

EFICIENCIA DEL COAGULANTE NATURAL A PARTIR DE LA SEMILLA DE *Jatropha curcas* PARA AGUAS CRUDAS EVALUANDO VARIABLES FÍSICO- QUÍMICAS DEL AGUA

EVELYN SABINA PANADERO DELGADO
CÓDIGO: 363212129

LINA MARIA POSADA RODRIGUEZ
CÓDIGO: 363212131

Trabajo De Grado Presentado Para Optar Al Título De Ingeniero Ambiental

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA-SECCIONAL GIRADOT
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
GIRARDOT – CUNDINAMARCA
2016

**EFICIENCIA DEL COAGULANTE NATURAL A PARTIR DE LA SEMILLA DE
Jatropha curcas PARA AGUAS CRUDAS EVALUANDO VARIABLES FÍSICO-
QUÍMICAS DEL AGUA**

**EVELYN SABINA PANADERO DELGADO
CÓDIGO: 363212129**

**LINA MARIA POSADA RODRIGUEZ
CÓDIGO: 363212131**

Trabajo De Grado Presentado Para Optar Al Título De Ingeniero Ambiental

**ABBAD JACK JIMMINK MURILLO
Administrador Ambiental – Ingeniero Civil
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Director Trabajo de Grado**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA-SECCIONAL GIRADOT
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
GIRARDOT – CUNDINAMARCA
2016**

Notas de aceptación

Firma del Director del trabajo

Firma Jurado

Firma jurado

DEDICATORIAS

Lina

Dedico este trabajo a Dios por bendecirme y permitirme culminar mi carrera a mi madre Miryam Posada Rodríguez quien con su incondicional y valioso apoyo siempre ha creído en mí dándome ejemplo de humildad y superación y me ha enseñado a valorar todo lo que tengo, fomentando en mí el deseo de superación y triunfo en la vida. A mis tías por su compañía y apoyo cuando fue necesario y a nuestra amiga Yolanda Amaya quien con su colaboración contribuyo a llevar a feliz término mi carrera.

Evelyn:

Quiero dedicar el fruto de este trabajo a ese ser supremo que muchos llaman Dios y a mi familia especialmente a mis padres, en ellos he encontrado el apoyo incondicional y el motor para continuar en este camino lleno de triunfos y obstáculos, a los docentes de la Universidad de Cundinamarca que no solo aportaron en la formación de un profesional si no de un ser humano.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirnos sonreír ante este logro de los muchos que tenemos proyectados en nuestras vidas. A la Universidad de Cundinamarca y sus docentes, por la formación que nos brindaron para llegar a ser un excelente profesional. Al profesor Abbad Jack Jimmink por su asesoría, ayuda y conocimiento para poder culminar exitosamente nuestra investigación. A nuestros familiares y amigos los cuales aportaron su granito de arena cuando lo necesitamos durante la carrera y el desarrollo de este trabajo de grado. Por ultimo agradecerle a la empresa de servicios públicos de melgar EMPUMELGAR E.S.P., por su colaboración y disponibilidad de su laboratorio para realizar nuestros análisis.

CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO	19
2. INTRODUCCIÓN	21
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
4. JUSTIFICACION	24
5. OBJETIVOS	26
6. MARCO REFERENCIAL	27
6.1 Marco teórico.....	27
6.1.1 El agua	27
6.1.2 <i>Jatropha curcas</i>	28
6.1.3 Cinemática de la coagulación	32
6.2 Marco conceptual	43
6.2.1 Características fisicoquímicas del agua	43
6.2.2 Turbidez:	43
6.2.3 Color:.....	44
6.2.4 pH	44
6.2.5 Coagulación.....	44
6.2.6 Coagulantes naturales.....	45
6.2.7 Floculación:	46
6.3 Marco legal:.....	47
6.4 Marco geográfico	49
6.4.1 Ubicación y Características Agro-climatológicas	49
6.4.2 Climatología.....	49
6.4.3 Hidrología	51
7. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	53
7.1 Toma de muestras de agua.....	53
7.2 Recoleccion de semillas	54
7.3 Protocolo de activación de la proteína y dosificación de la semilla ..	56

7.4	Protocolo de preparación disoluciones y dosificación del Sulfato de Aluminio	60
7.5	Prueba de Jarras.....	62
7.6	Mediciones de prueba física - Turbiedad.....	64
7.7	Medición de prueba física – Color.....	64
7.8	Medición de prueba química – pH.....	65
8.	RESULTADOS Y DISCUSION	67
	Turbidez:	70
	Color:	71
	pH: 72	
	Eficiencia de los Coagulantes	74
	Grafica 7. Eficiencia de los coagulantes	75
9.	CONCLUSIONES	80
10.	RECOMENDACIONES.....	81
11.	REFERENCIAS	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Metabolitos aislados de diferentes estructuras de <i>Jatropha curcas</i>	31
Tabla 2. Normatividad Ambiental.....	47
Tabla 3. Puntos de recolección	55
Tabla 4. Matriz de datos los análisis de laboratorio	67
Tabla 5. Promedio de las tres variables medidas – BioCoagulante semilla <i>Jatropha curcas</i>.....	69
Tabla 6. Promedio de las tres variables medidas – Coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A	69

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Movimiento browniano	33
Figura 2. Difusión	33
Figura 3. Presión Osmótica.....	34
Figura 4. Diseminación de la Luz.....	34
Figura 5. Propiedades de Superficie	35
Figura 6. Modelo Físico	37
Figura 7. Fases de la Coagulación	40
Figura 8. Dosis crecientes de coagulante.....	41
Figura 9. Dosis de Coagulante dependiendo de las concentraciones de partículas de turbiedad.....	42
Figura 10. Climatología de Girardot	49
Figura 11. Temperaturas Promedio Municipio de Girardot.....	50
Figura 12. Humedad del Municipio de Girardot	50
Figura 13. Velocidad del Aire.....	51
Figura 14. Ubicación del Municipio de Girardot en Colombia	52
Figura 15. Ubicación Municipio de Girardot	52
Figura 16. Toma de muestras de agua – Rio Magdalena	54
Figura 17. Semilla con cascara Jatropha curcas.....	56
Figura 18. Procesador de alimentos manual	56
Figura 19. Evidencia de molienda de la semilla Jatropha curcas.....	57
Figura 20. Balanza Analítica – Pesaje de 5 g de Jatropha curcas	58
Figura 21. Pesaje Sulfato de Aluminio	60
Figura 22. Prueba de Jarras – Agitación durante 4 minutos a 100 rpm.	62
Figura 23. Prueba de Jarras – Agitación 40rpm durante 25 min	63
Figura 24. Turbidímetro 2100N marca HACH	64
Figura 25. Fotómetro PF-12 Plus	64
Figura 26. pH-metro referencia pH3210.....	65
Figura 27. Relación turbidez y color	76

LISTADO DE GRAFICAS

Grafica 1. Remoción de turbidez con la semilla de <i>Jatropha curcas</i>	70
Grafica 2. Remoción de turbidez con sulfato de aluminio tipo A	71
Grafica 3. Remoción de color con la semilla de <i>Jatropha curcas</i>	72
Grafica 4. Remoción de color con sulfato de aluminio tipo A	72
Grafica 5. Variaciones de pH con semilla de <i>Jatropha curcas</i>	73
Grafica 6. Variación de pH con sulfato de aluminio tipo A	73
Grafica 7. Eficiencia de los coagulantes.....	63

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Proceso de activación de biocoagulante	59
Ilustración 2 Proceso de dilución de sulfato de aluminio	61
Ilustración 3 Metodología para análisis de eficiencia	66

1. RESUMEN EJECUTIVO

El tratamiento de químico para la potabilización del agua, es un proceso imprescindible ya que permite la remoción de las impurezas presentes en el agua. A través de la historia los coagulantes químicos han desarrollado esta función, pero muchos pueden tener consecuencias muy nocivas para la salud humana y de los individuos del entorno.

Por tal motivo buscar nuevas alternativas naturales para la remoción de turbidez y color en el agua cruda juega un papel fundamental en el acceso que pueda tener la comunidad de recursos económicos limitados al agua potable. Este trabajo comprobó la efectividad de la semilla de *Jatropha curcas* como coagulante de agua cruda del Río Magdalena entre el Puente Ospina Pérez y el Puente Ferreo del municipio de Girardot - Cundinamarca comparándola con un coagulante químico tradicional como lo es el sulfato de aluminio Tipo A. Se midieron tres variables: turbiedad, color y pH, en donde se hacían varias dosificaciones para encontrar la más efectiva. Estos análisis se realizaron a través de la prueba de jarras y con el uso de aparatos suministrados por la empresa de servicios públicos del municipio de Melgar, Tolima que nos permitieran medir los diferentes parámetros.

También se determinó la eficiencia de los dos coagulantes determinando cuál tiene un mayor porcentaje de remoción de turbidez.

ABSTRACT

The use of coagulants based on plants for the treatment of turbid waters dates back to several millennia (SANGHI, R, et. al. 2002) and, till now, the environmental scientists could have identified several types of plants, for this intention. The employment of natural materials can minimize or avoid the use of the chemical coagulants (YIN, C.Y. 2010). The majority of these they stem from seeds, leaves, barks or sap, roots and fruits of trees and plants or can extract of microorganisms, animals or vegetable fabrics (PRITCHARD, M; et. al.). This investigation had as intention realize a few tests from different doses of the seed *Jatropha curcas* as biocoagulant measuring such variable physicist - chemistry as color, turbidity and pH; comparing it with the conventional coagulant Sulfate of Aluminium. To be able to find the results a descriptive statistics is realized where it comes near to an analysis

one determines that the removal of turbidity on the part of the biocoagulante of the seed J. curcas is 18,6 NTU in average this owes to the variable of pH which changes the conditions of the water diminishing the capacity of the biocoagulante, but on the other hand the sulfate of aluminium I achieve a removal of 1,47 NTU expiring with the in force normatividad of Colombia. With regard to the color the awaited results were not achieved since any of the coagulants manage to fulfill the normatividad and finally the pH tends to rise independently of the dose that is applied with regard to the biocoagulante, but on the contrary with the sulfate the pH tends is to going down.

2. INTRODUCCIÓN

El uso de coagulantes a base de plantas para el tratamiento de aguas turbias data de varios milenios¹ y, hasta ahora, los científicos medioambientales han podido identificar varios tipos de plantas, para este propósito. El empleo de materiales naturales puede minimizar o evitar el uso de los coagulantes químicos². La mayoría de estos se derivan de semillas, hojas, cortezas o savia, raíces y frutos de árboles y plantas o pueden extraerse de microorganismos, animales o tejidos vegetales³

Además, los coagulantes naturales producen menos cantidad de lodos rápidamente degradables que su contraparte el alumbre⁴. Los coagulantes naturales se han usado en el tratamiento de aguas para consumo doméstico tradicionalmente en áreas rurales tropicales⁵.

Jatropha curcas es una de las plantas que posee la capacidad coagulante, gracias a las proteínas catiónicas que poseen sus semillas siendo una buena opción para el tratamiento de agua potable, siendo una planta nativa de América central. Se le encuentra mayormente a bajas elevaciones, por debajo de los 1200 msnm, en ecosistemas de bosque seco tropical y bosque húmedo tropical, con precipitaciones de 300 a 1800 mm y temperaturas de 18 a 28°C, aunque se planta en sitios con temperaturas de hasta 34°C⁶.

¹ SANGHI, R.; BHATTACHARYA, B.; SINGH, V. 2002. Cassia angustifolia seed gum as an effective natural coagulant for decolourisation of dye solutions. *Green Chem.* 4:252-254.

² YIN, C.Y. 2010. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochem.* 45:1437-1444.

³ PRITCHARD, M., MKANDAWIRE, T., EDMONDSON, A., O'NEILL, J. and KULULANGA, G. Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 34(13-16), 2009, p. 799-805.

⁴ BHUPTAWAT, H., FOLKARD, G.K. and CHAUDHARI, S. Innovative physico-Chemical treatment of wastewater incorporating *Moringa oleifera* seed coagulant. *Journal of Hazardous Materials*, 142(2007) p. 477-482

⁵ GUZMÁN L., VILLABONA, A. y TEJADA, C. Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión. *Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1) 2013, p. 253-262.

⁶ ANONIMO, *Jatropha curcas*, 2010 en:

http://www.arbolesdecentroamerica.info/index.php/en/species/item/download/123_013d7b796ebbc1476b4c98afdb99bce7 [consulta 10/08/2016]

Es por esto que este estudio compara la semilla de *Jatropha curcas*, con el sulfato de aluminio tipo A como coagulante de agua cruda, midiendo la eficiencia de remoción de turbidez a través del test de jarras y diferentes parámetros físicos y químicos del agua como son turbidez, color y pH. La muestra utilizada para los ensayos de laboratorio fue recolectada en el río Magdalena a la altura de la ciudad de Girardot.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los coagulantes más utilizados para el tratamiento de agua y agua residual son: el sulfato de aluminio, las sales férricas y los polímeros sintéticos orgánicos. No obstante, estudios recientes han mostrado la toxicidad de los metales contenidos en los lodos que se producen en las plantas de tratamiento de aguas residuales, los cuales pueden contener cloruro férrico o sulfato de aluminio. Sotero-Santos et al, han mostrado que el cloruro férrico de los lodos de plantas de tratamiento de aguas tiene un efecto de toxicidad para los organismos acuáticos como: crustáceos, mosquitos y peces⁷; de igual forma, el aluminio de los extractos de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales mostraron efecto de toxicidad crónica y aguda sobre: algas, protozoarios, bacterias marinas y peces⁸; por otro lado, también se ha reportado que el aluminio tiene toxicidad en plantas⁹. En humanos, las evidencias indican que el aluminio puede ser cancerígeno, es tóxico para el cerebro y es probable que tenga un papel patogénico en la enfermedad de Alzheimer¹⁰. Por lo anterior es necesario buscar otras opciones de coagulantes que tenga la misma efectividad, pero que no tenga consecuencias dañinas para el ambiente, ni el ser humano.

⁷ Sotero-Santos, R. B., O. Rocha & J. Povinelli. 2007. Toxicity of ferric chloride sludge to aquatic organisms. *Chemosphere* 68(4), 628-636.

⁸ George, D. B., S. G. Berk, V. D. Adams, R. S. Ting, R.O. Roberts, L.H. Parks & R.C. Lott. 1995. Toxicity of alum sludge extracts to freshwater alga, protozoan, fish, and marine bacterium. *Ach. Environ contam. Toxicol.* 29, 149-158

⁹ Poschenrieder, C., B. Gunse, I. Corrales & J. Barcelo. 2008. A Glance into aluminum toxicity and resistance in plants. *Sci. Total Environ.* 400 (1-3), 356-368.

¹⁰ Krishnan, K.R.R., McDonald, W.M. Arteriosclerotic depression. *Med Hypotheses.* 1995;44:111-115.

4. JUSTIFICACION

En el mundo continúan no menos de 1000 millones de personas sin acceso al agua potable, aproximadamente un 20% de la población total de la tierra no disponen de agua, o aquella que la disponen no es sana¹¹, si a ello se suma que la población mundial aumenta a una velocidad de 200.000 personas al día, el problema tiende a empeorar¹²

Los países suramericanos no se salvan de esta realidad, como por ejemplo el 28 por ciento de la población rural de Colombia enfrenta una situación crítica por la falta de acueducto¹³

Esta situación ha generado que se creen organizaciones comunitarias que tienen por objetivo brindar agua a las zonas más lejanas y rurales del país. En Colombia son más de doce mil las organizaciones comunitarias que proveen servicios públicos domiciliarios, las cuales suministran agua potable y saneamiento básico alrededor del 40% de los pobladores rurales en el país¹⁴.

Ya que el Estado, ni la empresa privada han querido ser responsables del agua potable de la comunidad, se han generado los acueductos veredales, que son sistemas simples que cuenta con un proceso de captación, inducción y almacenamiento de agua.

El uso que tiene el recurso hídrico puede ser pecuario, para riego o doméstico, en muchos casos se dan los 3 usos, siendo un riesgo para la salud, ya que estos sistemas en la gran mayoría no cuentan con algún tipo de tratamiento químico, que permitan realizar una mejora de la calidad de agua que se consume.

¹¹ Organización de Naciones Unidas ONU, (2000), *Índice de Desarrollo Humano*, PNUD, En: Agencia EFE, San José Costa Rica, 30 de Junio de 2000.

