-482e-bbf6-130f5f9ce7c3>

Kiesling, R. (2015). Origen, Domesticación y Distribución de *Opuntia ficus-indica*. Recuperado de [http://www.jpacd.org/downloads/Vol3/RAC\\_2.pdf](http://www.jpacd.org/downloads/Vol3/RAC_2.pdf)

Ley 373 de 1997, Por la cual se establece el programa de uso eficiente y ahorro de agua. Recuperado de: <http://www.epm-quinchia-risaralda.gov.co/normatividad/ley-373-de-1997-programa-de-uso-eficiente-y-ahorro-de#:~:text=373%20de%201997.-,Programa%20de%20uso%20eficiente%20y%20ahorro%20de%20agua.,eficiente%20y%20ahorro%20de%20agua.>

Londoño, L. Londoño, P. Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>

López, E., y Maldonado, S. (2017). Determinación de la factibilidad del uso de *Opuntia ficus-indica* como material biosorbente para la retención de cromo hexavalente (Cr +6). Recuperado de [http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia\\_Quimica\\_y\\_Fisica/vol4num13/Revista\\_de\\_Energia\\_Quimica\\_y\\_Fisica\\_V4\\_N13\\_1.pdf](http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia_Quimica_y_Fisica/vol4num13/Revista_de_Energia_Quimica_y_Fisica_V4_N13_1.pdf)

Maldonado Ushiñahua, A. R. (2018). Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juningullo–La Mina, Moyobamba–San Martín.

Máxima, J. (S.F). Metales. Recuperado de <https://www.caracteristicas.co/metales/#ixzz6KGOseVM5>

Meneses, J. Corrales, C. Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s1794-12372007000200006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1794-12372007000200006)

Miranda, L. (2012). Biosorción de plomo (II), presente en soluciones acuosas, con cascara de tuna (*Opuntia ficus - indica*). Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6447/FSMmiralm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Muñoz, A. (2008). Caracterización y tratamiento de aguas residuales. Recuperado de <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/514/Caracterizaci%20n%20y%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales.pdf;jsessionid=70C549D986001057243297A291C46380?sequence=1>

Oliva, J., Giacomani, G., Pérez, M. (2007). Estudio de la dinámica de sedimentación de lodos mediante un sistema óptico. Tomado de <https://www.redalyc.org/pdf/467/46712202.pdf>

Ospina, A., y Nito, L. (2009). Caracterización de agua cruda y tratada para el proceso de fabricación de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en la empresa Industrias Básicas de Caldas. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/1785?show=full>

Ovando, M. (2012). Modificación de biopolímero extraído de nopal (*Opuntia Ficus Indica*) y su aplicación para la remoción de metales pesados en agua. Recuperado de <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/bitstream/handle/11627/96/OvandoFranco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Padilla Arévalo, O. G., & Zarate Moran, J. R. (2020). Determinación de las características coagulantes del almidón de papa y de la tuna *opuntia ficus indica* para

remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de aguas superficiales (Bachelor's tesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de ingeniería Química).

Palacios, J. Zenobia, N. (2016). Eficiencia del coagulante natural *Opuntia ficus indica* (l.) Miller con un sistema de filtración para la remoción de parámetros fisicoquímicos y biológicos en el agua residual domestica del centro urbano Hornillos, ancash 2016. Recuperado de [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/841/Jaimes\\_PNZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/841/Jaimes_PNZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Pérez, J. & Gardey, A. (2015). Definición de adsorción. Tomado de: <https://definicion.de/adsorcion/>

Pérez, J. & Merino, M. (2009). Definición de isótopo. Tomado de: <https://definicion.de/isotopo/>

Raffo, E. Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/307181622\\_Caracterizacion\\_de\\_las\\_aguas\\_residuales\\_y\\_la\\_demanda\\_bioquimica\\_de\\_oxigeno](https://www.researchgate.net/publication/307181622_Caracterizacion_de_las_aguas_residuales_y_la_demanda_bioquimica_de_oxigeno)

Rajeev A., Senthil P., Revellame E., Gang D., Zappi M., Subramaniam R. (2018). Carbón activado a base de cáscara de pacana para la eliminación de hierro (II) de las aguas residuales del fracking: cinética de adsorción, estudios de isoterma y termodinámica. Tomado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095758201730410X>

Ramírez, O. (2014). Manejo, clasificación y disposición de residuos peligrosos (cortes de perforación base aceite) en plataformas petroleras. Recuperado de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4036/OMAR%20RAMIREZ%20ESPIRITU%20TESIS.pdf?Sequence=1>

