

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE  
ALMIDÓN DE YUCA Y ESTUDIO DE SU INFLUENCIA  
COMO FLOCULANTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS”**

Previo a la obtención del título de  
**INGENIERO QUÍMICO**

Autor  
**MARÍA FERNANDA DESIDERIO MOREIRA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO 2017**

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad encontrar una alternativa de clarificación para los tratamientos de agua que no sea de alto poder contaminante y no resulte perjudicial para el medio ambiente o para los seres humanos. El uso del almidón de yuca, *Manihot esculenta crantz*, como floculante orgánico facilita la remoción de turbidez de las aguas al ser modificado a un pH elevado a estado de gel reduciendo el uso del sulfato de aluminio. Según las pruebas de jarras realizadas con las mezclas de sulfato de aluminio y almidón de yuca se obtuvieron porcentajes de remoción de turbidez del 93.0%, 90.0% y 88.5% para las muestras de aguas tomadas del Lago Espol, del 87.7%, 88.9% y 87.2% para muestras tomadas del estero Salado y del 99.6%, 99.2 % y 99.4% para muestras tomadas del río Guayas que en comparación con los resultados obtenidos en las pruebas de jarras utilizando sólo sulfato de aluminio como coagulante no tienen gran diferencia. En cada tratamiento se realizaron pruebas de turbidez, pH, sólidos disueltos y conductividad. El pH que disminuye al agregar el sulfato de aluminio se estabiliza luego de agregar la solución de almidón que promueve el aumento del volumen de los flóculos.

*Palabras clave: Sulfato de aluminio, floculante, remoción de turbidez, almidón de yuca, flóculos*

## ABSTRACT

The present study aims to find an alternative agent to be used in the clarification of water treatment that is not high pollutant and does not be harmful to the environment or to humans. The use of cassava starch, *Manihot esculenta crantz*, as an organic flocculant facilitates the removal of turbidity from the water when is modified to a higher pH level to gel, reducing the use of aluminum sulfate. According to the jar tests made with different mixtures of aluminum sulfate and cassava starch, turbidity removal rates of 93,0%, 90,0% and 88,5% for samples taken from Lago Espol, of 87,7%, 88,9% and 87,2% for samples taken from estero Salado and of 99,6%, 99,2% and 99,4% for samples taken from río Guayas compared to the results obtained in jar test using only aluminum sulfate as coagulant have not great difference. In each treatment turbidity, pH, dissolved solids and conductivity were analyzed. The pH decreases when the alum is added to the water sample but the stabilizes after adding the starch solution that promotes the increase of the volume of the flocs.

*Key words: Aluminum sulfate, flocculant, removal of turbidity, cassava starch, flocs*

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va por ti, Nicolás Ortega, porque creíste en mí.

## AGRADECIMIENTO

A Dios que, con su amor y misericordia, me permite día a día mejorar tanto en el ámbito personal como profesional.

A mi tutor, Joel Vielma, que con su ayuda y paciencia me animaba a culminar este proyecto con éxito.

A mi familia, por su apoyo incondicional y sus consejos.

Especialmente a Nicolás, por su escucha, cariño y compañía a lo largo del estudio de toda mi carrera.

Y a todos aquellos que sin duda contribuyeron con su granito de arena: Don Nestorio, Camilo, Tyrone, Julito, Ing. Torres, Vanessa, Samuel, Cristian, Marlys, la empresa Nowservice S.A., conocidos y desconocidos. ¡Sencillamente gracias de corazón!