¹² UNESCO. (1992), *Programa de educación sobre problemas ambientales en las ciudades*, Departamento de Urbanismo, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco: Los Libros de la Catarata ed., 1995.

¹³ JIMENEZ, Cristian. ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia?. Editorial EL TIEMPO

¹⁴ MONCADA Jhonny, PÉREZ Carolina, VALENCIA Germán. Comunidades organizadas y el servicio público de agua potable en Colombia: una defensa de la tercera opción económica desde la teoría de recursos de uso común. Medellín, ecos de economía, N° 37 pp 125-159.

Por los requerimientos técnicos de una planta de tratamiento de agua potable o los costos asociados a la puesta en marcha e insumos necesarios para la potabilización, las comunidades no logran consumir agua potable. Es por esto que, buscar alternativas que mejoren la calidad del agua consumida en las zonas rurales a través de compuestos naturales, reducirían los costos de operación de un PTAP y lograrían incrementar la cobertura de agua potable.

Siendo el agua potable, la que asegura la supervivencia, debiera reconocérsele la prioridad principal, garantizando la sustentabilidad de los ecosistemas y el acceso a un mínimo vital como un derecho humano¹⁵.

¹⁵ LOPEZ, Alberto. Consideraciones sobre el sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia, tomadode:<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/Consideraciones%20sobre%20el%20Sector%20de%20agua%20potable%20y%20saneamiento%20b%C3%A1sico.pdf>

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general.

Comprobar la eficiencia de la semilla de *Jatropha curcas* como coagulante de agua cruda, midiendo los parámetros de turbidez, color y pH del agua proveniente del río Magdalena en el municipio de Girardot – Cundinamarca en el sector del Puente Ospina Pérez al Puente Ferreo.

5.2. Objetivos específicos

- Realizar caracterización de parámetros físico-químicos del agua cruda (turbidez, color, pH) del río Magdalena a la altura de la ciudad de Girardot, Cundinamarca.
- Activar la proteína coagulante de la semilla de *Jatropha curcas* basado en el protocolo de obtención del biocoagulante según Bidin.Z.Z, Shamsudin. N.M.S, Madehi. N, Sobri. S. 2013
- Evaluar los parámetros físico-químico de turbidez, pH, y color en el agua después del tratamiento con las semillas de *Jatropha curcas* y establecer una muestra de comparación a partir de un coagulante convencional (sulfato de aluminio).
- Comparar los resultados del tratamiento con las semillas y con el coagulante convencional sulfato de aluminio estableciendo la eficiencia del coagulante natural.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 Marco teórico

6.1.1 El agua

El agua potable siempre ha sido necesidad para toda la población del mundo. Los griegos fueron de los primeros en tener interés en la calidad del agua, ellos utilizaban embalses de aireación para la purificación del agua¹⁶.

El agua salubre y fácilmente accesible es importante para la salud pública, ya sea que se utilice para beber, para uso doméstico, para producir alimentos o para fines recreativos. La mejora del abastecimiento de agua, del saneamiento y de la gestión de los recursos hídricos puede impulsar el crecimiento económico de los países y contribuir en gran medida a la reducción de la pobreza¹⁷.

El agua contaminada y el saneamiento deficiente están relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, otras diarreas, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Los servicios de agua y saneamiento inexistentes, insuficientes o gestionados de forma inapropiada exponen a la población a riesgos prevenibles para su salud¹⁸.

El cambio climático, el aumento de la escasez de agua, el crecimiento de la población, los cambios demográficos y la urbanización ya suponen desafíos para los sistemas de abastecimiento de agua. De aquí al 2025, la mitad de la población mundial vivirá en zonas con escasez de agua. La reutilización de las aguas residuales para recuperar agua, nutrientes o energía se está convirtiendo en una estrategia importante¹⁹.

Teniendo en cuenta lo anterior se han implementado diferentes procesos de potabilización tales como físico el cual consiste en la eliminación de la turbiedad y el color; es decir la eliminación de materias en suspensión, finamente divididas, que

¹⁶ Lenntech B.V., 2016. *Historia del tratamiento de agua poble*.

¹⁷ Organización Mundial de la Salud, 2015. *Agua*. N°369

¹⁸ Ibid

¹⁹ Ibid

no asientan fácilmente, acompañadas muchas veces de materias orgánicas coloidales o disueltas, que no son retenidas por la simple filtración. Para ello es necesario un tratamiento previo con coagulante químico, seguido de floculación, sedimentación, filtración, a través de un manto de arena u otro material inerte y finalmente un tratamiento de desinfección, más o menos intenso, según el grado de contaminación. También está el proceso químico este se refiere a la corrección del pH del agua, a la reducción de la dureza, a la eliminación de los elementos nocivos o al agregado de ciertos productos químicos, buscando siempre mejorar la calidad del agua. La corrección del pH puede hacerse agregando cal o carbonato de sodio, antes o después de la filtración. La reducción de la dureza, puede hacerse por métodos simples (cal, soda, Zeolita o resinas) o métodos compuestos (cal-soda; cal zeolita, cal-resinas). La eliminación de elementos nocivos puede referirse a bajar los contenidos excesivos de hierro, manganeso, flúor, arsénico o vanadio. Y por último está el proceso bacteriológico el cual se refiere casi exclusivamente a la desinfección con cloro²⁰.

6.1.2 *Jatropha curcas*²¹

Es una oleaginosa de porte arbustivo con más de 3500 especies agrupadas en 210 géneros. Es originaria de México y Centroamérica, pero crece en la mayoría de los países tropicales. Se le cultiva en América Central, América del Sur, Sureste de Asia, India y África. La palabra *jatropha* proviene del griego *iatrós* que significa médico y *trophé* alimento.

Es un arbusto grande, de crecimiento rápido, cuya altura normal es de dos a tres metros, pero puede alcanzar hasta ocho metros en condiciones especiales. El tronco presenta un fuste ramificado a poca altura y una corteza lisa de madera suave, médula desarrollada poco resistente, de aproximadamente 20 cm de

²⁰ Sociedad de aguas del tutuncuma, 2016. *Proceso de potabilización del Agua*. SAT.

²¹ Bartoli.A.J.A.2008. Manual para el Cultivo de Piñon (*Jatropha curcas*) Honduras. elaborado por el Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). Pag. 1-5.

diámetro, de color blanco grisáceo; floema con largos canales que se extienden hasta las raíces, por los cuales circula el látex, jugo lechoso que brota con abundancia de cualquier herida.

Raíz: La planta de piñón posee raíces cortas y poco ramificadas, normalmente cuando las plántulas proceden de semilla se forman cinco raíces, una central y cuatro periféricas (2 secundarias y 2 terciarias). En el caso de propagación por material vegetativo (asexual) la nueva planta no posee raíz pivotante y las raíces que se forman se insertan superficialmente²².

Tallo: No hay uniformidad en el crecimiento de los tallos, lo que parece ser una característica varietal, como ejemplo la criolla presenta un tallo erecto sin mucha ramificación y también diferente forma de hojas, en comparación con las variedades Cabo Verde e India-Salvadoreña que ramifican más espontáneamente o de forma natural, desde la parte basal. El tronco o fuste está dividido desde la base, en ramas largas, con numerosas cicatrices producidas por la caída de las hojas en la estación seca, las cuales resurgen luego de las primeras lluvias (Corteseo, 1956; Brasil, 1985)²³.

Hojas: Las hojas del piñón son verdes, amplias y brillantes, largas y alternas, en forma de palmas pecioladas, la mayoría de 7–16 cm de largo y de alrededor del mismo ancho, con nervaduras blanquecinas y salientes en el envés, casi glabras pero más o menos pilosas debajo en las nervaduras. Normalmente se forman con 5 a 7 lóbulos acuminados, pocos profundos y grandes, con pecíolos largos de 10 a 15 cm. El piñón es un árbol de hojas caducas (caducifolio) de acuerdo con Corteseo (1956) e Brasil (1985) durante la época de verano (diciembre–abril) en Yoro, es muy común ver los tallos sin hojas²⁴.

²² Bartoli. A. J. A. 2008. Manual para el Cultivo de Piñón (*Jatropha curcas*) Honduras. elaborado por el Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). Pag. 1-5.

²³ Ibid.

²⁴ Ibid.

Flores: La floración es monoica, presentándose los órganos masculino y femenino en la misma planta, las inflorescencias se forman terminalmente en el axial de las hojas en las ramas. Ambas flores, son pequeñas (6–8 mm), de color verdoso amarillo en el diámetro y pubescente. Cada inflorescencia cuajada muestra un racimo de aproximadamente 5–10 frutos²⁵.

Fruto: Son cápsulas drupáceas y ovoides con diámetro de 1.5 a 3.0 cm. Al inicio son carnosas, pero dehiscentes cuando se secan. El desarrollo del fruto toma entre 60 y 120 días, por lo general 90, desde la floración hasta la madurez de la semilla según las variedades, igualmente la reproducción se detiene al inicio del periodo de lluvias. Los frutos se presentan frecuentemente dispares y, el crecimiento de los frutos tardíos comienza hasta después de la maduración de los frutos tempranos.

Semilla: La semilla es relativamente grande; cuando está seca mide de 1.5 a 2.0 cm de largo y 1.0 a 1.3 cm de diámetro. Debajo de la envoltura de la semilla (tegumento) existe una película blanca cubriendo la almendra; el albumen abundante, blanco, oleaginoso, conteniendo el embrión provisto de dos largos cotiledones achatados. La semilla de piñón, pesa entre 0.551 a 0.797 g, puede tener, dependiendo de la variedad y de los tratamientos culturales, en proporción de 33.7 a 45% de cáscara y de 55 a 66% de almendra. En esas semillas, según la literatura, se concentran: 7.2% de agua, 37.5% de aceite y 55.3% de azúcar, almidón, albuminoides y materiales minerales, siendo 4.8% de cenizas y 4.2% de nitrógeno²⁶.

²⁵ Bartoli, A.J.A. 2008. Manual para el Cultivo de Piñón (*Jatropha curcas*) Honduras. elaborado por el Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). Pag. 1-5.

²⁶ Ibid.

Tabla 1. Metabolitos aislados de diferentes estructuras de *Jatropha curcas*²⁷

Estructuras	Compuestos
Hojas	Flavonoides: apigenina, vitexina, isovitexina
	Diterpenos: heudolotina
	Esteroles: estigmasterol, estigmast-5-en-3β,7β-diol, estigmast-5-en-3β,7α-diol, colest-5-en-3β,7β-diol, colest-5-en-3β,7α-diol, campesterol, β-sitosterol, 7-ceto-β-sitosterol, β-D-glucósido
	Triterpenos: α-amirina, 1-triacontanol y el dímero
	Aminas: mezcla de 5-hidroxipirrolidina-2-ona y pirimidina-2,4-diona
Tallos	Triterpenos: β-amirina, β-sitoesterol, Taraxerol, <i>epi</i>-friedelinol, friedelina,
	Cumarinas: éster metílico escopoletina
	Diterpenos: palmarumicina CP1, palmarumicina JC1, palmarumicina JC2
Parte aérea	Ácidos: <i>o</i>-cumárico, <i>p</i>-cumárico, <i>p</i>-metilbenzoico, <i>p</i>-
	Diterpenos: 15-O-acetil-15-<i>epi</i>-(4<i>E</i>)-jatrogrossidentadiona, isojatrogrossidentadiona 3-β-cetoxi- 12- metoxi-13-metil-podocarpa-8,11,13-trieno-7-ona, 3β,12-hidroxi-13-metil-podocarpaz8,10,13- trieno

²⁷Pabon, L. C., & Hernandez, P. (2012). Importancia Química de la *Jatropha curcas* y sus aplicaciones biológicas, farmacológicas e industriales. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. Recuperado el 15 de 8 de 2016, de <http://scielo.sld.cu/pdf/pla/v17n2/pla08212.pdf>

Raíces	Esteroles: β-sitosterol y su β-D-glucósido, daucosterol
	Triterpenos: taraxerol
	Cumarina: tomentina, marmesina, propazina, jatrofina, 5-hidroxi-6,7-dimetoxicumarina, 6-metoxi-7- hidroxicoumarina
	Diterpenos: curculatirano A y B, curcusona A- D, jatrolona A y B, jatrolol, jatrolactama, caniojana
	Flavonoides: nobiletina
Látex	Peptidos: curcaciclina A y B
	Enzimas: curcaína
	Alcaloides: jatrofina, jatrofano
Semillas	Esteroles: β-sitosterol y su β-D-glucósido
	Diterpenos: factores C1-C6(diésteres núcleo tiglano 12-deoxi-16-hidroxiforbol)
	Azúcares: dulcitol y sacarosa
	Proteínas: esterasa JEA, JEB, lipasa JL, curcina

6.1.3 Cinemática de la coagulación²⁸

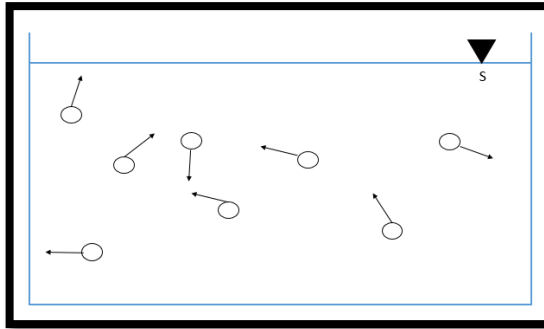
6.1.3.1 Propiedades de los Coloides

✓ Propiedades Cinéticas:

- a) Movimiento Browniano: Las partículas coloidales no pueden sedimentarse aunque sean más densas que el agua, debido a un movimiento constante y desordena

²⁸Perez, P. J. (2008). *Tratamiento de Aguas - Floculación y Coagulación*. Universidad Nacional - Facultad de minas, Bogotá. Recuperado el 29 de 9 de 2016

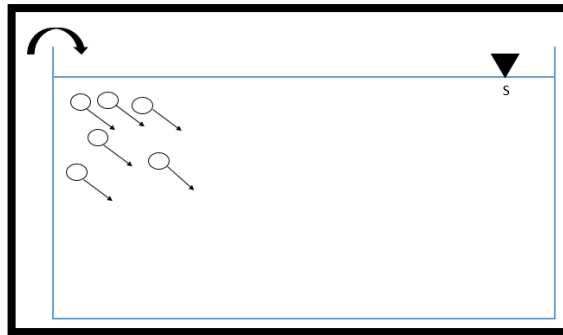
Figura 1. Movimiento browniano



Fuente: (Perez, P. J. 2008)

- b) Difusión: Movimiento incesante de las partículas coloidales que hace que se difundan en el agua, esto es, que se distribuyan uniformemente.

Figura 2. Difusión

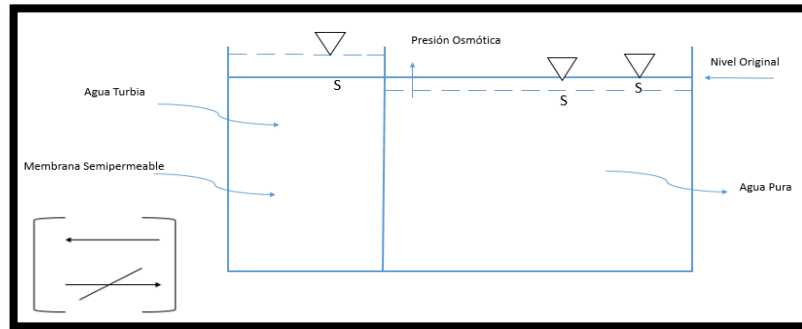


Fuente: (Perez, P. J. 2008)

- c) Presión Osmótica: Debido al movimiento Browniano. Si la concentración de partículas no es uniforme, hay flujo de partículas de zonas de alta concentración a zonas de baja concentración²⁹.

²⁹Perez, P. J. (2008). *Tratamiento de Aguas - Floculación y Coagulación*. Universidad Nacional - Facultad de minas, Bogotá. Recuperado el 29 de 9 de 2016

Figura 3. Presión Osmótica

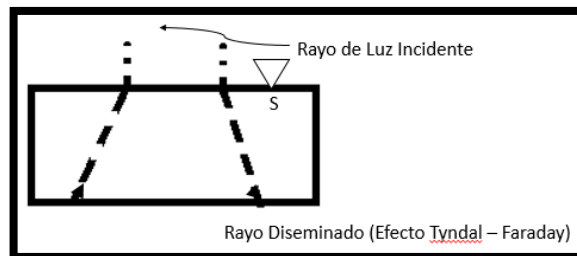


Fuente: (Perez, P. J. 2008)

✓ **Propiedades Ópticas:**

- a) **Diseminación de la luz:** Un rayo de luz es diseminado al pasar a través de una suspensión coloidal. La diseminación hace aparecer a la solución como turbia. Es por esto que la turbiedad es una forma de medir la concentración de partículas coloidales en el agua³⁰.