Ramos, E., y Martínez, S. (2016). Obtención y caracterización física y química del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad Guayape. Recuperado de <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/865/BC-TES-4008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Resolución 0330 de 2017, Se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Recuperado de: <http://www.acodal.org.co/reglamento-tecnico-ras-nueva-resolucion-0330-de-2017/>

Resolución 0631 de 2015, Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Recuperado de: [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res\\_631\\_marz\\_2015.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf)

Resolución 0883 de 2018, Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas, y se dictan otras disposiciones. Recuperado de: <http://portal.anla.gov.co/normatividad/resoluciones/resolucion-0883>

Resolución 1096 de 2000, Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico, RAS. Recuperado de: <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/1096%20-%202000.pdf>

Resolución 2115 de 2007, Explica las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Recuperado de: [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legisla%C3%B3n\\_del\\_agua/Resoluci%C3%B3n\\_2115.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legisla%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf)

Resolución 4506 de 2013, Por la cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano y se dictan otras disposiciones. Recuperado de:

<https://www.invima.gov.co/documents/20143/441309/Resolucion+4506+de+2013.pdf/8b857597-b948-5bd7-c0a6-f06d217b6bce>

Rico, L., Reyes, R., Guédez, C. (2007). Los macroprocesos de la industria petrolera y sus consecuencias ambientales. Recuperado de: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-48212007000200006](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212007000200006)

Rivera Huanay, R. H. (2017). Eficiencia de coagulante natural obtenidos de yuca (Manihot Esculenta) y plátano (Musa Paradisiaca) para remover turbidez y Escherichia Coli del riachuelo Santa\_Perené\_Chanchamayo 2017.

Rodríguez, Y., Oñate, H., Gitierrez, E., & Caldera, Y. (2012). Eficiencia del quitosano como coagulante en el tratamiento de aguas asociadas a la producción de petróleo mediano. Revista arbitrada venezolana, 7(2.).

Ruiz, C. (2011). Tecnología de descarga cero de los efluentes de los fluidos de perforación en pozos de offshore plataforma albacora lote z-1. Tomado: [http://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS\\_20/Ingenieria%20de%20Petroleo%20y%20Gas/82.pdf](http://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Ingenieria%20de%20Petroleo%20y%20Gas/82.pdf)

Ruiz, F. Alvarado, J. Murillo, B. (2008). Rendimiento y Crecimiento de Nopalitos de Cultivares de Nopal (*Opuntia ficus-indica*) bajo Diferentes Densidades de Plantación. Recuperado de <http://www.jpacd.org/downloads/Vol10/V10P22-35.pdf>

Solís, R. Laines, J. y Hernández, J. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992012000300005](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000300005)

Tejada, C. Villabona, A. Garcés, L. (2014). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico.

Terán, Y. Navas, D. Petit, D. Garrido, E. y Aubeterre, R. (2015). Análisis de las características físico-químicas del fruto de *opuntia ficus- indica* (L.) Miller, cosechados en Lara, Venezuela. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/813/81339864010.pdf>

Trombetta, J. (2012). El agua en la explotación de yacimientos no convencionales. Tomado de: [http://www.petrotecnica.com.ar/agosto12/sin\\_publicidad/ElAgua.pdf](http://www.petrotecnica.com.ar/agosto12/sin_publicidad/ElAgua.pdf)

Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista Ion*, 27(1), 17-34.

Villabona, A. Paz, I. Martínez, J. (2013) Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-34752013000100014](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752013000100014)



## 11. APLICACIÓN DEL SISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental se aplicó para afirmar cuál fue la mejor dosificación con la cual hubo mayor remoción de turbiedad, como se mencionó en el procedimiento metodológico el diseño aplicado fue completamente al azar con soporte de prueba de Dunnett, dicha prueba se utilizó en la ANOVA para crear intervalos de confianza para las diferencias entre los valores arrojado y el grupo control, Montgomery, D. (2006).

**Tabla 17-** Tabla de repeticiones y sumatoria aplicando *opuntia ficus indica*

| <i>Opuntia ficus indica</i> |        |       |          |          |       |           |
|-----------------------------|--------|-------|----------|----------|-------|-----------|
| R                           | J1     | J2    | J3       | J4       | J5    | J6CONTROL |
| 1                           | 110    | 92    | 85,4     | 71,6     | 99    | 3600      |
| 2                           | 110    | 90    | 85       | 70       | 89    | 3400      |
| 3                           | 110    | 92    | 85,4     | 71,6     | 99    | 3600      |
|                             | 330    | 274   | 255,8    | 213,2    | 287   | 10600     |
| Σ                           | 108900 | 75076 | 65433,64 | 45454,24 | 82369 | 112360000 |
|                             | 11960  |       |          |          |       |           |