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente a:

María Fernanda Desiderio Moreira

Y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

---

María Fernanda Desiderio Moreira

## ACRÓNIMOS Y SIGLAS

TGA	Análisis termogravimétrico
DSC	Calorimetría diferencial de barrido
SDT	Sólidos disueltos Totales
IR	Infrarrojo
NTU	Unidades nefelométricas de turbidez
pH	Potencial de hidrógeno
DQO	Demanda química de oxígeno

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
ACRÓNIMOS Y SIGLAS.....	VI
TABLA DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
1. BASES TEÓRICAS .....	5
1.1. Tratamiento de las aguas.....	5
1.1.1. Impurezas del agua .....	5
1.1.1.1. Características de los coloides.....	6
1.1.2. Parámetros de control .....	7
1.1.2.1. Turbidez.....	7
1.1.2.2. Conductividad .....	8
1.1.2.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	9
1.1.3. Coagulación - Floculación.....	10
1.1.3.1. Tipos de coagulantes y floculantes .....	11
1.2. La yuca.....	12
1.2.1. Composición de la Yuca .....	13
1.2.2. Estructura química del Almidón de yuca .....	14
1.2.2.1. Espectroscopia infrarroja .....	16
1.2.2.2. Análisis termogravimétrico .....	17
1.2.3. Propiedades del almidón.....	18
1.2.4. Almidón de yuca como floculante .....	18



1.2.4.1. Ventajas del uso de floculantes naturales .....	19
CAPÍTULO 2 .....	20
2. METODOLOGÍA.....	20
2.1. Primera parte: Extracción y caracterización del almidón de yuca .....	20
2.1.1. Materia Prima .....	21
2.1.2. Materiales y reactivos.....	22
2.1.3. Diagrama de flujo del proceso .....	27
2.1.4. Extracción a diferentes temperaturas .....	27
2.1.4.1. Prueba a 40°C .....	27
2.1.4.2. Prueba a 60°C, 80°C y 95°C.....	29
2.1.4.3. Prueba a 50 °C .....	30
2.2. Parte 2: Estudio de la influencia del floculante extraído en tratamiento de aguas30	
2.2.1. Muestras de agua contaminada a tratar .....	30
2.2.1.1. Lago artificial de la ESPOL .....	31
2.2.1.2. Estero Salado .....	33
2.2.1.3. Río Guayas .....	34
2.2.2. Materiales y reactivos .....	36
2.2.3. Pruebas de jarras .....	38
2.2.3.1. Procedimiento.....	38
2.2.4. Análisis antes y después de la coagulación-floculación .....	39
CAPÍTULO 3 .....	40
3. RESULTADOS .....	40
3.1. Extracción de almidón.....	40
3.1.1. Cantidad de almidón extraído en cada prueba .....	40
3.1.2. Caracterización del almidón.....	42

3.1.2.1. Análisis del espectro Infrarrojo con transformada de Fourier (IR-TF)	42
3.1.2.2. Análisis termogravimétrico	43
3.2. Estudio del floculante en tratamiento de aguas	44
3.2.1. Pruebas de jarras	44
3.2.1.1. Dosis óptima de sulfato de aluminio	44
3.2.1.2. Mezclas Sulfato de aluminio y almidón de yuca en estado sólido	49
3.2.1.3. Mezclas sulfato de aluminio y almidón de yuca en gel	52
CAPÍTULO 4	57
4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57
4.1. Extracción del almidón de yuca	57
4.2. Pruebas de jarras	58
4.3. Ventajas del almidón sobre el sulfato de aluminio	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
Conclusiones	60
Recomendaciones	61
REFERENCIAS	62
SIMBOLOGÍA	68
ANEXOS	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Partículas coloidales.....	7
Figura 1.2. Planta de la yuca.....	12
Figura 1.3. Rendimiento de la producción de Yuca (raíz seca) por provincia, año 2016, Ecuador.....	13
Figura 1.4. Estructura de la amilosa.....	15
Figura 1.5. Estructura de la amilopectina.....	15
Figura 1.6. Micrográficas mostrando gránulos de almidón de yuca.....	16
Figura 1.7. Espectroscopia infrarroja del almidón puro.....	17
Figura 2.1. Raíces de yuca.....	21
Figura 2.2. Rayador metálico.....	22
Figura 2.3. Vaso de precipitación.....	23
Figura 2.4. Termómetro.....	23
Figura 2.5. Balanza.....	24
Figura 2.6. Balanza analítica.....	24
Figura 2.7. Plancha de agitación y calentamiento.....	24
Figura 2.8. Centrífuga.....	25
Figura 2.9. Mufla.....	25
Figura 2.10. Espectrofotómetro IR.....	26
Figura 2.11. Termogravímetro.....	26
Figura 2.12. Balanza analítica Mettler Toledo para TGA.....	26
Figura 2.13. Diagrama de flujo del proceso.....	27
Figura 2.14. Extracción de almidón de yuca a 40°C.....	28
Figura 2.15. Almidón sedimentado luego de decantar el agua.....	28
Figura 2.16. Centrifugación a 1000 rpm.....	29
Figura 2.17. Extracciones a diferentes temperaturas.....	30
Figura 2.18. Ubicación del punto de muestreo del Lago ESPOL en el Mapa.....	32
Figura 2.19. Vista tipo satélite de Lago ESPOL.....	32
Figura 2.20. Ubicación del punto de muestreo del estero Salado en el Mapa.....	33
Figura 2.21. Vista tipo satélite del estero Salado.....	34
Figura 2.22. Ubicación del punto de muestreo del río Guayas en el Mapa.....	35
Figura 2.23. Vista tipo satélite del río Guayas.....	35