Figura 4. Diseminación de la Luz



Fuente: (Perez, P. J. 2008)

- b) **Opalescencia:** Los coloides primarios son incoloros, sin embargo, las suspensiones coloidales aparecen coloreadas. Esto se debe a la diseminación de la luz y a la absorción preferencial por parte del coloide de una cierta longitud de onda. Como la coloración es proporcional al número

³⁰Perez, P. J. (2008). *Tratamiento de Aguas - Floculación y Coagulación*. Universidad Nacional - Facultad de minas, Bogotá. Recuperado el 29 de 9 de 2016

de coloides, se utiliza el color como otra manera de medir la concentración de partículas coloidales³¹.

✓ **Propiedades de Superficie:**

Cuando la materia se subdivide hasta el tamaño coloidal, se produce un gran incremento del área superficial³².

Figura 5. Propiedades de Superficie

<u>Largo de un lado</u>	<u>Cantidad de Cubos</u>	<u>Superficie Total</u>
1cm	1	6 cm ²
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
1 ⁻⁶ mm	10 ²¹	10 m ²

Fuente: (Perez, P. J. 2008)

Esta enorme área tiene tendencia a la adsorción. Esto hace que los coloides tengan la propiedad de adsorber iones y moléculas.

- Adsorción: Acumulación de 10 adsorbido sobre la superficie del adsorbente.
- Absorción: Difusión de 10 absorbido dentro del adsorbente.

✓ **Propiedades Electrocinéticas:**

Se ha observado que las partículas de una dispersión coloidal se mueven de un polo de determinado signo a otro. Esto implica que los coloides poseen una carga electrostática³³.

La carga es debida a:

- a) Reemplazo Isomórfico: La red de los cristales de las arcillas puede tener imperfecciones lo que permite el reemplazo de un átomo de mayor valencia

³¹ Perez, P. J. (2008). *Tratamiento de Aguas - Floculación y Coagulación*. Universidad Nacional - Facultad de Minas, Bogotá. Recuperado el 29 de 9 de 2016

³² Ibid

³³ Ibid

por otro de menor valencia o viceversa, con lo cual el coloide adquiere carga eléctrica.

- b) Ionización: Muchos coloides adsorben grupos químicos como carboxidos, hidróxidos, los cuales se ionizan en el agua dando origen a carga eléctrica.
- c) Adsorción Preferencial: Los coloides también pueden cargarse por adsorción preferencial de iones en su superficie. Esto es debido a las fuerzas electrostáticas o eléctricas, o a fuerzas químicas

6.1.3.2 Fuerzas que Intervienen entre los Coloides

✓ Coulómbicas:

La naturaleza de las partículas coloidales es muy similar y por este motivo la carga adquirida por ellas por cualquiera de las causas anteriormente vistas es primordialmente del mismo signo, creando fuerzas repulsivas que impiden que dichas partículas se junten. Se desarrollan cuando las partículas se acercan entre sí. Decece con el cuadrado de la distancia³⁴.

✓ Van der Waals:

Se deben al movimiento continuo de los electrones en sus órbitas, originando fuerzas que son siempre atractivas, y pueden existir entre partículas de carga opuesta, entre partículas neutras y entre partículas con la misma carga. Es débil, decrece con la séptima potencia de la distancia y es efectiva cuando las partículas están separadas menos de 10- 6 mm. Es gran responsable de la adsorción de iones y moléculas por los coloides. Las fuerzas Coulómbicas son de mayor magnitud que las fuerzas de Van der Waals³⁵.

6.1.3.3 Coagulación

La coagulación se efectúa por medio de coagulantes. Comienza en el instante mismo que se agregan los coagulantes, y dura fracciones de segundo. Básicamente

³⁴ Perez, P. J. (2008). *Tratamiento de Aguas - Floculacion y Coagulacion*. Universidad Nacional - Facultad de minas, Bogota. Recuperado el 29 de 9 de 2016

³⁵ Ibid

consiste en una serie de reacciones físicas y químicas, entre la superficie de los coloides, el coagulante, la alcalinidad (que tiene que estar presente) y el agua misma.

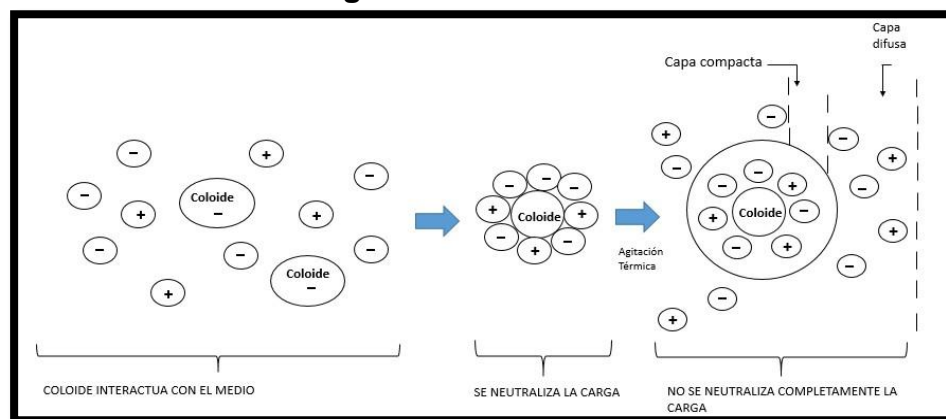
Dos modelos la explican:

- Doble capa: Fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión (Modelo Físico).
- Puente Químico: Establece una relación de dependencia entre las fuerzas químicas y la superficie de los coloides (Modelo Químico)³⁶.

Modelo Físico:

Explica la coagulación del agua teniendo en cuenta las fuerzas electrostáticas presentes en las partículas coloidales, las cuales se consideran rodeadas por una doble capa que interactúa con la fase acuosa y con los otros coloides³⁷.

Figura 6. Modelo Físico



Fuente: (Perez, P. J. 2008)

- Capa Compacta. Se adhiere al coloide y transita con él por el fluido.
- Capa Difusa: Está en equilibrio dinámico con la capa difusa. Empieza donde termina la capa adherida y termina en el punto hasta donde influye la carga del coloide

³⁶ Perez, P. J. (2008). *Tratamiento de Aguas - Floculación y Coagulación*. Universidad Nacional - Facultad de Minas, Bogota. Recuperado el 29 de 9 de 2016

³⁷ Ibid

Cualquier material insoluble en agua, que forme con ella una dispersión de partículas coloidales/se carga positiva o negativamente ya que adsorbe iones de signo contrario, con lo cual forma una capa compacta pero sin neutralizar totalmente la carga electrostática del coloide y, una capa difusa de espesor, adquiriendo así un potencial eléctrico.

La dispersión en este estado es estable, pues el potencial electrostático de los coloides les comunica movilidad que les impide sedimentarse. El potencial de un coloide se asemeja al de un condensador de dos cargas iguales y opuestas que se encuentran a una distancia.

De otra parte, entre los coloides se dan siempre las fuerzas atractivas de Van der Waals. La estabilidad se debe al equilibrio entre las fuerzas de atracción y repulsión. Para que dos partículas coloidales floculen, es necesario que se acerquen a una distancia tal, que la fuerza atractiva sea mayor que la fuerza de repulsión, lo cual ocurre cuando el potencial del coloide (potencial zeta) baja hasta un valor cercano a cero, llamado punto isoeléctrico³⁸.

- **Coagulación por Neutralización de la Carga:** La neutralización de la carga puede hacerse por³⁹:
 - a. Cambio de concentración de los iones responsables del potencial.
 - b. Los contraiones incorporados desplazan de la capa difusa a los iones responsables del potencial. Se neutraliza la carga. Adsorción de iones de carga opuesta a la de los iones responsables del potencial y que reemplacen a éstos en la capa compacta. Se neutraliza la carga.

- **Coagulación por Compresión de la Doble Capa:** Aumentando la concentración del coagulante o electrolito (iones y moléculas en solución) se

³⁸ Perez, P. J. (2008). *Tratamiento de Aguas - Flocculación y Coagulación*. Universidad Nacional - Facultad de minas, Bogotá. Recuperado el 29 de 9 de 2016

³⁹ Ibid

incorporan contraiones, lo cual represa la capa difusa porque disminuye la distancia hasta la cual es efectiva la carga q del coloide, con lo cual baja el Potencial Zeta.

La disminución de la doble capa es más importante que la neutralización de la carga⁴⁰.

Modelo Químico:

El modelo químico complementa la explicación que da el Modelo Físico sobre la coagulación. Se considera que la carga primaria de las partículas coloidales se debe a la ionización de los grupos químicos adsorbidos sobre su superficie y que la unión y precipitación de los coloides se debe a la reacción química entre estos grupos químicos y los contraiones metálicos polivalentes agregados con el electrolito o coagulante. La desestabilización se interpreta más bien como una interacción química y no como adsorción de contraiones o interacción física. La repulsión electrostática puede disminuir pero no necesariamente eliminar la adsorción de un ion en la superficie de un electrodo que tiene carga similar. La contribución química de la adsorción de iones puede llegar a ser mayor que la contribución electrostática. Pero, de otra parte, se ha observado que al agregar el coagulante se forman compuestos poliméricos (polielectrolitos) que son cadenas de moléculas básicas o monómeras.

La desestabilización de los coloides que se produce por polímeros no puede explicarse por el modelo de la doble capa. Se propuso entonces la teoría del Puente Químico: Cuando se le agregan los coagulantes al agua, la molécula del polímero queda adherida a la superficie del coloide en uno o más sitios de adsorción dejando extendida en el agua el resto de la cadena a la que pueden pegarse otros coloides.

⁴⁰ Perez, P. J. (2008). *Tratamiento de Aguas - Floculación y Coagulación*. Universidad Nacional - Facultad de minas, Bogota. Recuperado el 29 de 9 de 2016

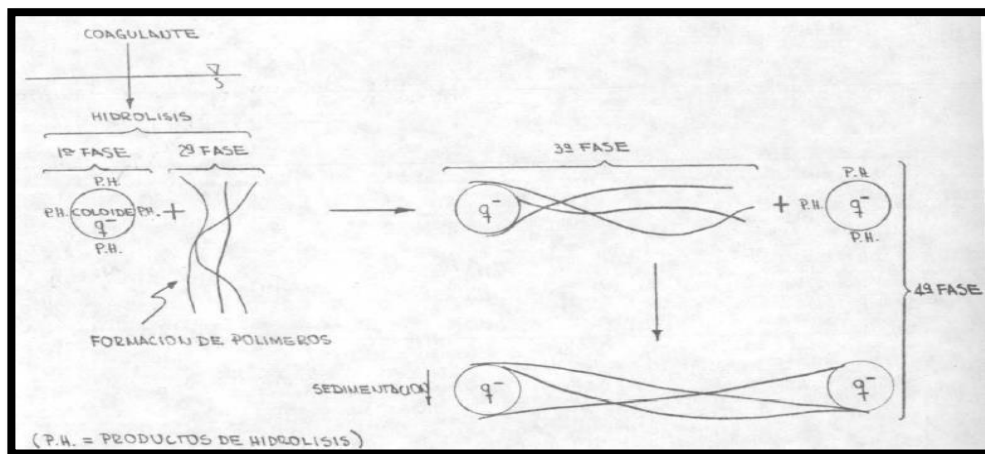
Se establece así el "Puente Químico" entre dos o más iones. Hay un incremento de tamaño y se produce la precipitación⁴¹.

Fases de la Coagulación:

La coagulación se realiza en 5 fases consecutivas o simultáneas que implican reacciones físicas y químicas, así⁴²:

- 1 - Hidrólisis del coagulante y desestabilización de partículas coloidales.
- 2 - Precipitación y formación de polímeros (los productos de hidrólisis se polimerizan).
- 3 - Adsorción de las cadenas por la superficie de los coloides.
- 4 - Adsorción mutua entre coloides.
- 5 - Acción de barrido.

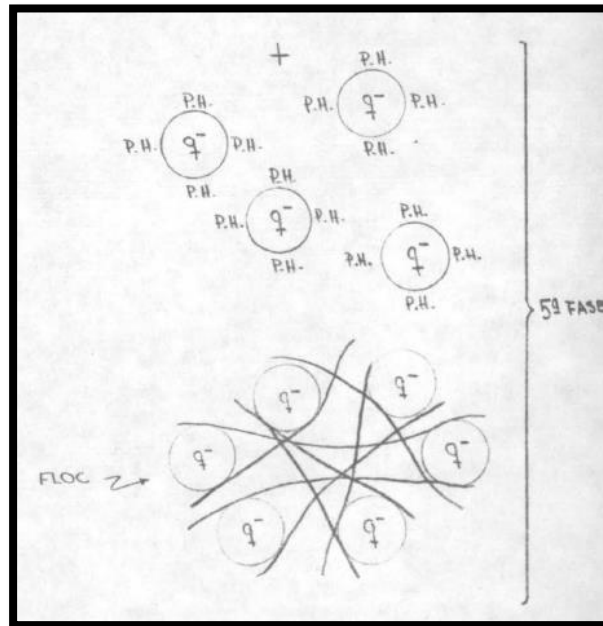
Figura 7. Fases de la Coagulación



Fuente: (Perez, P. J. 2008)

⁴¹ Perez, P. J. (2008). *Tratamiento de Aguas - Floculación y Coagulación*. Universidad Nacional - Facultad de minas, Bogotá. Recuperado el 29 de 9 de 2016

⁴² Ibid



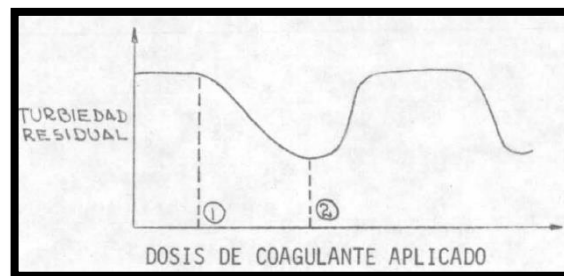
Fuente: (Perez, P. J. 2008)

Todas estas reacciones son dependientes del pH, la alcalinidad del agua y la temperatura, como se verá más adelante.

Remoción de Turbiedad:

La aplicación de dosis crecientes de coagulante a un agua que tenga turbiedad, genera un proceso, el cual se ilustra en la figura⁴³:

Figura 8. Dosis crecientes de coagulante



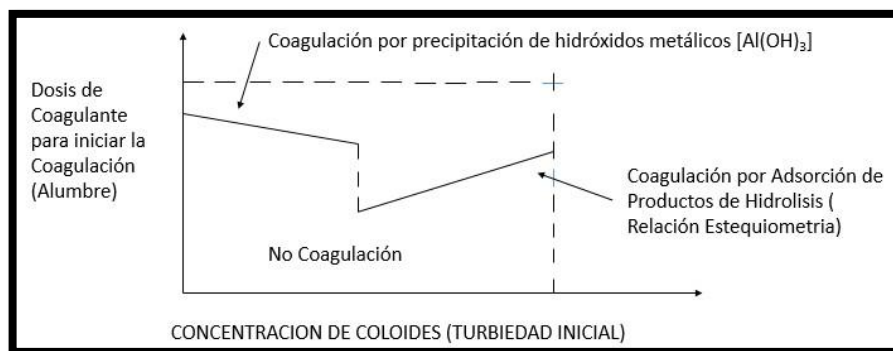
Fuente: (Perez, P. J. 2008)

⁴³Perez, P. J. (2008). *Tratamiento de Aguas - Floculación y Coagulación*. Universidad Nacional - Facultad de minas, Bogota. Recuperado el 29 de 9 de 2016

- (1) no hay remoción de turbiedad.
- A partir de (1) hasta (2) la turbiedad residual es cada vez menor.
- A partir de (2) una dosis mayor de coagulante re-estabiliza los coloides.

La dosis de coagulante depende de la concentración de partículas de turbiedad, así:

Figura 9. Dosis de Coagulante dependiendo de las concentraciones de partículas de turbiedad



Fuente: (Perez, P. J. 2008)

Remoción de Color:

La mayoría de las partículas que producen color son electronegativas y se mantienen en suspensión debido a fuerzas Coulombicas de repulsión. Al desestabilizar estas partículas por coagulación, se logra remover parte del color. El color depende del pH así: El color disminuye de intensidad con el descenso del pH⁴⁴.