Fuente: Autor 2022

**Tabla 18-** Tabla para hallar moda

| <i>Opuntia ficus indica</i> |     |        |        |        |        |           |
|-----------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|-----------|
| Mo                          | J1  | J2     | J3     | J4     | J5     | J6CONTROL |
|                             | 110 | 91,333 | 85,267 | 71,067 | 95,667 | 3533,333  |
|                             |     |        |        |        |        |           |

Fuente: Autor 2022



**Tabla 19-** sumatoria del cuadrado total aplicando *opuntia ficus indica*

| <b>Opuntia ficus indica</b> |             |           |           |           |           |                  |
|-----------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|
| <b>R</b>                    | <b>J1</b>   | <b>J2</b> | <b>J3</b> | <b>J4</b> | <b>J5</b> | <b>J6CONTROL</b> |
| 1                           | 12100       | 8464      | 7293,16   | 5126,56   | 9801      | 12960000         |
| 2                           | 12100       | 8100      | 7225      | 4900      | 7921      | 11560000         |
| 3                           | 12100       | 8464      | 7293,16   | 5126,56   | 9801      | 12960000         |
|                             | 36300       | 25028     | 21811,32  | 15153,12  | 27523     | 37480000         |
| $\Sigma$ del cuadrado       | 37605815,44 |           |           |           |           |                  |

Fuente: Autor 2022

**Tabla 20-** Análisis de varianza aplicando *opuntia ficus indica*

| <b>ANOVA – OPUNTIA FICUS INDICA</b> |           |             |             |                        |                                    |
|-------------------------------------|-----------|-------------|-------------|------------------------|------------------------------------|
| <b>FV</b>                           | <b>GL</b> | <b>SC</b>   | <b>CM</b>   | <b>F<br/>CALCULADA</b> | <b>F TABULADA TABLA<br/>FISHER</b> |
| TTOS                                | 5         | 29632322,07 | 5926464,414 | 2660                   | 3,106                              |
| EE                                  | 12        | 26737,81333 | 2228,151111 |                        |                                    |

Fuente: Autor 2022

- ✓ Posterior al análisis se procede a hallar la prueba de Dunette

$$\frac{Td\sqrt{2 Ms}}{n}$$

Donde:

Td: Valor hallado en la tabla de Dunnett

Ms: Cuadrado medio hallado en la tabla anterior

n: número de repeticiones



$$\frac{2,81\sqrt{2 * 2228,09}}{3} = 62,526$$

- ✓ Luego comparamos el valor crítico con la diferencia absoluta de la media de cada grupo y la media del grupo de control.

**Tabla 21-** Comparación de la media de cada grupo con la media del grupo control aplicando opuntia ficus indica

|                   | MEDIA  | DIFERENCIA ABSOLUTA CONTROL VS JARRA |
|-------------------|--------|--------------------------------------|
| JARRA 1           | 110    | 3423,3                               |
| JARRA 2           | 91,3   | 3442                                 |
| JARRA 3           | 85,26  | 3448,04                              |
| JARRA 4           | 71,06  | 3462,24                              |
| JARRA 5           | 95,66  | 3437,64                              |
| JARRA 6 - CONTROL | 3533,3 |                                      |
|                   |        |                                      |

Fuente: Autor 2022

Se observa que la diferencia absoluta entre cada jarra y el control son mucho mayores que el valor critico de Dunnett, sin embargo, la que presenta mayor diferencia de intervalos es la jarra 4 por lo cual podemos decir que en esta jarra es donde hay mayor significancia con respecto a la remoción de turbiedad y a la eficiencia del opuntia ficus indica.



**Tabla 22-** Tabla de repeticiones y sumatorias - repeticiones aplicando almidón de yuca

| ALMIDON DE YUCA |            |            |             |             |          |           |
|-----------------|------------|------------|-------------|-------------|----------|-----------|
| R               | J1         | J2         | J3          | J4          | J5       | J6CONTROL |
| 1               | 412,2      | 345        | 600         | 870         | 1600     | 3700      |
| 2               | 415        | 345,5      | 602,43      | 872,2       | 1605     | 3715      |
| 3               | 413,5      | 347        | 600,63      | 873,21      | 1610     | 3724      |
|                 | 1240,7     | 1037,5     | 1803,06     | 2615,41     | 4815     | 11139     |
| Σ               | 1539336,49 | 1076406,25 | 3251025,364 | 6840369,468 | 23184225 | 124077321 |
|                 | 22650,67   |            |             |             |          |           |

Fuente: Autor 2022

**Tabla 23-** Tabla para hallar moda

| Mo | J1          | J2          | J3     | J4          | J5   | J6CONTROL |
|----|-------------|-------------|--------|-------------|------|-----------|
|    | 413,5666667 | 345,8333333 | 601,02 | 871,8033333 | 1605 | 3713      |