Figura 2.24. Turbidímetro .....	36
Figura 2. 25. Balanza Analítica .....	37
Figura 2.26. Prueba de jarras Phipps & Bird .....	37
Figura 2.27. Prueba de Jarras con muestras del Lago ESPOL .....	38
Figura 3.1. Almidón extraído a 60-70°C luego de secarse.....	40
Figura 3.2. Almidón gelatinizado a 80-95°C húmedo luego del proceso de secado .....	41
Figura 3.3. De izquierda a derecha, almidón extraído a 40°C y 50°C .....	41
Figura 3.4. Espectro Infrarrojo del almidón extraído de la yuca. ....	43
Figura 3.5. Espectro TGA-DSC del almidón extraído de la yuca. ....	44
Figura 3. 6 Niveles de turbidez con respecto a la masa de sulfato de aluminio añadida – Lago ESPOL.....	46
Figura 3. 7 Curva de los niveles de turbidez con respecto a la masa de sulfato de aluminio añadida – Estero Salado.....	47
Figura 3. 8 Curva de los niveles de turbidez con respecto a la masa de sulfato de aluminio añadida – Río Guayas .....	48
Figura 3. 9 Turbidez con relación a la adición de sulfato de aluminio y almidón en polvo .....	51
Figura 3. 10 Turbidez con relación a la adición de sulfato de aluminio y almidón en gel – Lago ESPOL .....	53
Figura 3. 11 Turbidez con relación a la adición de sulfato de aluminio y almidón en gel – estero Salado .....	54
Figura 3. 12 Turbidez con relación a la adición de Sulfato de aluminio y almidón en gel – río Guayas.....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Conductividad eléctrica de diferentes tipos de agua .....	9
Tabla 2 Clasificación de la materia orgánica según su carga contaminante .....	9
Tabla 3 Composición de la raíz entera, de la corteza y del cilindro central (pulpa) .....	14
Tabla 4 Características iniciales del agua cruda del Lago ESPOL.....	33
Tabla 5 Características iniciales del agua cruda del estero Salado .....	34
Tabla 6 Características iniciales del agua cruda del río Guayas .....	36
Tabla 7 Concentraciones de coagulante-floculante para pruebas de jarras .....	39
Tabla 8 Resultados de rendimiento de las extracciones .....	41
Tabla 9 Prueba de jarras para dosis óptima, Lago ESPOL .....	45
Tabla 10. Prueba de jarras para dosis óptima, Estero Salado .....	46
Tabla 11 Prueba de jarras para dosis óptima, Río Guayas .....	48
Tabla 12. Duplicados de Turbidez con dosis óptima de sulfato de aluminio.....	49
Tabla 13 Prueba de jarras para mezclas de Sulfato de aluminio y almidón en estado sólido, Lago ESPOL .....	50
Tabla 14 Prueba de jarras para mezclas de sulfato de aluminio y almidón en gel, Lago ESPOL .....	52
Tabla 15 Prueba de jarras para mezclas de sulfato de aluminio y almidón gel, estero Salado .....	53
Tabla 16 Prueba de jarras para mezclas de sulfato de aluminio y almidón gel, río Guayas.....	55
Tabla 17 Duplicados de turbidez con dosis óptima de sulfato de aluminio y almidón en gel.....	56
Tabla 18 Masa de sulfato de aluminio que se reduce .....	56

## INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos más importantes de nuestro planeta, con ella se realizan la mayoría de las actividades diarias de los seres humanos. Sin embargo, para el consumo humano es necesario que la misma transcurra por una serie de procesos que la hagan más pura y libre de contaminantes.

La superficie terrestre se compone de agua en más de un 70%, pero de ahí el 97.5% es agua salada y solo el 2.5% es agua dulce. De este último el 69.7% es agua congelada en los glaciares, el 30% se encuentra en reservas subterráneas y sólo el 0.3% en ríos, lagos y lagunas (Almenar, Bono, & García, 2000).

El agua dulce de ríos, lagos y lagunas debe cuidarse, ya que es indispensable para el desarrollo de nuestras vidas. Aun así, el agua dulce contiene impurezas que deben ser removidas por medio de tratamientos de potabilización del agua, en los cuales intervienen los procesos de coagulación, floculación y sedimentación.

En la mayoría de las plantas de tratamiento de agua existentes en la ciudad de Guayaquil se utiliza comúnmente un coagulante metálico inorgánico denominado Sulfato de Aluminio, el cual es un producto de bajo costo y puede trabajar en un rango más amplio de pH en aguas de baja y alta turbiedad. Sin embargo, en este proceso se forman lodos con altos contenidos de aluminio residual.

El aluminio es un metal liviano que no puede ser destruido si no que se combina para formar otros compuestos que no son muy solubles en agua. Está presente en el medio ambiente como depósitos en los suelos y agua, se acumula en los cultivos, en los animales tanto terrestres como acuáticos y se transmite al ser humano a través del consumo de alimentos que contengan altas concentraciones de este metal (Elika, 2014).

El mayor daño por aluminio se concentra en la agricultura, en las plantas produce cambios en la morfología, disminuye su crecimiento, reduce las raíces secundarias o provoca la muerte, por consiguiente, se vuelve un problema al producirse extinciones de especies de plantas que sean sensibles al metal (Catalá, 2015). Se

requiere sustituir o reducir el consumo de sulfato de aluminio y otros coagulantes inorgánicos por compuestos orgánicos que no contaminen el ecosistema o que se biodegraden rápidamente. El uso de coadyuvantes orgánicos para la coagulación-floculación podría disminuir el uso de los coagulantes comunes y por ende reducir la contaminación de las aguas.

El almidón extraído de las raíces de la yuca es un polímero natural útil para el tratamiento de las aguas (González, Martínez, Vega, & Otahola, 2012). El presente proyecto busca un proceso de extracción del almidón de yuca de mayor rendimiento y el análisis de su influencia en procesos de clarificación del agua, coagulación-floculación, y en consecuencia reducir el consumo de sulfato de aluminio tipo A.

Las aguas residuales se producen en casi todas las actividades humanas, y casi el 80% de las mismas retornan a los ecosistemas sin recibir el tratamiento adecuado (El universo, 2017). Esto implica que muchas personas que utilizan agua directamente de los ríos y de otras fuentes naturales son más propensas a estar expuestas a enfermedades.