⁴⁴Perez, P. J. (2008). *Tratamiento de Aguas - Floculación y Coagulación*. Universidad Nacional - Facultad de minas, Bogota. Recuperado el 29 de 9 de 2016

6.2 Marco conceptual

6.2.1 Características fisicoquímicas del agua: La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que pueden ser de origen natural o antropogénico define su composición física y química. Aunque solamente alrededor del 2% del agua de consumo público se destina a uso de boca, el consumidor es cada vez más exigente en relación al olor y sabor del agua que recibe. Estas dos características, junto con el color y la turbidez (parámetros organolépticos), son los únicos que el consumidor puede apreciar por sí mismo y cualquier cambio que percibe tiende a asociarlo a algún riesgo sanitario.⁴⁵

6.2.2 Turbidez: es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, la turbiedad es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbidez en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, etc.

Los valores de turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua.⁴⁶

⁴⁵ ARBOLEDA, J. Teoría y práctica de la purificación del agua. Tercera Edición. 2000. Vol. I.

⁴⁶ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del Agua. Primera Edición, 2002. P 67, 69, 70, 71

- 6.2.3 Color:** Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente. Los coloides hidrofóbicos no reaccionan con el agua pero los hidrofílicos sí; las sustancias que producen el color son hidrofílicas. De importancia en el tratamiento del agua es que los coloides hidrofílicos pueden reaccionar químicamente con el coagulante usado en el proceso de tratamiento de agua, así, los colores hidrofílicos requieren mayor cantidad de coagulante que los hidrofóbicos.⁴⁷
- 6.2.4 pH:** es un indicador de la acidez de una sustancia, siendo ésta una de las propiedades más importantes del agua. El rango varía de 0 a 14, siendo 7 el rango promedio (rango neutral). Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica un rango básico. Por definición, el pH es en realidad una medición de la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua. Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 6,5 y 8,5. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua. El pH tiene una gran influencia en la coagulación. Valores por encima o por debajo del pH óptimo producen malos resultados.⁴⁸
- 6.2.5 Coagulación:** es el proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas floc. Dicho proceso se usa para: La remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente, remoción de color

⁴⁷ CASTRILLÓN BEDOYA DANIELA, GIRALDO MARIA. Determinación de las dosis óptimas del potabilización del agua en la planta de tratamiento de Villa Santana. Pereira, 2012. Trabajo de grado (Tecnólogo Químico). Escuela de tecnología química. Facultad de tecnologías.

⁴⁸ ARBOLEDA, J. Teoría y práctica de la purificación del agua. Tercera Edición. 2000. Vol. I.

verdadero y aparente, eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación, destrucción de algas y plancton en general y para la eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos en otros.⁴⁹

6.2.6 Coagulantes naturales: Fuentes naturales de coagulantes, como el exoesqueleto de los crustáceos, del cual se obtiene el quitosán, un polisacárido que ha sido utilizado para la clarificación de aguas⁵⁰, y últimamente se ha introducido en productos para reducción de peso, ya que básicamente aglutina moléculas de grasa⁵¹. En la India se usaron las semillas del árbol de nirmala (*Strychnos potatorum*), un tipo de nuez como clarificante de agua⁵². Otros estudios llevados a cabo en Thyolo Malawi, mencionan, que al utilizar la moringa como coagulante natural a nivel laboratorio y luego escalado a plantas de tratamiento de aguas, reducen la turbiedad del agua en 80% y remueven las bacterias de 90 a 95%, superando en eficiencia en algunas ocasiones al sulfato de aluminio⁵³. Recientemente, en Chile y Nicaragua, se ha usado la savia de nopales (*Opuntia ficus indica* y *Opuntia Cochinellífera*) para el mismo propósito⁵⁴ y en Bolivia se reportó el uso de semillas de durazno (*Percica vulgaris*) y frijol (*Vicia faba*) como coadyudantes y clarificantes en el tratamiento de aguas⁵⁵. De manera similar, en Venezuela se evaluaron extractos de cactus

⁴⁹ ARBOLEDA, J. Teoría de la Coagulación del Agua. Acodal, 1992. P-12.

⁵⁰ Haidi, M.M., B. Bijan, N. Mahnaz & H.A. Movahedian. 2009. Effectiveness of chitosan as natural coagulant aid in removal of turbidity and bacteria from turbid waters. J. Food Agric. Environ 7 (3&4), 845-850. Humphries, J. M. & S.J. Hughes.2006. Pharmaceutical, Nutraceutical and Industrial Potential of Temperate Legumes. CRC Salinity Bulletin. ISSN 1833-423

⁵¹ Meyssami, B. & A.B. Kasaeian. 2005. Use of coagulants in treatment of olive oil wastewater model solutions by induced air flotation. Bioresour. Technol. 96(3), 303-307.

⁵² Jahn, S. A. A. 1984. Effectiveness of traditional flocculants as primary coagulants and coagulant aids for the treatment of tropical raw water with more than a thousand-fold fluctuation in turbidity. Water Supply 2 (3/4), Special Subject. 8-10.

⁵³ Bhole, A. G. 1995. Relative evaluation of a few natural coagulants. J. Water Supply Res. T. 44(6), 284-290.

⁵⁴ Almendarez, de Q. N. 2004. Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del lago de Managua "pedras azules". Rev. Iber. Polím. 5(1), 47-54.

⁵⁵ OAS. 2007. Clarification using plant material. <http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea59e/ch22.htm> Acceso; 5/02/2011. 412934 lecturas.

(*Cactus latifaria*) y mezquite (*Prosopis juliflora*) como coagulantes, encontrando dosis óptimas más bajas que con sulfato de aluminio y, en general, los resultados fueron comparables a los reportados para la moringa⁵⁶. También se han reportado pruebas hechas con extractos de: soya, chícharo, frijol, arroz, tamarindo y maíz, para la clarificación de aguas, encontrándose porcentajes aceptables de remoción de turbiedad⁵⁷. Otra aplicación que se ha estudiado, es la coagulación de tintas con extractos de semillas de ipomea (*Ipomea dasyperma*)⁵⁸ y en la Mixteca Oaxaqueña, algunas comunidades utilizan la savia de plantas como el Venenillo (*Sapium macrocarpum*) y el Casahuate (*Ipomoea murocoides*) como clarificante de agua⁵⁹.

6.2.7 Floculación: Es el proceso hidrodinámico en el que se efectúan las colisiones de partículas desestabilizadas favoreciendo la agregación (cohesión) entre ellas, logrando formar aglomerados de partículas coloidales que unidas entre sí alcanzan un peso que las hace sedimentables por gravedad.

La principal sal de aluminio usada es el sulfato de aluminio líquido o sólido. El intervalo de acción frente al pH., en términos de la solubilidad del hidróxido metálico formado indica que el óptimo se sitúa entre 6 y 7.5 unidades de pH. La reacción teórica producida por el sulfato en el agua es agrupar los sólidos suspendidos en el agua y acelerar la

56 Díaz, A., N. Rincón, A. Escorihuela, N. Fernández, E., Chacin & C. Forster. 1999. A preliminary evaluation of turbidity removal by natural coagulants indigenous to Venezuela. *Process Biochem.* 35, 391–395.

57 Bhole, A. G. 1995. Relative evaluation of a few natural coagulants. *J. Water Supply Res.* T. 44(6), 284-290.

58 Sanghi, R., B. Bhattacharya, A. Dixit & V. Singh. 2006. Ipomoea dasyperma seed gum: An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions. *J. Environ. Manag.* 81(1), 36-41.

59 VÁSQUEZ GONZÁLEZ LEONARDO. Remoción de turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas (Eritrina americana, Quercus ilex, Acacia farnesiana, Viscum album y Senna candolleana). *Naturaleza y desarrollo* N. 11. (Jun. 2013). ISSN2007-204X

sedimentación, contribuyendo a la disminución de la carga bacteriana, así como la remoción del color y sabor⁶⁰.

6.3 Marco legal:

Teniendo en cuenta el marco legal vigente donde las leyes, decretos y resoluciones han aumentado el nivel de exigibilidad con respecto a los valores de calidad de agua para consumo humano. Cabe resaltar que para alcanzar estos altos índices exigidos se hace necesario una óptima o excelente coagulación.

La coagulación es importante ya que hay partículas muy pequeñas que no se sedimentan las cuales pueden causar afectaciones a la salud. Por eso se han creado estas leyes las cuales permiten mantener una calidad del agua.

Tabla 2. Normatividad Ambiental

Resolución 2115 del 2007	<p>Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.</p> <p>Capítulo II características físicas y químicas del agua para consumo humano</p> <p>ARTÍCULO 2º.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS. El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan a continuación.⁶¹</p> <p>Cuadro Nº. 1 Características Físicas</p>
---------------------------------	---

⁶⁰ MELO & TURRIAGO, 2012. *Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de moringa oleífera como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de acacias*

⁶¹ PALACIO BETANCOURT DIEGO, LOZANO RAMÍREZ JUAN. Resolución número 2115: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. En: Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. (Jun. 2007).p-2

	Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
	Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
	Olor y Sabor	Aceptable ó no aceptable	Aceptable
	Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

<p>Decreto 1575 de 2007</p>	<p>Capítulo II características y criterios de la calidad del agua para consumo humano</p> <p>ARTÍCULO 3º.- CARACTERÍSTICAS DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO. Las características físicas, químicas y microbiológicas, que puedan afectar directa o indirectamente la salud humana, así como los criterios y valores máximos aceptables que debe cumplir el agua para el consumo humano, serán determinados por los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en un plazo no mayor a un (1) mes contado a partir de la fecha de publicación del presente decreto. Para tal efecto, definirán, entre otros, los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos y otros aspectos que puedan tener un efecto adverso o implicaciones directas o indirectas en la salud humana, buscando la racionalización de costos así como las técnicas para realizar los análisis microbiológicos y adoptarán las definiciones sobre la materia.⁶²</p>
--	---

⁶² PALACIO BETANCOURT DIEGO, LOZANO RAMÍREZ JUAN. Decreto número 1575 de 2007: Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. En: Ministerio de la protección social. (mayo. 2007).p-3

6.4 Marco geográfico

6.4.1 Ubicación y Características Agro-climatológicas:

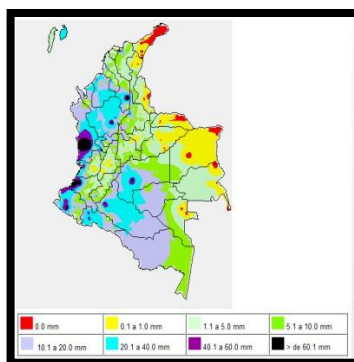
El proyecto se realizara en el país Colombia, en el departamento de Cundinamarca, en el municipio de Girardot; el cual presenta un clima cálido seco. Se denomina técnicamente clima de sabana periódicamente húmedo con lluvias cenitales, que es una subdivisión del clima tropical lluvioso. Como todo su territorio está debajo de los 1.000 metros de altura, sus temperaturas son elevadas, registrándose las más altas durante los meses de Febrero, Agosto y Septiembre; durante el resto del año hay un ligero descenso producido por un régimen de lluvias moderado, distinguiéndose dos períodos lluviosos de Abril a Junio y de Septiembre a Noviembre⁶³.

6.4.2 Climatología:

El Municipio tiene una temperatura media de 30 grados centígrados.

Precipitación en milímetros – Girardot: 5.1- 10.0 mm

Figura 10. Climatología de Girardot



Fuente: IDEAM,2015

⁶³ Corporacion Autonoma Regional de Cundinamarca. (2007). CAR. Recuperado el 15 de 9 de 2015, de Mapa de Ruido: <https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=10477&download=Y>.

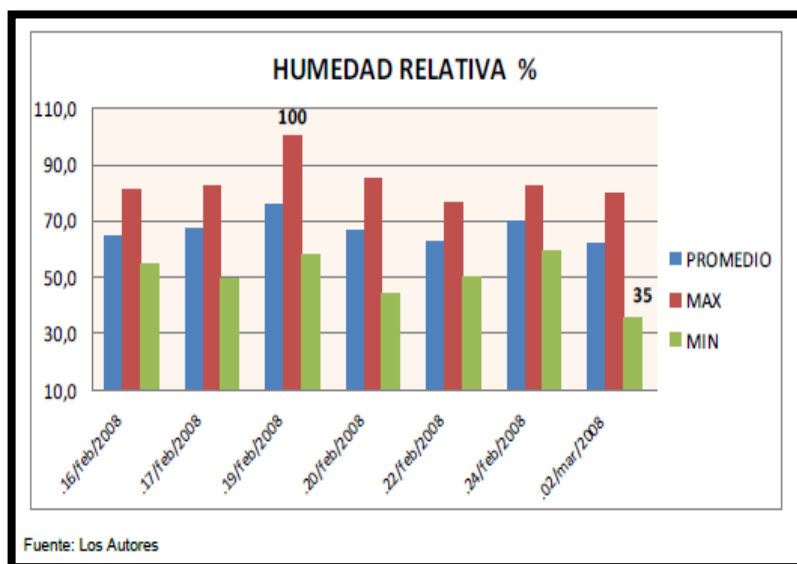
Figura 11. Temperaturas Promedio Municipio de Girardot



Fuente: IDEAM, 2015

Su humedad relativa se puede visualizar en el grafico siguiente.

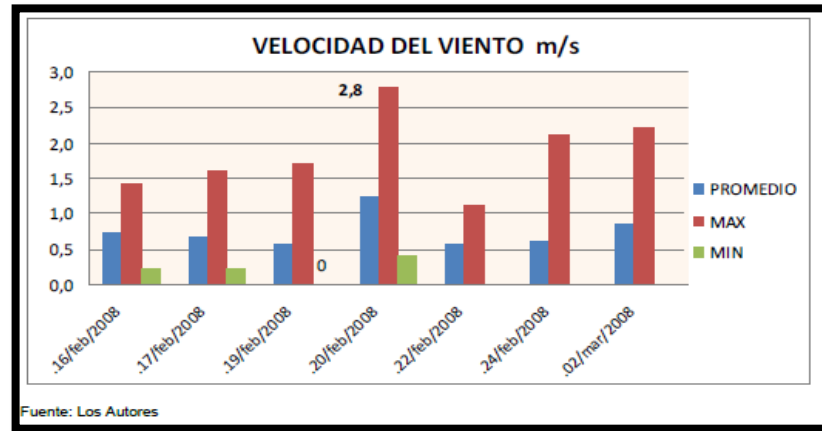
Figura 12. Humedad del Municipio de Girardot



Fuente: (Corporacion Autonoma Regional de Cundinamarca, 2007)

La velocidad del aire los registros mantuvieron un promedio de 0.7 m/s.

Figura 13. Velocidad del Aire



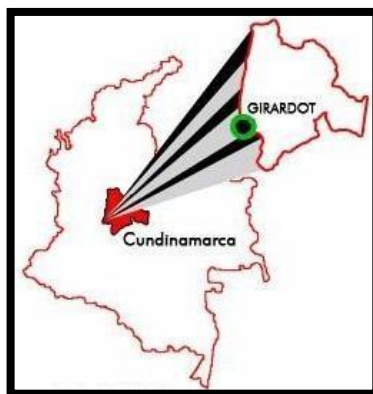
Fuente: (Corporacion Autonoma Regional de Cundinamarca, 2007)

6.4.3 Hidrología:

El municipio de Girardot cuenta con cuencas y microcuencas hidrográficas. La cuenca alta del Río Magdalena se constituye en el recurso hídrico de mayor magnitud en una vasta zona del país, y la cuenca baja del Río Bogotá. Las microcuencas ubicadas en el municipio son las denominadas El Cobre, Chicalá, Miraflores, El Gallo y las zanjas que recogen las aguas lluvias de la parte alta de la ciudad, cuentan con valles de poca profundidad y extensión, diferente a las microcuencas el Coyal, Zanja Honda, Quebrada Portachuelo y la Yegüera que son profundos y de mayor extensión. Además el municipio de Girardot, se encuentra sobre un terreno llano, enmarcado entre las estribaciones de la cordillera oriental, sin notables accidentes topográficos, con algunos sectores de difícil acceso en la zona montañosa sobre los límites con Nariño denominada cordillera Alonso Vera. Está ubicado en terreno completamente plano con algunas alteraciones representativas, en pequeñas formaciones montañosas en el sector occidental y

accidentes topográficos formados por las cuencas de los ríos del Magdalena y Bogotá.⁶⁴

Figura 14. Ubicación del Municipio de Girardot en Colombia



Fuente: google.imagen

Figura 15. Ubicación Municipio de Girardot



Fuente: google.maps

⁶⁴ consejo municipal de girardot. (2008). *Girardot-Cundinamarca*. Recuperado el 13 de 9 de 2015, de "POR MEDIO DEL CUAL SE ADOPTA EL PLANE DE DESARROLLO E INVERSIONES DEL MUNICIPIO DE: http://girardot-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/34316365326131376361656436306263/acuerdo_012.pdf

7. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Para realizar este estudio se tuvo en cuenta como universo las fuentes de agua con las que cuenta el municipio de Girardot-Cundinamarca, la población tomada fue el Rio Magdalena la zona que limita con el municipio de Flandes- Tolima y como muestra tres tramos entre el puente vehicular Ospina Pérez y el puente Férreo, tales tramos son debajo de cada puente y en la mitad de los dos puntos anteriormente mencionados.