Fuente: Autor 2022

**Tabla 24-** sumatoria del cuadrado total repeticiones aplicando almidón de yuca

| Almidón de yuca |             |           |             |             |         |           |
|-----------------|-------------|-----------|-------------|-------------|---------|-----------|
| R               | J1          | J2        | J3          | J4          | J5      | J6CONTROL |
| 1               | 169908,84   | 119025    | 360000      | 756900      | 2560000 | 13690000  |
| 2               | 172225      | 119370,25 | 362921,9049 | 760732,84   | 2576025 | 13801225  |
| 3               | 170982,25   | 120409    | 360756,3969 | 762495,7041 | 2592100 | 13868176  |
|                 | 513116,09   | 358804,25 | 1083678,302 | 2280128,544 | 7728125 | 41359401  |
|                 |             |           |             |             |         |           |
| Σ del cuadrado  | 53323253,19 |           |             |             |         |           |

Fuente: Autor 2022

**Tabla 25-** Análisis de varianza aplicando almidón de yuca

| ANOVA – Almidón de yuca |    |             |             |             |                         |
|-------------------------|----|-------------|-------------|-------------|-------------------------|
| FV                      | GL | SC          | CM          | F CALCULADA | F TABULADA TABLA FISHER |
| TTOS                    | 5  | 24819958,33 | 4963991,666 | 166084      | 3,106                   |
| EE                      | 12 | 358,662     | 29,8885     |             |                         |

- ✓ Posterior al análisis se procede a hallar la prueba de Dunette

$$\frac{Td\sqrt{2 Ms}}{n}$$

Donde:

Td: Valor hallado en la tabla de Dunnett

Ms: Cuadrado medio hallado en la tabla anterior

n: número de repeticiones

$$\frac{2,81\sqrt{2 * 29,8885}}{3} = 7,2418$$

- ✓ Luego comparamos el valor crítico con la diferencia absoluta de la media de cada grupo y la media del grupo de control.

**Tabla 26-** Comparación de la media de cada grupo con la media del grupo control aplicando almidón de yuca como coagulante

|                   | MEDIA  | DIFERENCIA ABSOLUTA CONTROL VS JARRA |
|-------------------|--------|--------------------------------------|
| JARRA 1           | 413,56 | 3299,44                              |
| JARRA 2           | 345,83 | 3367,17                              |
| JARRA 3           | 601,02 | 3111,98                              |
| JARRA 4           | 871,8  | 2841,2                               |
| JARRA 5           | 1605   | 2108                                 |
| JARRA 6 - CONTROL | 3713   |                                      |

Fuente: Autor 2022



**Universidad  
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Se observa que la diferencia absoluta entre cada jarra y el control son mucho mayores que el valor critico de Dunnett, sin embargo, la que presenta mayor diferencia de intervalos es la jarra dos por lo cual podemos decir que en esta jarra es donde hay mayor significancia con respecto a la remoción de turbiedad y a la eficiencia del almidón de yuca.





**Universidad  
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**Ingeniería  
Ambiental y Sanitaria**

## REGISTRO FOTOGRAFICO

Fotografías 1 y 2. Compra y recolección materia prima



Fotografías 3 y 4. Preparación de coagulantes



Fotografías 5 y 6. Envío de muestra al laboratorio de la Universidad de Córdoba



Fotografía 7. Resultados enviados por la universidad de Cordoba

|                                                                                                        |                               |                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| <br>NIT 991080001-3 | <b>UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA</b> | <b>CÓDIGO:<br/>FLA-036</b> |
|                                                                                                        | <b>INFORME DE RESULTADOS</b>  | <b>07-10-20</b>            |
|                                                                                                        | <b>LABORATORIO DE AGUAS</b>   | <b>VERSIÓN:<br/>N° 09</b>  |

**INFORME N° 017**

**Fecha: 04/03/22**

|                   |                            |                  |                                                 |
|-------------------|----------------------------|------------------|-------------------------------------------------|
| <b>CLIENTE:</b>   | ANDRÉS CAMILO MUNIVE SOLÍS | <b>DIRECCIÓN</b> | CLL 5C # 48 - 42 LA NEVADA - VALLEDUPAR - CESAR |
| <b>TELÉFONO</b>   | 3 0 0 8 5 5 1 3 5 9        | <b>NIT/CC #</b>  | 1 0 6 5 8 3 4 7 3 3                             |
| <b>INTERESADO</b> | ANDRÉS CAMILO MUNIVE SOLÍS |                  |                                                 |