El agua cruda para que pueda ser utilizada por el ser humano debe pasar por una serie de procesos que remuevan las impurezas que estén contenidas en ella. Algunos de estos procesos o tratamientos, que se necesitan para clarificar el agua y disminuir su carga orgánica son los de coagulación, floculación y filtración, los cuales requieren de agentes o sustancias químicas que faciliten el mejoramiento de la calidad de la misma.

Hoy en día las sales metálicas son los coagulantes más comunes. Entre los más conocidos comercialmente en tratamientos de agua está el sulfato de aluminio o Alum (Cohen & Hannah, 1971), policloruro de aluminio, cloruro férrico, entre otros. El Alum es una sustancia inorgánica que, si bien es efectiva y económica, es muy corrosiva y genera alta cantidad de aluminio residual.

El mal o excesivo uso del Alum en las plantas de tratamientos de aguas crudas puede dar como consecuencia trazas de aluminio perjudiciales para el medio

ambiente, en especial el ecosistema forestal, por la cantidad de lodo que se genera. Según la norma de Calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso Agua (2002) se indica que la cantidad de aluminio permisible en aguas de consumo humano y doméstico es de máximo 0.2 mg/L, mientras que para la preservación de flora y fauna en agua dulce se permite 0.1 mg/L.

El objetivo principal de este proyecto es extraer un floculante natural a partir de la yuca, para su uso en el tratamiento de aguas. Como objetivos específicos se tienen: Extraer almidón de las raíces tuberosas de la yuca, proponer una técnica de extracción de almidón que dé como resultado un mayor rendimiento, caracterizar el compuesto extraído por medio de espectroscopia infrarroja (IR-TF) y análisis termogravimétricos (TGA-DSC), comprobar la efectividad del producto en el proceso de clarificación de agua contaminada, comparar las ventajas y desventajas entre el floculante orgánico y el sulfato de aluminio y analizar mediante pruebas de jarras el comportamiento del floculante para distintos tipos de agua.

Dentro del marco de la química verde y el desarrollo sostenible, surge la necesidad de brindar un buen tratamiento químico a las aguas crudas a manera que cese la contaminación en nuestro ecosistema y no perjudique la salud de la población actual y además podamos beneficiarnos de los recursos naturales sin poner en riesgo el futuro de las generaciones próximas (Blanco, 2010).

Se busca extraer un floculante natural de la yuca a base de almidón, cuya función sea de ayuda al trabajo que hace el sulfato de aluminio y así poder disminuir su uso en tratamientos de potabilización del agua. Aunque no hay muchos estudios sobre los efectos del aluminio residual, se cree que podría tener relación con el desarrollo o aparición ciertas enfermedades neurológicas como el Alzheimer, (OMS, 1997).

Siendo el cuidado del ecosistema y por sobre todo la salud de los seres humanos lo más importante, se ve la necesidad de contribuir con el mejoramiento de los tratamientos químicos del agua en nuestro país, Ecuador, desarrollando una sustancia que sea, sobre todo, amigable con el medio ambiente y que reduzca la



utilización de cualquier tipo de sal metálica en los procesos de coagulación-floculación.

La hipótesis planteada en este trabajo es que el desarrollo de un floculante orgánico a partir del almidón extraído de yuca permitirá reducir el uso del sulfato de aluminio en la clarificación de diferentes tipos de aguas.

# CAPÍTULO 1

## 1. BASES TEÓRICAS

Para la obtención de agua potable a partir del agua cruda de ríos, lagos o lagunas es preciso que se realicen varios tipos de tratamientos que modifiquen las características fisicoquímicas de la misma a fin de poder cumplir con los requerimientos de la normativa ecuatoriana vigente.

Desde siempre se han desarrollado métodos para el abastecimiento de agua potable a la población, ya que el agua dulce que se puede utilizar ocupa el 0.3% del total del agua mundial. La alta demanda de este recurso requiere emplear procesos de potabilización eficaces y que adicionalmente no perjudiquen al ecosistema.