Puente Ospina N (4°17'17.64") (74°48'32.953")

Mitad de los dos puentes N (4°17'28.502"), (74°48'36.371")

Puente Férreo: N (4°17'38.285"), (74°48'42.686")

7.1 Toma de muestras de agua

Para realizar este proceso se tuvo en cuenta el manual de procedimientos de toma de muestras de agua para análisis fisicoquímico y microbiológico del Servicio de Aprendizaje SENA Centro Agro-empresarial y Minero del Bolívar⁶⁵. El cual brinda unas consideraciones para muestreo tales como:

Muestro Manual - Simple:

- Usar envases compatibles con los parámetros que se van a analizar.
- Enjuagar los envases con el agua a muestrear por lo menos dos veces de manera consecutiva.
- Identificar clara e inmediatamente la muestra. En algunos casos es mejor emplear un número correlativo o una clave que indique la fuente o el lugar de procedencia de la muestra.
- Las muestras se deberán tomar en los sitios de mayor mezcla, o inmediatamente después de ésta, para asegurar la representatividad del agua contenida en el punto de muestreo.

⁶⁵ Programa en Tecnología en Control Ambiental. Manual de procedimientos de toma de muestras de agua para análisis fisicoquímico y microbiológico. Servicio de Aprendizaje SENA Centro Agro-empresarial y Minero del Bolívar. Fuente: <http://tecnologosencontrolambientalsenacicuc.blogspot.com.co/p/manual-de-procedimiento-de-toma-de.html>

- Evitar tomar las muestras en sitios muy cercanos a la orilla o bordes del cuerpo de agua.
- No recolectar sedimentos o materiales adheridos a la orilla o bordes del cuerpo de agua o superficie del mismo, así como tampoco es recomendable recolectar partículas grandes.
- De preferencia usar solamente recipientes nuevos en la toma de muestras de agua.

Figura 16. Toma de muestras de agua – Rio Magdalena



Fuente: autores

7.2 Recoleccion de semillas

El recorrido se llevo acabo en los municipios y veredas cercanas a la ciudad de girardot, donde presuntamente se pudiera conseguir los individuos de *Jatropha curcas*, teniendo como puntos de recoleccion:

Tabla 3. Puntos de recolección

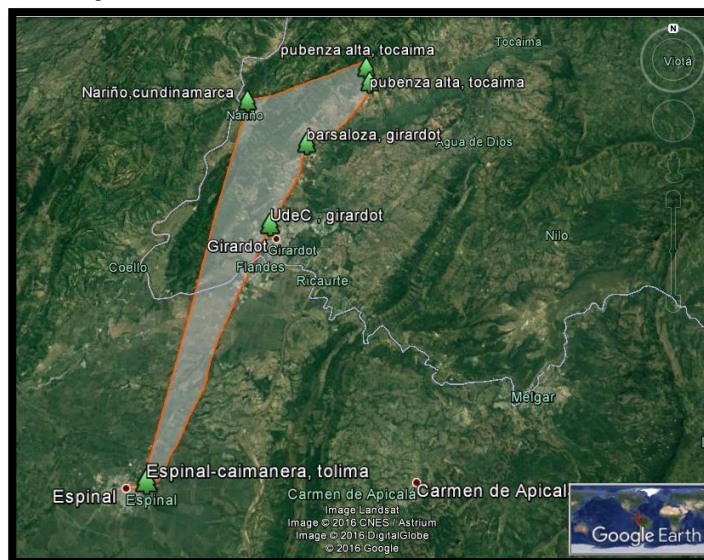
MUNICIPIO Y DEPARTAMENTO	SECTOR O VEREDA
GIRARDOT - CUNDIANAMARCA	UdeC ,Carrera 19 N° 24-209
GIRARDOT - CUNDIANAMARCA	VEREDA BARZALOSA
ESPINAL-TOLIMA	VIA CAIMANERA KM 1
TOCAIMA- CUNDINAMARCA	PUBENZA ALTA

Fuente : autores

Estos puntos fueron escogidos aleatoriamente, donde por informacion de terceros pudiera encontrarse este arbol, ya que hace unos años era bastante comun encontrarlo pero con el tiempo se ha dejado de sembrar.

La recoleccion de las semillas se realizo manualmente , luego se procedea proceso de secado por una semana con una intensidad solar de 4 a 5 horas dia.

Mapa 1 Sitios de recolección de la semilla



Fuente: google.earth

7.3 Protocolo de activación de la proteína y dosificación de la semilla ⁶⁶

Para la activación del biocoagulante se realizó el siguiente procedimiento:

- La cáscara de la *J. curcas* semilla se retiraran manualmente.

Figura 17. Semilla con cascara *Jatropha curcas*



Fuente: autor

- Se seleccionan semillas de buena calidad y los granos se molieron a un polvo fino utilizando un molino de alimentos ordinarios marca REINA.

Figura 18. Procesador de alimentos manual



Fuente: autores

⁶⁶ Bidin.Z.Z, Shamsudin. N.M.S, Madehi. N, Sobri. S. 2013. *Optimizacion de un metodo para extraer el agente coagulante activo a partir de Jatropha curcas semilla para su uso en la eliminacion de la turbidez*. ELSEVIER. Pag 319-323.

Figura 19. Evidencia de molienda de la semilla *Jatropha curcas*



Fuente: autores

- Se pesan 5 g de *J. curcas* polvo y se mezclan con 100 ml de agua destilada con cloruro de sodio al 99%, dejando el disolvente con una concentración de 0.5 M .Usando un procesador de alimentos ordinario durante 2 minutos se mezcla la semilla con el disolvente para extraer el agente de coagulación activo desde el *J. curcas* semillas⁶⁷.

⁶⁷Bidin.Z.Z, Shamsudin. N.M.S, Madehi. N, Sobri. S.2013. *Optimizacion de un metodo para extraer el agente coagulante activo a partir de Jatropha curcas semilla para su uso en la eliminacion de la turbidez*. ELSEVIER. Pag 319-323

Figura 20. Balanza Analítica – Pesaje de 5 g de *Jatropha curcas*

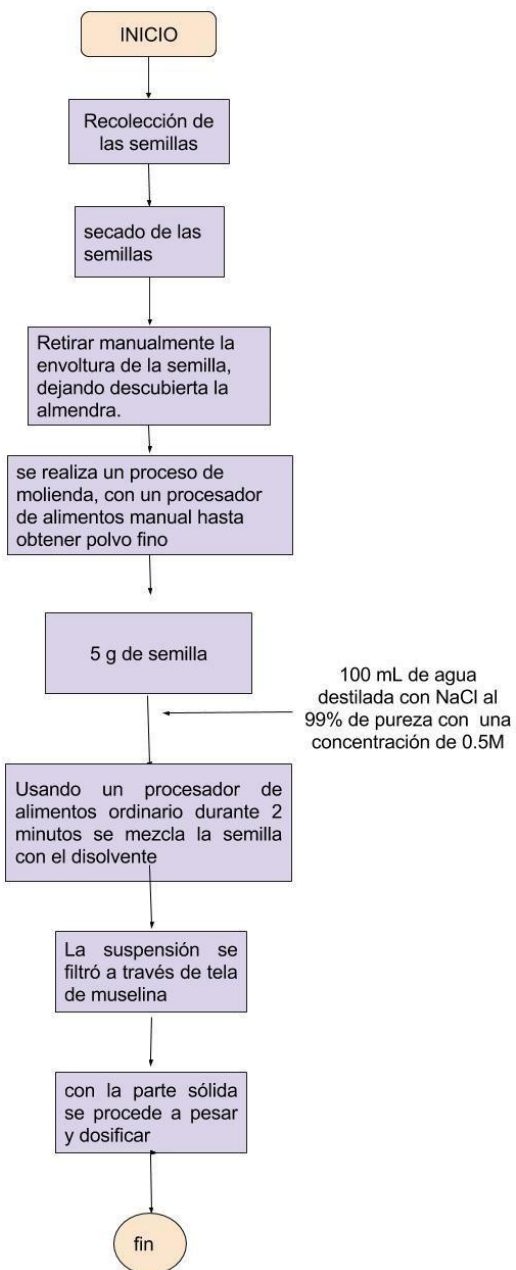


Fuente: autores

- La suspensión se filtró a través de tela de muselina. Para evitar los efectos del envejecimiento, tales como cambios en el pH, la viscosidad y la actividad de coagulación debido a la descomposición microbiana de compuestos orgánicos durante el almacenamiento, agente coagulante fresca se preparó y se utilizó inmediatamente para cada secuencia de experimento⁶⁸.

⁶⁸Bidin.Z.Z, Shamsudin. N.M.S, Madehi. N, Sobri. S. 2013. *Optimizacion de un metodo para extraer el agente coagulante activo a partir de Jatropha curcas semilla para su uso en la eliminacion de la turbidez*. ELSEVIER. Pag 319-323

Ilustración 1 Proceso de activación de biocoagulante



Fuente: Autores

Para la dosificación del biocoagulante se realizó el siguiente procedimiento:

- Según Abidin 2011 la dosis optima es de 120 ppm, en esta investigación la concentración de la semilla se comenzó desde 0 hasta 180 ppm teniendo en cuenta estos intervalos⁶⁹.
 - ✓ 0
 - ✓ 80ppm
 - ✓ 100ppm
 - ✓ 120ppm
 - ✓ 140ppm
 - ✓ 160ppm
 - ✓ 180ppm

7.4 Protocolo de preparación disoluciones y dosificación del Sulfato de Aluminio

Para la obtención de sulfato de Aluminio se realizó el siguiente procedimiento:

- Para la preparación de la muestra matriz de Sulfato de Aluminio se utilizó una concentración de 5 g en 500ml de agua destilada para obtener una concentración de 10 ppm.

Figura 21. Pesaje Sulfato de Aluminio



Fuente: autores

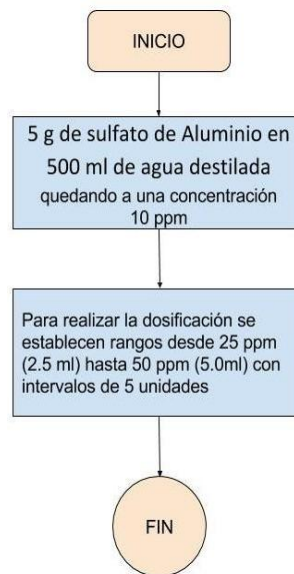
⁶⁹Bidin.Z.Z, Shamsudin. N.M.S, Madehi. N, Sobri. S. 2013. *Optimizacion de un metodo para extraer el agente coagulante activo a partir de Jatropha curcas semilla para su uso en la eliminacion de la turbidez*. ELSEVIER. Pag 319-323

Para dosificar la muestra matriz se realizó el siguiente procedimiento:

- La dosificación en cada vaso precipitado una concentración de la muestra preparada anteriormente se usaron rangos de dosificación de:
 - ✓ 25ppm
 - ✓ 30ppm
 - ✓ 35ppm
 - ✓ 40ppm
 - ✓ 45ppm
 - ✓ 50ppm

Lo que equivaldría a 2.5 ml de solución de sulfato de aluminio en un vaso de precipitados de un litro, esto para la primera dosificación, en las siguientes dosificaciones se cambia la cantidad de mililitros en el mismo litro de agua de los siguientes vasos de precipitados.

Ilustración 2 Proceso de dilución de sulfato de aluminio



Fuente: Autores

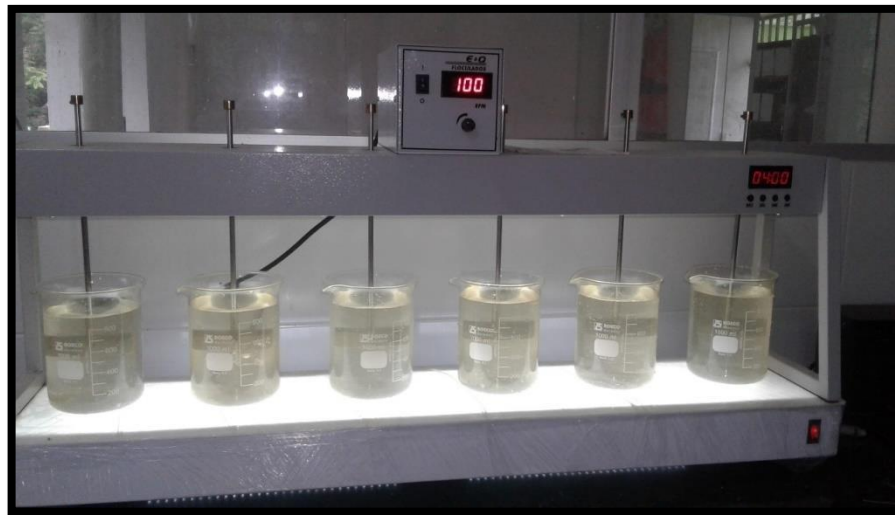
7.5 Prueba de Jarras⁷⁰

Para lograr esta prueba efectivamente se realizó el siguiente proceso:

- Varias dosis de *Jatropha curcas* entre los rangos de 80ppm - 180ppm con intervalos de 20 unidades, de extracto de semilla. De la siguiente manera
 - ✓ 0
 - ✓ 80ppm
 - ✓ 100ppm
 - ✓ 120ppm
 - ✓ 140ppm
 - ✓ 160ppm
 - ✓ 180ppm

Los cuales se añadieron a cada vaso de precipitado y se agitó durante 4 min a 100 rpm para la mezcla rápida. Luego la velocidad de mezcla se redujo a 40 rpm durante otros 25 min. Se realiza proceso de sedimentación durante 30 minutos, las muestras clarificadas se recogieron de la parte superior del vaso de precipitados y se filtraron usando tela de muselina para eliminar cualquier sedimento restante.

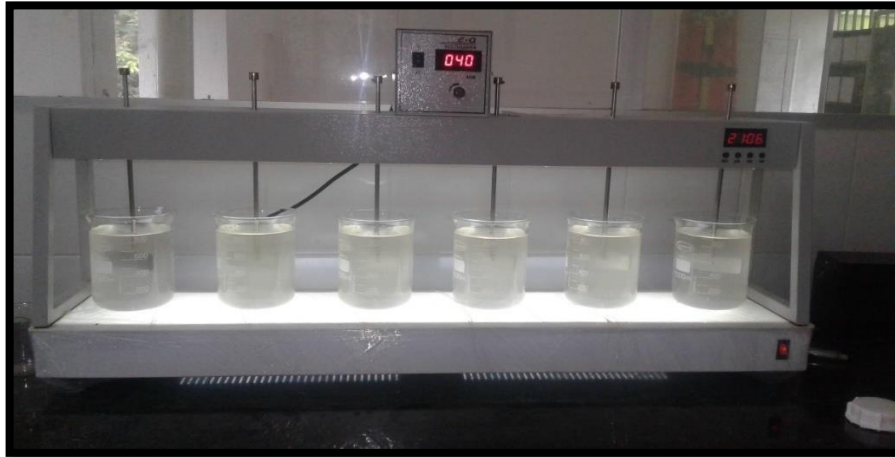
Figura 22. Prueba de Jarras – Agitación durante 4 minutos a 100 rpm.