| MUESTRA                              |                        |                   | MUESTREO            |                                  |                                     |                        |       |             |                                           |                     |                    |
|--------------------------------------|------------------------|-------------------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------|-------------|-------------------------------------------|---------------------|--------------------|
| TIPO DE MUESTRA                      | CÓDIGO DEL LABORATORIO | FECHA DE RECIBIDO | PLAN DE MUESTREO N° | FECHA                            | LUGAR DONDE SE REALIZA LA ACTIVIDAD | PUNTO                  | HORA  | TOMADA POR: | CONDICIONES AMBIENTALES Y DE PRESERVACIÓN | NÚMERO DE ALÍCUOTAS | NÚMERO DE MUESTRAS |
| Agua Residual                        | 160222-01              | 16/02/22          | NA                  | 15/02/22                         | AGUA RESIDUAL DE LODO DE PEFORACION | POZO DE PETROLEO - GAS | 23:15 | CLIENTE     | NA                                        | 1                   | 1                  |
| PARÁMETRO                            |                        | UNIDADES          |                     | MÉTODO                           |                                     | FECHA DE EJECUCIÓN     |       |             | RESULTADO                                 |                     |                    |
| pH                                   |                        | Unidades de pH    |                     | SM 4500-H+ B                     |                                     | 16/02/22               |       |             | 11.48                                     |                     |                    |
| Turbidez                             |                        | NTU               |                     | SM 2130 B                        |                                     | 16/02/22               |       |             | 15825.00                                  |                     |                    |
| DBO5 (Demanda bioquímica de oxígeno) |                        | mg/L              |                     | SM 5210 B                        |                                     | 16/02/22               |       |             | 3168,75                                   |                     |                    |
| DQO                                  |                        | mg/L              |                     | SM 5220 C                        |                                     | 23/0/222               |       |             | 5216.14                                   |                     |                    |
| Hierro                               |                        | mg/L              |                     | SM 3030-G; SM3111-B              |                                     | 18/02/22               |       |             | 1971.00                                   |                     |                    |
| Cobre                                |                        | mg/L              |                     | SM 3030 G; SM 3111 B             |                                     | 18/02/22               |       |             | 1.94                                      |                     |                    |
| Plomo                                |                        | mg/L              |                     | SM 3030 G; SM 3111 B             |                                     | 18/02/22               |       |             | <LC(0.10)                                 |                     |                    |
| Magnesio                             |                        | mg/L              |                     | SM 3030-G; SM 3111-B             |                                     | 18/02/22               |       |             | 488.0000                                  |                     |                    |
| Cromo                                |                        | mg/L              |                     | SM 3030-G; SM 3111-B             |                                     | 18/02/22               |       |             | 2.66                                      |                     |                    |
| Níquel                               |                        | mg/L              |                     | EPA 3015-SM3111 - GFAAS PLTX-012 |                                     | 01/03/22               |       |             | 0.51                                      |                     |                    |
| Arsénico                             |                        | ug/L              |                     | EPA 3015-SM3114C. PLTX-023       |                                     | 02/03/22               |       |             | 18.03                                     |                     |                    |
| Mercurio                             |                        | ng/mL             |                     | EPA7470. Zeeman. PLTX-045        |                                     | 03/03/22               |       |             | 0.74                                      |                     |                    |

OBSERVACIONES: LC: LIMITE DE CUANTIFICACIÓN



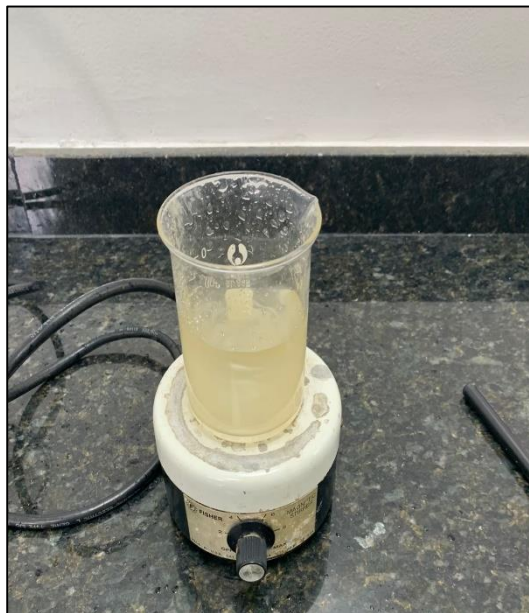
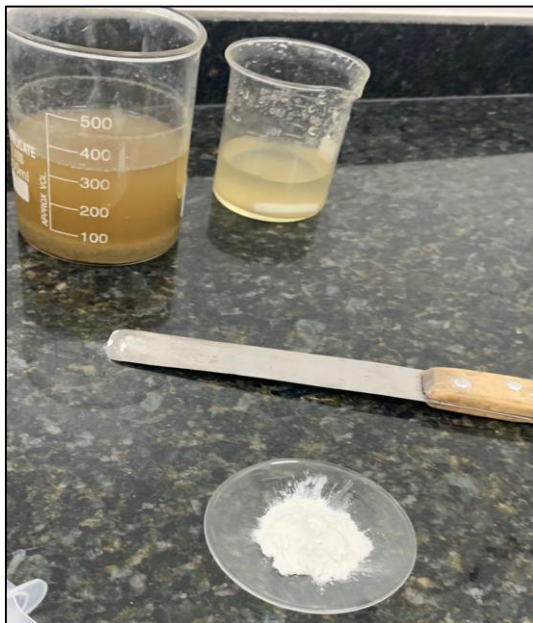
**Universidad  
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