Fuente: autores

⁷⁰Bidin.Z.Z, Shamsudin. N.M.S, Madehi. N, Sobri. S. 2013. *Optimizacion de un metodo para extraer el agente coagulante activo a partir de Jatropha curcas semilla para su uso en la eliminacion de la turbidez.* ELSEVIER. Pag 319-323

Figura 23. Prueba de Jarras – Agitación 40rpm durante 25 min



Fuente: autores

- En el caso del Sulfato de Aluminio tipo A las dosis a añadir en los vasos precipitados fueron entre los rangos de 25ppm - 50ppm, con intervalos de 5 así:
 - ✓ 0
 - ✓ 25ppm
 - ✓ 30ppm
 - ✓ 35ppm
 - ✓ 40ppm
 - ✓ 45ppm
 - ✓ 50ppm

Los cuales se añadieron a cada vaso de precipitado agitándose durante 4 min a 100 rpm para la mezcla rápida. Luego en la mezcla lenta la velocidad de mezcla se redujo a 40 rpm durante otros 25 min. Se realiza proceso de sedimentación durante 30 minutos, las muestras clarificadas se recogieron de la parte superior del vaso de precipitados y se filtraron usando tela de muselina para eliminar cualquier sedimento restante.

7.6 Mediciones de prueba física - Turbiedad

Para realizar esta prueba se utilizó el turbidímetro 2100N marca HACH, en el cual se analizaron las muestras de agua cruda y el agua después de los dos tratamientos de coagulación arrojando la turbiedad del agua en unidades nefelométrías de turbidez

Figura 24. Turbidímetro 2100N marca HACH



Fuente: autores

7.7 Medición de prueba física – Color

Se realizan mediciones iniciales y finales de color por medio de un fotómetro portátil PF-12 Plus marca MACHERY-NAGEL (MN). las cuales se midieron en los 3 tratamientos (cruda, con la semilla, y sulfato de aluminio)

Figura 25. Fotómetro PF-12 Plus



Fuente: autores

7.8 Medición de prueba química – pH

Se realizan mediciones con el pH-metro portátil de referencia pH3210 de marca WTW, en el cual se ejecutan muestra al inicio y final de los dos tratamientos.

Figura 26. pH-metro referencia pH3210



Fuente: autores

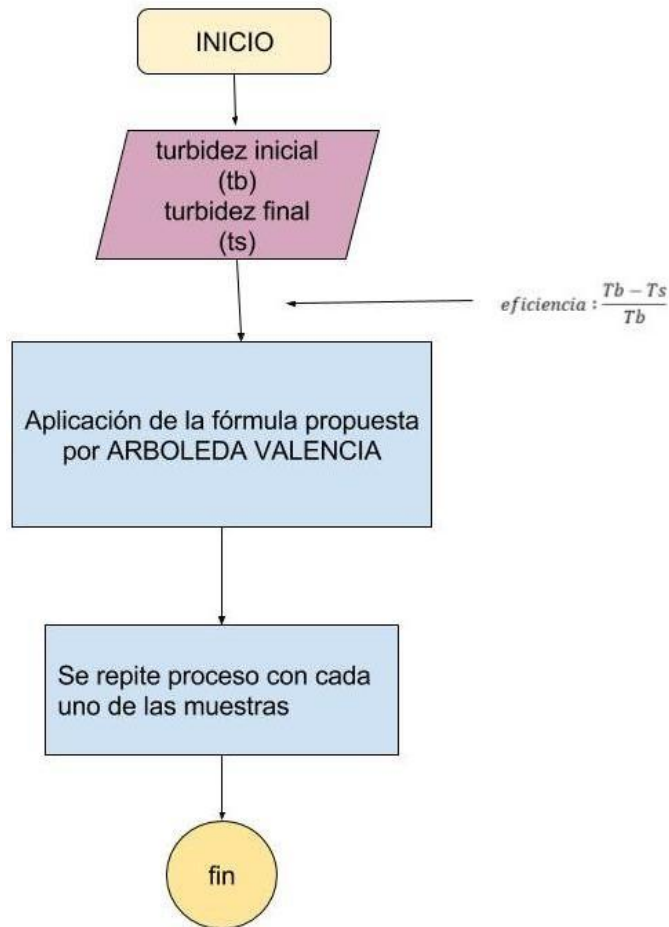
7.9 Diseño experimental

Para la evaluación de la eficiencia de la semilla de la *Jatropha curcas*, se tiene en cuenta la turbidez del agua. Para lograr tal medición se realizan pruebas con diferentes dosis del coagulante en tres muestras tomadas, obteniendo como total 18 resultados. La eficiencia está dada por la turbidez inicial y turbidez final⁷¹.

$$\text{Eficiencia de reducción \%} = \frac{\text{Turbidez inicial UNT} - \text{Turbidez final UNT}}{\text{Turbidez inicial UNT}}$$

⁷¹ Gutierrez, G. K. (2010). Eficiencia del Cogulante de la Semilla *Moringa oleifera* en el tratamiento de agua con baja turbidez. Zamorano –Honduras.

Ilustración 3 Metodología para análisis de eficiencia



Fuente: Autores

7.10 Estadística:

- Se utilizará la estadística descriptiva o análisis exploratorio de datos el cual ofrece modos de presentar y evaluar las características principales de los datos a través de tablas, gráficos y medidas resumidas⁷². A través de estas se determinará la eficiencia del biocoagulante en diferentes concentraciones (ppm).

⁷² Orellana. L. 2001. Estadística descriptiva. Pag. 14. fuente:
http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica_Q/2011/1/modulo%20descriptiva.pdf

8. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de las muestras de laboratorio se analizaron utilizando una hoja de cálculo Office Excel, en la cual se ingresaron los datos obtenidos, siendo graficados para su mayor comprensión.

Los parámetros físico- químicos que se evaluaron fueron turbidez, color y pH. Estas muestras se tomaron del río Magdalena a la altura de la ciudad de Girardot con las siguientes coordenadas: Puente Ospina N ($4^{\circ}17'17.64''$), O ($74^{\circ}48'32.953''$), Mitad de los dos puentes N ($4^{\circ}17'28.502''$), O ($74^{\circ}48'36.371''$) y Puente Férreo: N ($4^{\circ}17'38.285''$), O ($74^{\circ}48'42.686''$), luego fueron trasladadas al municipio de Melgar, Tolima a las instalaciones del laboratorio de la empresa de servicios públicos EMPUMELGAR, quienes prestaron los equipos necesarios para los análisis y recolección de los datos.

Se realizaron pruebas de jarras variando la concentración del coagulante natural de semilla de *Jatropha curcas* establecido por los autores Bidin.Z.Z, Shamsudin. N.M.S, Madehi. N, Sobri. S. (2013), estas concentraciones patrón las definieron los autores como valores tipo para que se iniciara el proceso de coagulación; teniendo en cuenta lo anterior se procedió a realizar la matriz de datos de análisis de laboratorio según se evidencia en la Tabla 4.

Y con respecto al coagulante químico de sulfato de aluminio tipo A se tienen en cuenta dosificaciones patrones para las aguas de Río Magdalena, para lograr una comparación en los resultados de las variables, y así determinar la eficiencia de cada uno. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 4. Matriz de datos los análisis de laboratorio

COAGULANTE DE LA SEMILLA DE <i>Jatropha curcas</i>									
	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
Concentración ppm	Turbidez NTU	Color UPC	pH	Turbidez NTU	Color UPC	pH	Turbidez NTU	Color UPC	pH
0	28	309	7,5	21,5	241	7,2	18	248	6,8
80	25,5	335	7,3	16,4	284	7,9	14	233	7,4
100	27,8	339	8	16,3	256	7,6	14,6	288	7,3

120	26,8	357	7,9	17	304	7,5	15,7	298	7,4
140	25,9	326	8,02	17,6	275	7,5	14,5	318	7,4
160	25,8	411	8,04	17,4	282	7,3	16	347	7,3
180	26,4	348	7,9	18,7	281	7,5	18,2	340	7,2
COAGULANTE QUIMICO SULFATO DE ALUMINIO TIPO A									
concentración ppm	Turbidez NTU	Color UPC	pH	Turbidez NTU	Color UPC	pH	Turbidez NTU	Color UPC	pH
0	28	309	7,5	21,5	241	7,2	18	248	6,8
25	17,9	225	6,9	15,6	269	6,4	13,7	227	6,6
30	15,7	226	6,4	15	224	6,4	15,2	223	6,4
35	14,6	213	6,5	16,8	289	6,4	9,43	163	6,2
40	2,2	52	6,4	14	176	6,3	15	224	6,2
45	1,49	52	6,3	3,5	57	6,3	2,6	56	6,1
50	1,15	80	5,9	2,38	56	6	0,9	65	5,8

FUENTE: Autores

En esta tabla se pueden ver los resultados del agua cruda sin ningún tratamiento y los resultados con la aplicación de los tipos de coagulante. La resolución 2115 del 2007⁷³ nos indica todas las características que tiene que tener un agua para consumo humano; teniendo como base esta resolución podemos evidenciar que para el parámetro de potencial de hidrogeno el agua cruda cumple con lo establecido en la norma, estando en el rango de 6.5-9, para turbidez la norma establece un límite máximo de 2 NTU, estando el agua cruda en un valor mucho más alto con 28 NTU y por último tenemos el color que tiene un límite permisivo de 15 UPC, siendo este el parámetro el más elevado con 309 UPC del agua cruda de las muestras.

En general se observa que el sulfato de aluminio tipo A logra mejores resultados que la semilla de *Jatropha curcas*, siendo notorio la reducción de turbidez y color en el agua tratada. El coagulante químico logra una disminución de 18 NTU a 0.9 NTU con una concentración de 50 ppm siendo este el resultado más bajo obtenido en las pruebas de jarras, para el color se logra una reducción de 309 UPC a 52 UPC siendo el mínimo valor alcanzando, a pesar de la notoria reducción de color no logra cumplir con los límites establecidos por la norma. El pH tiene variación de

⁷³ Resolución 2115 del 22 de junio del 2007

7.1- 5.6 presentándose en algunos casos un agua con pH muy ácidos para el consumo humano.

El coagulante a base de semillas de *Jatropha curcas* logro una reducción de turbidez 28 NTU a 18 NTU para el color surge el efecto contrario, ya que la semilla aumenta el color del agua tratada, teniendo un color inicial promedio del agua cruda de 266 UPC y un color final promedio después del tratamiento realizado de 323 UPC, teniendo un aumento de 97 unidades de color, en cuanto el potencial de hidrogeno tubo variaciones entre 6.8-8.04 siendo el único parámetro que cumple con la resolución 2115.

Tabla 5. Promedio de las tres variables medidas – BioCoagulante semilla *Jatropha curcas*

BioCoagulante semilla <i>Jatropha curcas</i>			
Dosis de Coagulante	Promedio de Color	Promedio Turbiedad	Promedio de pH
0	266 UPC	22,5 NTU	7,2
80 ppm	284 UPC	18,6 NTU	7,5
100 ppm	294,3 UPC	19,6 NTU	7,6
120 ppm	319,7 UPC	19,8 NTU	7,6
140 ppm	306,3 UPC	19,3 NTU	7,6
160 ppm	346,7 UPC	19,7 NTU	7,5
180 ppm	323 UPC	21,1 NTU	7,5

Fuente: autor

Tabla 6. Promedio de las tres variables medidas – Coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A

Coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A			
Dosis de Coagulante	Promedio de Color	Promedio Turbiedad	Promedio de pH
0	266 UPC	22,5 NTU	7,1
25 ppm	240,3 UPC	15,7 NTU	6,6
30 ppm	224,3 UPC	15,3 NTU	6,4
35 ppm	221,6 UPC	13,6 NTU	6,3

40 ppm	150,6 UPC	10,4 NTU	6,3
45 ppm	55 UPC	2,53 NTU	6,2
50 ppm	67 UPC	1,4 NTU	5,9

Fuente: autor

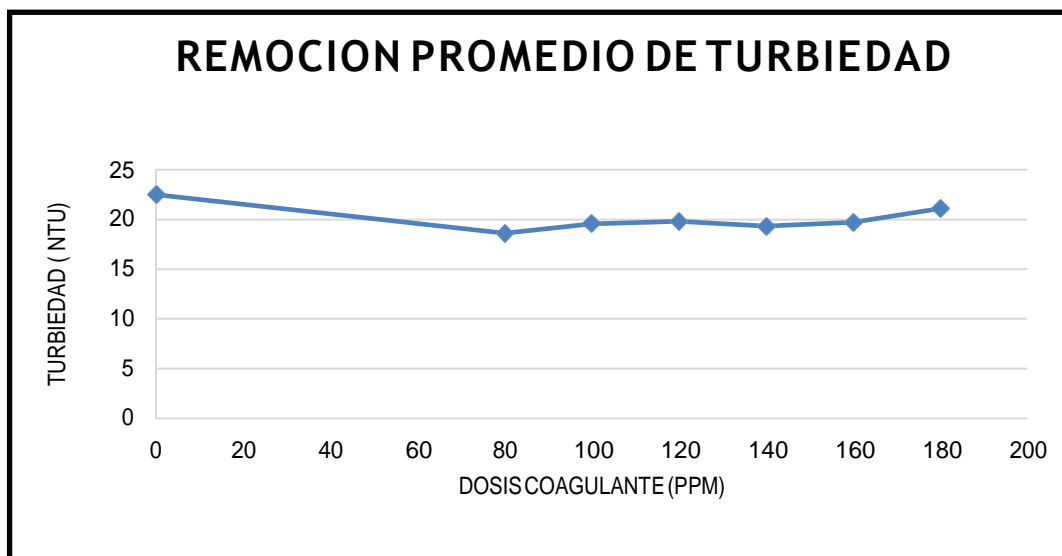
Turbidez:

La turbidez tuvo una reducción general en los dos tratamientos, aunque se registra una mayor disminución con el uso del coagulante químico de sulfato aluminio tipo A. Siendo la dosis óptima para la semilla de 80 ppm logrando un turbidez final promedio de 18.6 NTU estando muy elevados para cumplir la normatividad legal vigente.

La reducción de turbidez por parte del coagulante químico (sulfato de aluminio tipo A) fue más alta, logrando niveles de turbiedad final promedio de 1.47 NTU con una concentración de 50 ppm siendo la opción más viable para la reducción de la turbidez del agua cruda ya que cumple con los límites permisibles.

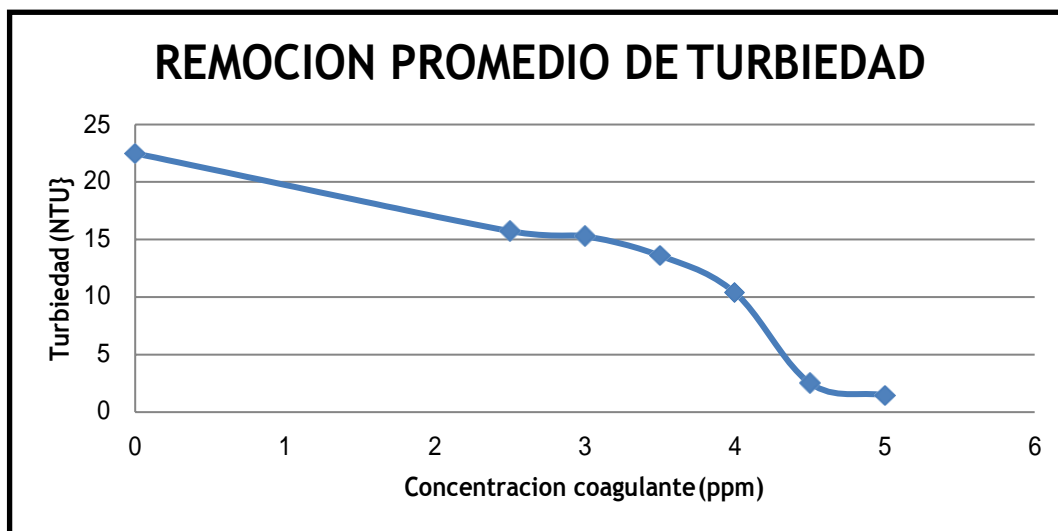
Los resultados de la turbidez luego de los dos tratamientos fue la siguiente:

Grafica 1. Remoción de turbidez con la semilla de *Jatropha curcas*



Fuente: Autores

Grafica 2. Remoción de turbidez con sulfato de aluminio tipo A



Fuente: Autores

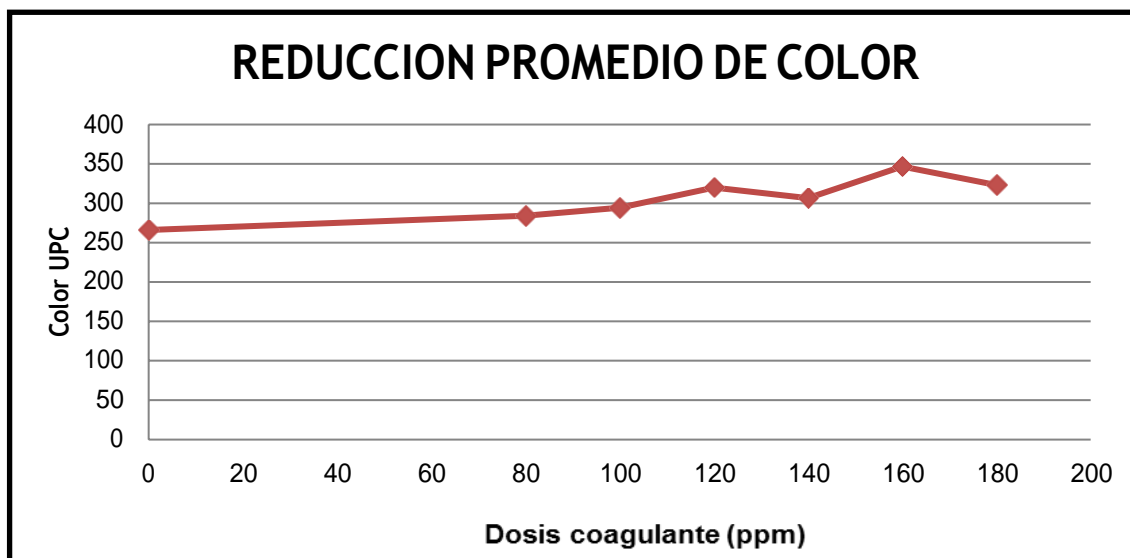
Color:

Para el parámetro de color se logró una reducción con el coagulante químico de sulfato de aluminio, y un incremento del color por parte de la semilla de *Jatropha curcas*.