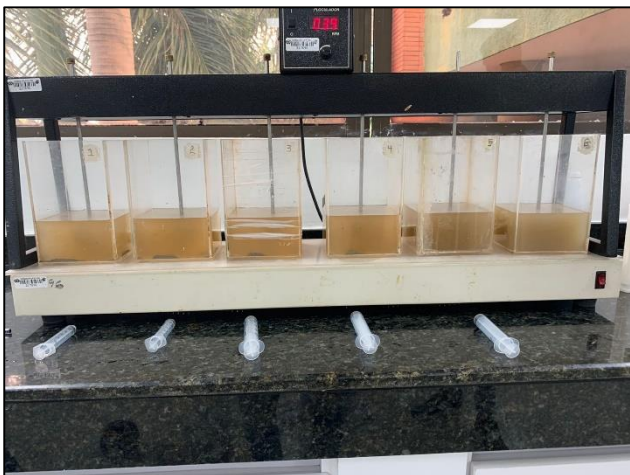


**Ingeniería  
Ambiental y Sanitaria**

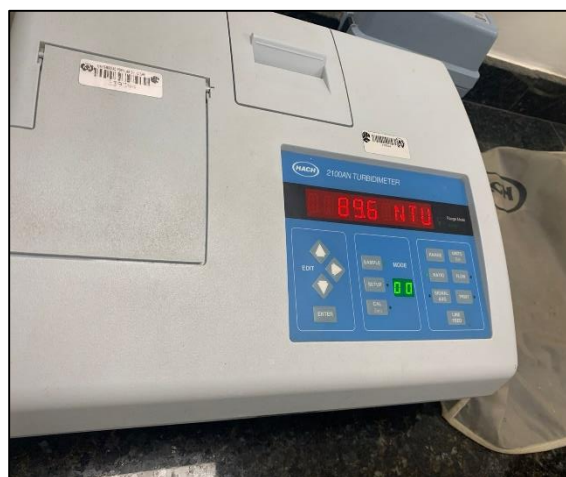
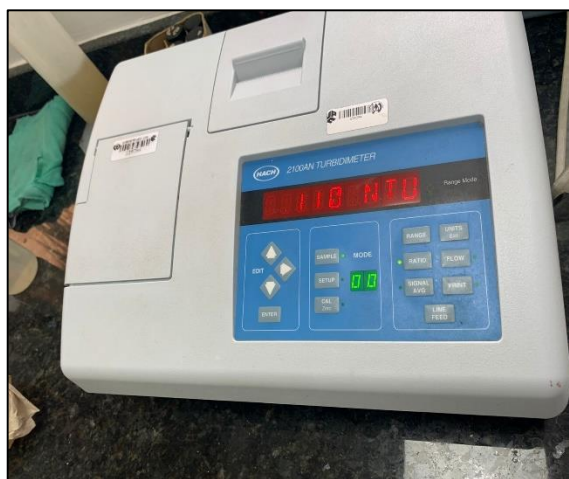
Fotografías 8, 9, 10 y 11. Tamizaje y preparación de coagulantes.



Fotografías 12, 13, 14 y 15. Trabajo en laboratorio – realización de prueba de jarras.



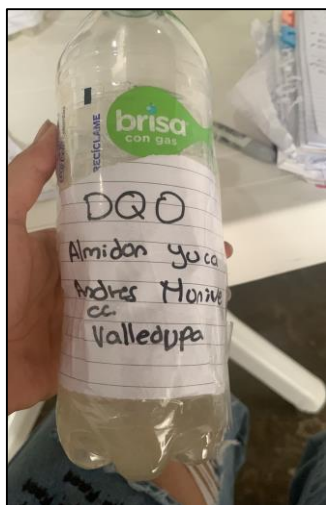
Fotografías 16, 17, 18 y 19. Trabajo en laboratorio – Toma de turbiedad.