El coagulante químico produce un resultado de 67 UPC, el color promedio más bajo después del tratamiento realizado logrando una disminución de más de 150 unidades con una concentración de 45 ppm, a pesar de la reducción del color este parámetro no cumple con los límites establecidos por la normatividad.

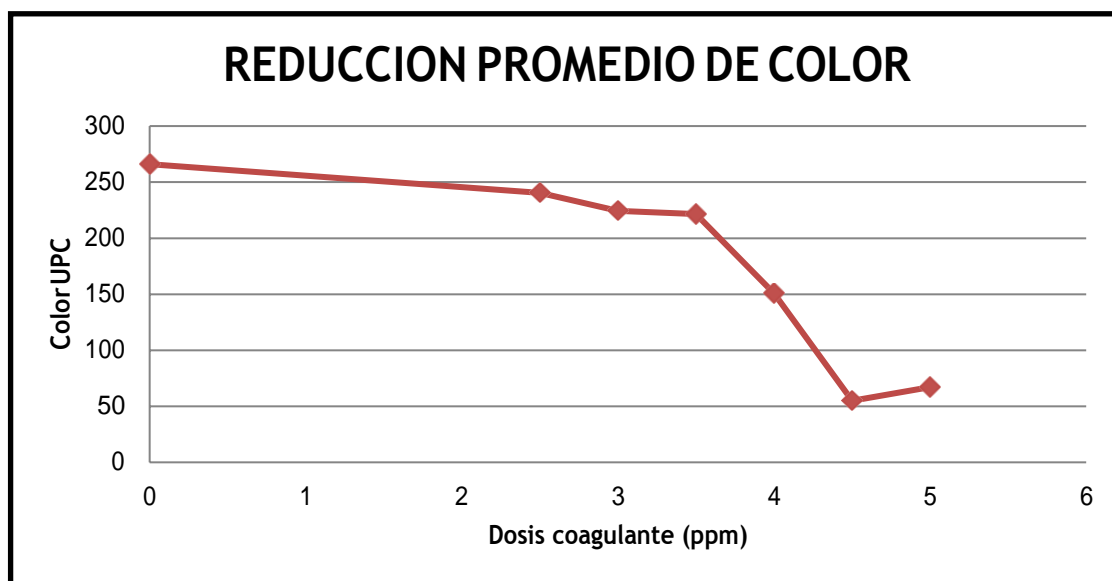
La semilla de *Jatropha curcas* no logra ninguna reducción en el color, al contrario genera un incremento estando en un rango de 266- 323 UPC incrementando el color en 97 unidades. La dosis que genera más aumento de color es 160 ppm de polvo de semilla aumentándolo a 346.6 UPC, el color tiene una tendencia a aumentar a medida que la concentración de la semilla aumenta.

Grafica 3. Remoción de color con la semilla de *Jatropha curcas*



Fuente: Autores

Grafica 4. Remoción de color con sulfato de aluminio tipo A



Fuente: Autores

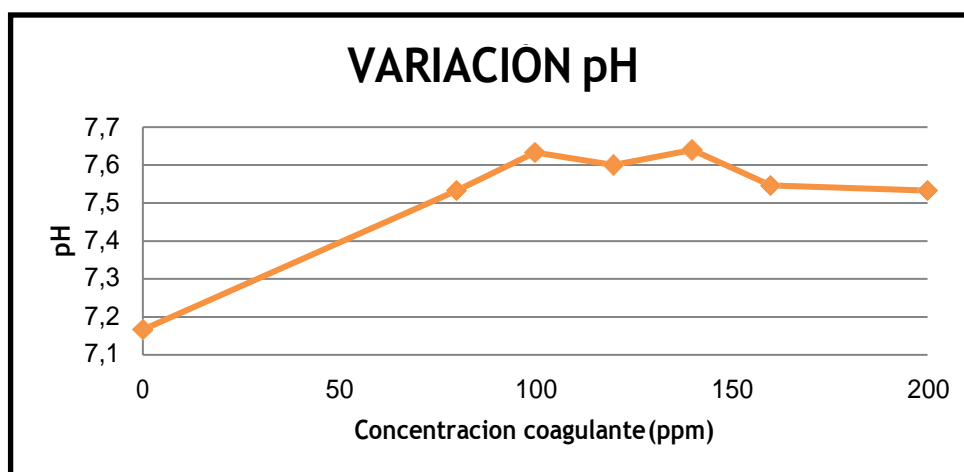
pH:

El potencial de hidrogeno es una parámetro que se midió dando como resultados para la semilla de *J. curcas* unos rangos de 7.16-7.6 4 cumpliendo con la

normatividad vigente, el comportamiento del pH en las primeras dosis en de coagulante es de tendencia alcalino, luego sufre una reducción con la dosis de 120 ppm, con tendencia a seguir reduciendo su alcalinidad.

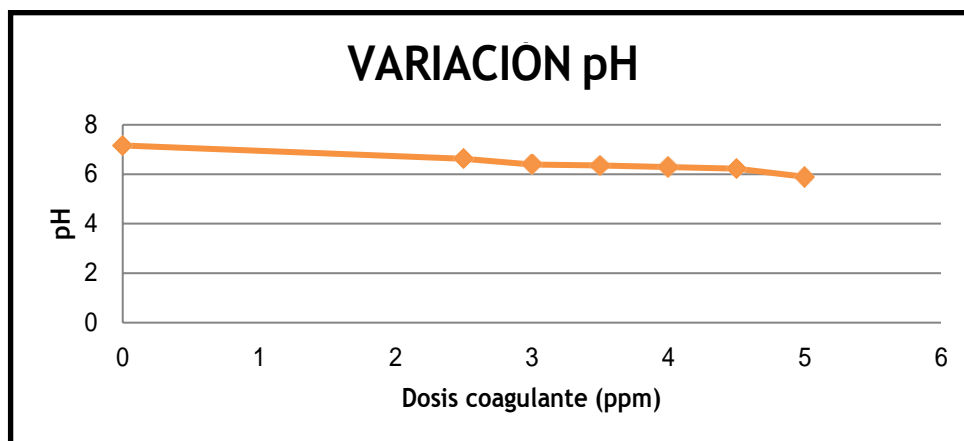
Con el sulfato de aluminio el pH tiende a acidificarse con el aumento de la concentración de coagulante, comenzando el pH 7.16 sin dosificación de agente coagulante y terminado en 5.9 con una dosis de 5 ppm como podemos observar en la gráfica 6. Este último pH no cumple con la reglamentación para agua potable

Grafica 5. Variaciones de pH con semilla de *Jatropha curcas*



Fuente: Autores

Grafica 6. Variación de pH con sulfato de aluminio tipo A



Fuente: Autores

Eficiencia de los Coagulantes

Para el análisis de este parámetro tendremos la fórmula propuesta por arboleda valencia⁷⁴:

$$\frac{\text{Ts} - \text{Tb}}{\text{Tb}} \times 100$$

Tb: turbiedad del agua bruta

Ts: turbiedad del aguas sedimentada

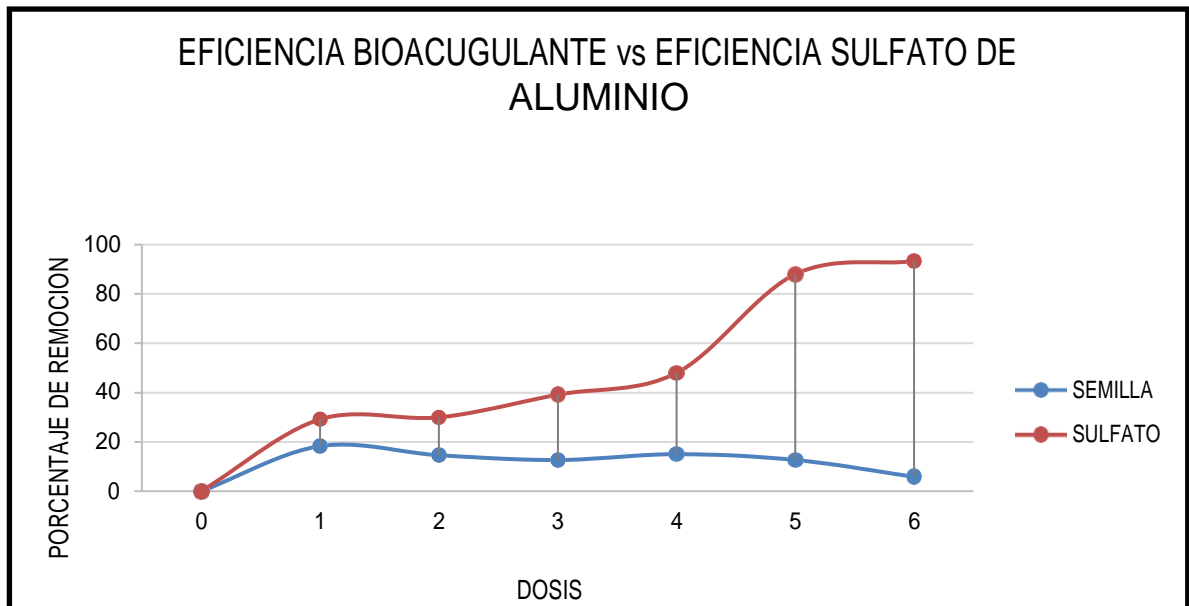
Teniendo como resultados las siguientes graficas:

La eficiencia de biocoagulante en terminos de reduccion de turbidez nos indica que logra una reduccion maxima de 18 %, con una concentracion de 80 ppm, la concentracion de cogaulante natural que mostro menos eficiencia es 180 ppm con un porcentaje de 5%

En la gráfica 7 podemos ver la eficiencia que obtuvo el coagulante químico en las pruebas realizadas donde logra una eficiencia máxima de 93 % de reducción de turbidez con una concentración de 5 ppm, a mayor concentración de coagulante es más alta la eficiencia.

⁷⁴ Jorge arboleda Valencia "teoría y práctica de la purificación del agua ",1992

Grafica 7. Eficiencia de los coagulantes



Fuente: Autores

Al realizar el análisis de eficiencia de los dos coagulantes los resultado obtenidos muestran que el coagulante químico en este caso el sulfato de aluminio tipo A fue el más eficiente logrando un mayor porcentaje de remoción de turbiedad y color del agua. Este resultado se debe a que las sales de aluminio y de hierro producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrolisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad de agua y producen los hidróxidos de aluminio que son insolubles y forman precipitados⁷⁵

Ademas cuando se agrega al agua sales de aluminio o hierro se forman varias compuestos solubles tales como Al^{+3} , $Al(OH)^{+2}$, etc. Estos compuestos se adsorben sobre la superficie de las particulas coloidales o forman complejos sobre la superficie que conduce a la desestabilizacion. Este mecanismos se denomina desestabilizacion por adsorcion⁷⁶.

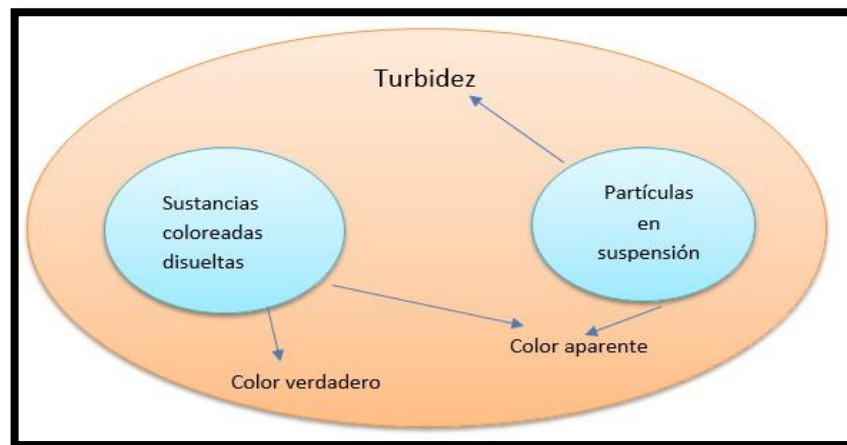
⁷⁵ GOMEZ ,Alejandro ; remoción de materia orgánica por coagulación –floculación,2005

⁷⁶ GOMEZ ,Alejandro ; remoción de materia orgánica por coagulación –floculación,2005

Esta desestabilización se puede llevar a cabo gracias a que las partículas coloidales que contiene el agua presentan una carga superficial negativa⁷⁷ y los compuestos solubles del coagulante tienen una carga positiva.

Es de esta manera es como logra reducir la turbiedad (grafica 7) que es causada por materia suspendida y coloidal tal como arcilla, sedimento, materia orgánica e inorgánica dividida finamente, plancton y otros microorganismos microscópicos⁷⁸.

Figura 27. Relación turbidez y color⁷⁹



Fuente: GOYENOLA, 2007

El color del agua dependerá tanto de las sustancias que se encuentren disueltas, como de las partículas que se encuentren en suspensión⁸⁰. Generalmente las partículas disueltas tienen un tamaño de 2 micrones⁸¹, lo que les facilita estar en suspensión, y por su tamaño no logra en su totalidad la conformación del floc, para su posterior sedimentación. Por lo general, los procesos de tratamiento convencionales no son muy efectivos cuando el color está presente en altos niveles

⁷⁷ ARBOLEDA, Jorge. Práctica de la purificación del agua. Tercera edición. Mc Grawhill, tomo 1

⁷⁸ IDEAM, turbiedad por nefelometría en el equipo turbiquant 3000 t.; subdirección de hidrología – grupo programa de fisicoquímica ambiental, 15 de junio 2007

⁷⁹ GAYENOLA, G.; Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos, en: <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/>.

⁸⁰ GAYENOLA, G.; Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos, en: <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/>.

⁸¹ SIGLER, A; BAUDER, J.; educación en el agua de pozo, Universidad estatal de Montana.

en el agua⁸². Estas afirmaciones se corroboran con nuestro análisis ya que el agua logro reducir su color (Grafica 4) pero no cumple con la normatividad legal vigente para consumo de agua potable.

En la gráfica 6 de las variaciones que tiene el pH con coagulante químico, tiende a ser ligeramente ácido esto, puede estar condicionado a que el fenómeno de la desestabilización se efectúa mediante una serie de reacciones químicas bastante complejas, de las cuales algunas no se han podido entender lo suficiente; Algunas de estas reacciones producen CO₂, cuyo efecto consiste fundamentalmente en el incremento de la acidez del agua y por consiguiente la disminución del pH⁸³.

En el caso de semilla de *Jatropha curcas* Yongabi (2004) realizó una investigación preliminar sobre la capacidad de coagulación y desinfección de la semilla de *Jatropha curcas* en aguas residuales comparando este con alumbre. Al igual que Pritchard, M.; Mkandawire, T.; Edmondson, A.; O'Neill, J.G.; Kululanga, G. (2009) realizaron un análisis donde se añade *Jatropha curcas* a las muestras de agua obtenidas de cinco pozos poco profundos en Malawi. Los ensayos consistieron en pruebas de jarras para evaluar el potencial de coagulación y el efecto resultante sobre parámetros tales como la temperatura, pH, turbidez. Los resultados mostraron que la adición *J. curcas* pueden mejorar considerablemente la calidad del agua de pozo poco profundo, produciendo una reducción de la eficiencia superior al 90% teniendo en cuenta que se tenía una turbidez de 49 NTU⁸⁴; este caso no se presenta estos resultados ya que el porcentaje de remoción de turbidez de la semilla solo llegó al 18 % probablemente la variable que interfiere es de pH, con un promedio de 7,1; provocando que el biocoagulante no sea eficiente, ya que estos estudios realizados con un potencial de hidrogeno ácido que presentan las aguas de pozos

⁸² ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD,.; Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero, LIMA. 2005

⁸³ RODRÍGUEZ, Carlos. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Santafé de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1995. 115 p.

⁸⁴ Pritchard, M.; Mkandawire, T.; Edmondson, A.; O'Neill, J.G.; Kululanga, G. (2009) Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. Phys. Chem. Earth. 34:799-805

pocos profundos considerándose, esta variable de pH se puede reafirmar por medio estos autores Abidin. Z; Shamsudin. N; Madehi. N; Sobri. S. los cuales buscan un método mejorado y alternativo para la extracción del agente coagulante activo a partir de *Jatropha curcas* semilla, donde se logró un porcentaje de remoción de turbiedad de > al 90% a un pH de 3.

Respecto al aumento del pH que se presentó en el estudio en las tres muestras dependientemente de la dosis del biocoagulante agregado, se ha encontrado en otras investigaciones se presenta la misma situación⁸⁵.

Las semillas de la ***Jatropha curcas*** han sido objeto del mayor número de estudios para esta especie, contienen entre 30 y 32 % de proteína y de 60 a 66 % de lípidos, lo cual indica su potencial como fuente de energía renovable y ha conllevado al desarrollo de investigaciones que permiten la caracterización química.⁸⁶ .

Las proteínas en las semillas están constituidas principalmente por tres grandes grupos:

- Proteínas estructurales (estructura de la célula)
- Proteínas con actividad biológica (generalmente son enzimas)
- Proteínas de reserva o almacenamiento ⁸⁷

Las proteínas de reserva son las de mayor proporción⁸⁸ en las semillas.

Respecto con el aumento del color del agua con el tratamiento del biocoagulante se puede deber a que las proteínas de reserva que contiene la semilla se encuentran

⁸⁵ Pritchard, M.; Mkandawire, T.; Edmondson, A.; O'Neill, J.G.; Kululanga, G. (2009) Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Phys. Chem. Earth*. 34:799-805.

⁸⁶ Importancia química de *Jatropha curcas* y sus aplicaciones biológicas, farmacológicas e industriales, MSc. Ludy C. Pabón, MSc. Patricia Hernández-Rodríguez. Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia. 24 de enero de 2012. 194-209

⁸⁷ Caracterización bioquímica de las proteínas de la semilla de *Jatropha curcas* L. María, E. L., Peralta. Instituto politécnico nacional centro de desarrollo de productos bióticos.

⁸⁸ Structures of Plant Storage Protein and their Function, *Food Rev. J Agric. Food Chem.* Fukushima D. 1991 pag 6-29

la albumina, que es soluble en agua⁸⁹. Lo que aumenta los sólidos disueltos del agua tratada y por consiguiente el color

La eficiencia de la proteína de semilla de *Jatropha curcas* en el proceso de coagulación se hizo deficiente debido a que el pH con el que cuenta el agua en promedio es neutro. Lo que se puede explicar con el pH isoeléctrico de las proteínas, que nos dice que en disolución con un valor alto de pH (disoluciones básicas) las proteínas suelen tener carga neta negativa. Por el contrario, en disoluciones de pH bajo (disoluciones ácidas) las proteínas tienen carga neta positiva. A un valor intermedio de pH, la carga neta de una proteína tendrá que ser cero. El pH de la disolución en la cual la proteína tiene una carga neta cero se denomina pH isoeléctrico (iso=igual). A este pH isoeléctrico el número de cargas de negativos y positivas es el mismo con lo que la carga neta es cero⁹⁰. Siendo esta la situación que se presenta con el agua del río Magdalena

⁸⁹ Osborne, T.B. 1924. The vegetable proteins ed. Longmans, Green New York, pp452

⁹⁰ Martínez R; Rodríguez J; Sánchez M; (2007). *Un Proyecto de American Chemical Society*. Versión Española. Barcelona.

9. CONCLUSIONES

Los parámetros del agua cruda proveniente del río Magdalena tiene unas características de turbidez bajo y un alto contenido de color, esto puede indicar que el río Magdalena tiene más sólidos disueltos lo que aumenta la concentración de color al recurso hídrico. En cuanto al potencial de hidrógeno se encuentra en rango de 6.8-7.5 lo que indica que es ligeramente neutro. Lo que no genera la desnaturalización de la proteína por el pH isoeléctrico, dando al pH neutro del agua, esto no permite que la proteína tenga una carga eléctrica, siendo muy baja la atracción de los coloides evidencia en su baja efectividad.

Además la eficiencia de la semilla de *Jatropha curcas* como coagulante de agua cruda del Río Magdalena, presentó un porcentaje máximo de remoción de turbidez de 18% con una concentración de 80 ppm, con pH de 7.3 y un aumento de color de 336 UPC, lo que indica que la *Jatropha curcas* no cumple con los requerimientos exigidos por la normatividad Colombiana para la aplicación de tratamiento de agua potable del país, ni con la eficiencia necesaria para ser utilizada en estos casos.

Los coagulantes químicos en este caso el sulfato férrico tipo A siguen siendo una de las mejores opciones para la remoción de turbiedad y color en el agua cruda, presentando niveles por encima del 90% de remoción de turbidez; siendo el más óptimo en desempeño y eficiencia de los coagulantes anteriormente mencionados.

10. RECOMENDACIONES

Debido a que no se encuentra mucha información y estudios respecto a la utilización de la semilla de la *Jatropha curcas* como biocoagulante en aguas crudas se recomienda lo siguiente:

- Realizar un análisis más a fondo y exhaustivo sobre las propiedades que contienen las proteínas ayudantes a la coagulación provenientes de la semilla *Jatropha curcas*.
- Se requiere un análisis del porque el biocoagulante a partir de la semilla *Jatropha curcas* aumenta el color de las agua crudas.
- Ejecutar más estudios del porque actúa mejor y con mayor eficiencia el biocoagulante a partir de la semilla *Jatropha curcas* en aguas con un pH ácido.
- Para posteriores análisis se sugiere no solo medir variables tales como turbidez, color y pH, si no también parámetros tales como alcalinidad, dureza, sólidos totales y sólidos suspendidos ya que podría tener un mejor desempeño en el tratamiento de agua residual.

11. REFERENCIAS

- Almendarez, de Q. N. 2004. Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del lago de Managua “piedras azules”. Rev. Iber. Polím. 5(1), 47-54.
- ANONIMO, Jatropha curcas, 2010 en: http://www.arbolesdecentroamerica.info/index.php/en/species/item/download/123_013d7b796ebbc1476b4c98afdb99bce7 [consulta 10/08/2016]
- ARBOLEDA, J. Teoría de la Coagulación del Agua. Acodal, 1992. P-12.
- ARBOLEDA, J. Teoría y práctica de la purificación del agua. Tercera Edición. 2000. Vol. I.
- ARBOLEDA, Jorge. Práctica de la purificación del agua. Tercera edición. Mc Grawhill, tomo 1
- Bartoli.A.J.A.2008. Manual para el Cultivo de Piñon (Jatropha curcas) Honduras. elaborado por el Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). Pag. 1-5.
- Bhole, A. G. 1995. Relative evaluation of a few natural coagulants. J. Water Supply Res. T. 44(6), 284-290.
- BHUPTAWAT, H., FOLKARD, G.K. and CHAUDHARI, S. Innovative physico-Chemical treatment of wastewater incorporating Moringa oleifera seed coagulant. Journal of Hazardous Materials, 142 (2007) p. 477–482
- Bidin.Z.Z, Shamsudin. N.M.S, Madehi. N, Sobri. S. 2013. Optimizacion de un metodo para extraer el agente coagulante activo a partir de Jatropha curcas semilla para su uso en la eliminacion de la turbidez. ELSEVIER. Pag 319-323.
- CASTRILLÓN BEDOYA DANIELA, GIRALDO MARIA. Determinación de las dosis óptimas del potabilización del agua en la planta de tratamiento de Villa Santana. Pereira, 2012. Trabajo de grado (Tecnólogo Químico). Escuela de tecnología química. Facultad de tecnologías.
- consejo municipal de girardot. (2008). Girardot-Cundinamarca. Recuperado el 13 de 9 de 2015, de “POR MEDIO DEL CUAL SE ADOPTA EL PLAN DE DESARROLLO E INVERSIONES DEL MUNICIPIO DE: http://girardot-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/34316365326131376361656436306263/acuerdo_012.pdf
- Corporacion Autonoma Regional de Cundinamarca. (2007). CAR. Recuperado el 15 de 9 de 2015, de Mapa de Ruido: <https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=10477&download=Y>.
- Díaz, A., N. Rincón, A. Escorihuela, N. Fernández, E., Chacin & C. Forster. 1999. A preliminary evaluation of turbidity removal by natural coagulants indigenous to Venezuela. Process Biochem. 35, 391–395.
- GAYENOLA, G.; Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos, en: <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/>.
- George, D. B., S. G. Berk, V. D. Adams, R. S. Ting, R.O.Roberts,L.H.Parks &.R.C.Lott.1995.Toxicity of alum sludge extracts to freshwater

alga, protozoan, fish, and marine bacterium. *Ach. Environ contam. Toxicol.* 29, 149-158

- GOMEZ ,Alejandro ; remoción de materia orgánica por coagulación – floculación, 2005
- Gutierrez, G. K. (2010). Eficiencia del Cogaulante de la Semilla Moringa oleífera en el tratamiento de agua con baja turbidez. Zamorano – Honduras.
- GUZMÁN L., VILLABONA, A. y TEJADA, C. Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión. *Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1) 2013, p. 253-262.
- Haidi, M.M., B. Bijan, N. Mahnaz & H.A. Movahedian. 2009. Effectiveness of chitosan as natural coagulant aid in removal of turbidity and bacteria from turbid waters. *J. Food Agric. Environ* 7 (3&4), 845-850. Humphries, J. M. & S.J. Hughes. 2006. Pharmaceutical, Nutraceutical and Industrial Potential of Temperate Legumes. *CRC Salinity Bulletin*. ISSN 1833-423
- IDEAM, turbiedad por nefelometría en el equipo turbiquant 3000 t.; subdirección de hidrología – grupo programa de fisicoquímica ambiental ,15 de junio 2007
- Jahn, S. A. A. 1984. Effectiveness of traditional flocculants as primary coagulants and coagulant aids for the treatment of tropical raw water with more than a thousand-fold fluctuation in turbidity. *Water Supply* 2 (3/4), Special Subject. 8-10.
- JIMENEZ, Cristian. ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia?. Editorial EL TIEMPO
- Jorge arboleda Valencia “teoría y práctica de la purificación del agua “, 1992
- Krishnan, K.R.R., McDonald, W.M. Arteriosclerotic depression. *Med Hypotheses*. 1995;44:111–115.
- Lenntech B.V., 2016. Historia del tratamiento de agua potable.
- LOPEZ, Alberto. Consideraciones sobre el sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia, tomadode:<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/Consideraciones%20sobre%20el%20Sector%20de%20agua%20potable%20y%20saneamiento%20b%C3%A1sico.pdf>
- MELO & TURRIAGO, 2012. Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de moringa oleífera como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de acacias
- Meyssami, B. & A.B. Kasaeian. 2005. Use of coagulants in treatment of olive oil wastewater model solutions by induced air flotation. *Bioresour. Technol.* 96(3), 303-307.
- MONCADA Jhonny, PÉREZ Carolina, VALENCIA Germán. Comunidades organizadas y el servicio público de agua potable en Colombia: una defensa de la tercera opción económica desde la teoría de recursos de uso común. *Medellin, ecos de economía*, N° 37 pp 125-159.

- OAS. 2007. Clarification using plant material. <http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea59e/ch22.htm> Acceso; 5/02/2011. 412934 lecturas
- Orellana. L. 2001. Estadística descriptiva. Pag. 14.fuente: http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica_Q/2011/1/modulo%20descriptiva.pdf
- Organización Mundial de la Salud, 2015. Agua. N°369
- Organización de Naciones Unidas ONU, (2000), *Índice de Desarrollo Humano*, PNUD, En: Agencia EFE, San José Costa Rica, 30 de Junio de 2000
- ORGANIZACIÓN PANAMERICA DE LA SALUD,; Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero, LIMA. 2005
- Pabon, L. C., & Hernandez, P. (2012). Importancia Química de la *Jatropha curcas* y sus aplicaciones biológicas, farmacológicas e industriales. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. Recuperado el 15 de 8 de 2016, de <http://scielo.sld.cu/pdf/pla/v17n2/pla08212.pdf>
- PALACIO BETANCOURT DIEGO, LOZANO RAMÍREZ JUAN. Decreto número 1575 de 2007: Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. En: Ministerio de la protección social. (mayo. 2007).p-3
- PALACIO BETANCOURT DIEGO, LOZANO RAMÍREZ JUAN. Resolución número 2115: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. En: Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. (Jun. 2007).p-2
- Perez, P. J. (2008). Tratamiento de Aguas - Floculación y Coagulación. Universidad Nacional - Facultad de minas, Bogota. Recuperado el 29 de 9 de 2016.
- Poschenrieder,C.,B. Gunse,I.Corrales & J.Barcelo.2008.A Glance into aluminum toxicity and resistance in plants. *Sci. Total Environ.*400 (1-3), 356-368.
- PRITCHARD, M., MKANDAWIRE, T., EDMONDSON, A., O'NEILL, J. and KULULANGA, G. Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 34(13-16), 2009, p. 799-805.
- Pritchard, M.; Mkandawire, T.; Edmondson, A.; O'Neill, J.G.; Kululanga, G. (2009) Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Phys. Chem. Earth*. 34:799-805.
- Pritchard, M.; Mkandawire, T.; Edmondson, A.; O'Neill, J.G.; Kululanga, G. (2009) Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Phys. Chem. Earth*. 34:799-805.
- Programa en Tecnología en Control Ambiental. Manual de procedimientos de toma de muestras de agua para análisis físicoquímico y microbiológico. Servicio de Aprendizaje SENA Centro Agro-empresarial y Minero del Bolívar.

Fuente:

<http://tecnologosencontrolambientalsenacuc.blogspot.com.co/p/manual-de-procedimiento-de-toma-de.html>

- RODRÍGUEZ, Carlos. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Santafé de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1995. 115 p.
- ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del Agua. Primera Edición, 2002. P 67, 69, 70, 71
- Sanghi, R., B. Bhattacharya, A. Dixit & V. Singh. 2006. Ipomoea dasysperma seed gum: An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions. J. Environ. Manag. 81(1), 36-41.
- SANGHI, R.; BHATTACHARYA, B.; SINGH, V. 2002. Cassia angustifolia seed gum as an effective natural coagulant for decolourisation of dye solutions. Green Chem. 4:252-254.
- SIGLER, A; BAUDER, J.; educación en el agua de pozo, Universidad estatal de Montana.
- Sociedad de aguas del tutuncuma, 2016. Proceso de potabilizacion del Agua. SAT.
- Sotero-Santos, R. B., O. Rocha & J. Povinelli. 2007. Toxicity of ferric chloride sludge to aquatic organisms. Chemosphere 68(4), 628-636.
- UNESCO. (1992), *Programa de educación sobre problemas ambientales en las ciudades*, Departamento de Urbanismo, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco:Los Libros de la Catarata ed., 1995
- VÁSQUEZ GONZÁLEZ LEONARDO. Remoción de turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas (Eritrina americana, Quercus ilex, Acacia farnesiana, Viscum album y Senna candolleana). Naturaleza y desarrollo N. 11. (Jun. 2013). ISSN 2007-204X
- YIN, C.Y. 2010. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. Process Biochem. 45:1437-1444.
- YONGABI, K.A. 2004. Studies on the potential use of medicinal plants and macrofungi (lower plants) in water and wastewater purification. FMENV/ZERI Res. Centre. Abubakar Tafawa Balewa U. Bauchi. Nigeria. Disponible en: <http://webber.biotech.kth.se/iobb/news/kenneth04.doc>