Fotografía 20. Trabajo en laboratorio – Toma de pH



Fotografías 21 y 22. Envío de muestras con los respectivos coagulantes



Fotografías 23, 24 y 25. Resultados obtenidos del laboratorio de la Universidad de Córdoba.

|                                                                                                      |                               |  |                            |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--|----------------------------|--|
| <br>NIT 891080031-3 | <b>UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA</b> |  | <b>CÓDIGO:<br/>FLA-036</b> |  |
|                                                                                                      | <b>INFORME DE RESULTADOS</b>  |  | <b>07-10-20</b>            |  |
|                                                                                                      | <b>LABORATORIO DE AGUAS</b>   |  | <b>VERSIÓN:<br/>Nº 09</b>  |  |

**INFORME Nº 104**

**Fecha: 18/07/22**

|                   |                            |                  |                                                 |
|-------------------|----------------------------|------------------|-------------------------------------------------|
| <b>CLIENTE:</b>   | ANDRES CAMILO MUNIVE SOLIS | <b>DIRECCIÓN</b> | CLL 5C # 48 - 42 LA NEVADA - VALLEDUPAR - CESAR |
| <b>TELÉFONO</b>   | 3 0 0 8 5 5 1 3 5 9        | <b>NIT/CC #</b>  | 1 0 6 5 8 3 4 7 3 3                             |
| <b>INTERESADO</b> | ANDRES CAMILO MUNIVE SOLIS |                  |                                                 |

| MUESTRA         |                        |                   | MUESTREO            |       |                                     |                                                                                       |      |             |                                           |                     |                    |
|-----------------|------------------------|-------------------|---------------------|-------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------|-------------------------------------------|---------------------|--------------------|
| TIPO DE MUESTRA | CÓDIGO DEL LABORATORIO | FECHA DE RECIBIDO | PLAN DE MUESTREO Nº | FECHA | LUGAR DONDE SE REALIZA LA ACTIVIDAD | PUNTO                                                                                 | HORA | TOMADA POR: | CONDICIONES AMBIENTALES Y DE PRESERVACIÓN | NÚMERO DE ALÍCUOTAS | NÚMERO DE MUESTRAS |
| Agua Residual   | <b>220622-25</b>       | 22/06/22          | NA                  | NA    | San Marco - Sucre                   | <b>LODO DE PERFORACIÓN DE PETROLEO Y GAS<br/>N 8°42' 45.699"<br/>W 75°18' 55.997"</b> | NA   | Cliente     | NA                                        | 1                   | 1                  |

| PARÁMETRO                            | UNIDADES       | MÉTODO               | FECHA DE EJECUCIÓN | RESULTADO  |
|--------------------------------------|----------------|----------------------|--------------------|------------|
| pH                                   | Unidades de pH | SM 4500-H+ B         | 22/06/22           | 7.33       |
| DQO                                  | mg/L           | SM 5220 C            | 05/07/22           | 2986.67    |
| DBO5 (Demanda bioquímica de oxígeno) | mg/L           | SM 5210 B            | 22/06/22           | 1725.00    |
| Hierro                               | mg/L           | SM 3030-G; SM 3111-B | 30/06/22           | 14930      |
| Plomo                                | mg/L           | SM 3030-G; SM 3111-B | 30/06/22           | <LC(0.10)  |
| Mercurio*                            | ng/L           | CVAAS-Zeeman         | 13/07/22           | <LC(0.119) |
| Turbidez                             | NTU            | SM 2130 B            | 22/06/22           | 14500      |

OBSERVACIONES: \* Análisis subcontratados  
LC, LIMITE DE CUANTIFICACIÓN



|                                                                                                      |                               |                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| <br>NIT 891080031-3 | <b>UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA</b> | <b>CÓDIGO:<br/>FLA-036</b> |
|                                                                                                      | <b>INFORME DE RESULTADOS</b>  | <b>07-10-20</b>            |
|                                                                                                      | <b>LABORATORIO DE AGUAS</b>   | <b>VERSIÓN:<br/>N° 09</b>  |

| MUESTRA         |                                     |                   | MUESTREO            |       |                                     |               |      |             |                                           |                     |                    |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------|---------------------|-------|-------------------------------------|---------------|------|-------------|-------------------------------------------|---------------------|--------------------|
| TIPO DE MUESTRA | CÓDIGO DEL LABORATORIO              | FECHA DE RECIBIDO | PLAN DE MUESTREO N° | FECHA | LUGAR DONDE SE REALIZA LA ACTIVIDAD | PUNTO         | HORA | TOMADA POR: | CONDICIONES AMBIENTALES Y DE PRESERVACIÓN | NÚMERO DE ALICUOTAS | NÚMERO DE MUESTRAS |
| Agua Residual   | 280622-01<br>280622-02<br>280622-03 | 28/06/22          | NA                  | NA    | San Marco - Sucre                   | OPUNTIA FICUS | NA   | Cliente     | NA                                        | 3                   | 1                  |

| PARÁMETRO                            | UNIDADES       | MÉTODO               | FECHA DE EJECUCIÓN | RESULTADO  |
|--------------------------------------|----------------|----------------------|--------------------|------------|
| pH                                   | Unidades de pH | SM 4500-H+ B         | 28/06/22           | 7.21       |
| DQO                                  | mg/L           | SM 5220 C            | 05/07/22           | 215.17     |
| DBO5 (Demanda bioquímica de oxígeno) | mg/L           | SM 5210 B            | 28/06/22           | 112.50     |
| Hierro                               | mg/L           | SM 3030-G; SM 3111-B | 30/06/22           | 1.816      |
| Plomo                                | mg/L           | SM 3030-G; SM 3111-B | 30/06/22           | <LC(0.10)  |
| Mercurio*                            | ng/L           | CVAAS-Zeeman         | 13/07/22           | <LC(0.119) |

OBSERVACIONES: \* Análisis subcontratados  
LC, LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN

|                                                                                                        |                               |                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| <br>NIT 891080031-3 | <b>UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA</b> | <b>CÓDIGO:<br/>FLA-036</b> |
|                                                                                                        | <b>INFORME DE RESULTADOS</b>  | <b>07-10-20</b>            |
|                                                                                                        | <b>LABORATORIO DE AGUAS</b>   | <b>VERSIÓN:<br/>N° 09</b>  |

| MUESTRA         |                                     |                   | MUESTREO            |       |                                     |              |      |             |                                           |                     |                    |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------|---------------------|-------|-------------------------------------|--------------|------|-------------|-------------------------------------------|---------------------|--------------------|
| TIPO DE MUESTRA | CÓDIGO DEL LABORATORIO              | FECHA DE RECIBIDO | PLAN DE MUESTREO N° | FECHA | LUGAR DONDE SE REALIZA LA ACTIVIDAD | PUNTO        | HORA | TOMADA POR: | CONDICIONES AMBIENTALES Y DE PRESERVACIÓN | NÚMERO DE ALICUOTAS | NÚMERO DE MUESTRAS |
| Agua Residual   | 280622-04<br>280622-05<br>280622-06 | 28/06/22          | NA                  | NA    | San Marco - Sucre                   | ALMIDON YUCA | NA   | Cliente     | NA                                        | 3                   | 1                  |

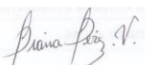
  

| PARÁMETRO                            | UNIDADES       | MÉTODO               | FECHA DE EJECUCIÓN | RESULTADO  |
|--------------------------------------|----------------|----------------------|--------------------|------------|
| pH                                   | Unidades de pH | SM 4500-H+ B         | 28/06/22           | 6.78       |
| DQO                                  | mg/L           | SM 5220 C            | 05/07/22           | 672.00     |
| DBO5 (Demanda bioquímica de oxígeno) | mg/L           | SM 5210 B            | 28/06/22           | 367.50     |
| Hierro                               | mg/L           | SM 3030-G; SM 3111-B | 30/06/22           | 5150       |
| Plomo                                | mg/L           | SM 3030-G; SM 3111-B | 30/06/22           | <LC(0.10)  |
| Mercurio*                            | ng/L           | CVAAS-Zeeman         | 13/07/22           | <LC(0.119) |

OBSERVACIONES: \* Análisis subcontratados  
LC, LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN

**NOTAS:**

Los anteriores resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente.  
El Laboratorio efectúa el muestreo según su procedimiento PLA-002, si es realizado por el laboratorio se anexa al informe un anexo con fotografías del punto muestreado.  
Cuando el muestreo no está a cargo del Laboratorio, este no se hace responsable del método de obtención de las muestras ni de las condiciones de estas antes de su llegada al Laboratorio, no se hace responsable de interpretación alguna que se haga respecto a la representatividad o validez de las muestras, ni responsable de la información reportada por el cliente.  
Si la muestra no fue tomada por el laboratorio, los resultados aquí obtenidos se aplican a la muestra cómo se recibió.  
El Laboratorio asegura la confidencialidad de los resultados presentados en este informe.  
No se permite la reproducción parcial del informe sin la autorización escrita del Laboratorio.  
Cuando las muestras son analizadas por proveedor externo este resultado se marca con un \* y se referencia el nombre del proveedor

  
**DIANA CAROLINA PÉREZ VERGARA**  
DIRECTOR TÉCNICO DE LABORATORIO

  
**CAROLINA JIMÉNEZ ARGUMEDO**  
OFICIAL DE CALIDAD

Fin de informe N° 104