### 1.1. Tratamiento de las aguas

#### 1.1.1. Impurezas del agua

Muchas de las impurezas contenidas en las aguas se deben a factores naturales tales como los tipos de los suelos, sustancias minerales o la materia orgánica. Estas partículas pueden disolverse o permanecer en suspensión dependiendo de sus propiedades proporcionando un aspecto turbio al agua.

Las impurezas o contaminantes del agua se clasifican según el tamaño o volumen que ocupa la partícula (De la Llanta, 2003):

Las partículas suspendidas son aquellas que poseen un diámetro de más de una micra por esta razón la velocidad de precipitación es razonable y se pueden eliminar mediante filtros comunes, sedimentación, centrifugación y decantación. Absorben la luz y hacen que el agua se vea turbia, entre las partículas más conocidas dentro de esta categoría se encuentran los granos de arena, carbón en polvo y bacterias.

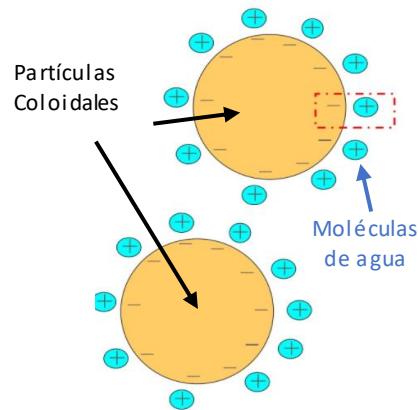
Las partículas coloidales son aquellas tales que el diámetro se encuentra entre 1 y  $1 \times 10^{-3}$  micras. Debido a su pequeño tamaño, la sedimentación por gravedad es imposible, no se pueden eliminar naturalmente de esa manera, ni por centrifugación o filtración ordinaria. Se necesita de procesos que cambien sus características químicas y físicas para poderlas remover. Estas partículas se encargan de aportar la turbiedad y color al agua.

#### **1.1.1.1. Características de los coloides**

Se clasifican por su afinidad por el agua en hidrofóbicos e hidrofílicos, los primeros no se rodean de moléculas de agua espontáneamente por lo que requieren de medios químicos o físicos que permitan la aglomeración de las mismas; mientras que las hidrofílicas se dispersan y son rodeadas rápidamente por moléculas de agua sin permitir que haya contacto entre las partículas.

El material inorgánico suele ser de carácter hidrofóbico mientras que el material orgánico es el hidrofílico, sin embargo, no existen partículas exclusivamente hidrófobas o hidrófilas, son hidratadas a diferentes grados. Las partículas con afinidad por el agua tienen carga eléctrica y una capa que tiende a desplazar las sustancias unas de otras para estabilizarlas dentro de la solución.

Los coloides poseen comúnmente una carga eléctrica negativa en su superficie, llamadas cargas primarias (ver Figura 1.1.), que son responsables de atraer las cargas parciales positivas sobre los átomos de hidrógeno del agua formando enlaces del tipo puente de hidrógeno relativamente fuertes. A su vez atrayendo iones negativos con una débil cantidad de iones positivos creando una doble capa o capa difusiva.



**Figura 1.1.** Partículas coloidales

*Fuente:* (Universidad de Buenos Aires, 2005)

Las fuerzas a las que están sometidos los coloides son las fuerzas de atracción de Van der Waals que se producen por el movimiento permanente de las partículas y las fuerzas de repulsión electrostáticas que impiden que las partículas se junten unas con otras cuando están cerca (Andía, 2000).

Las **partículas, iones o moléculas disueltas**, son aquellas que tienen un diámetro inferior a  $1 \times 10^{-3}$  micras, no se pueden sedimentar por lo que el agua no aumenta su turbidez y no pueden ser retenidas por ninguna clase de filtros. Se hacen llamar disoluciones verdaderas, de las cuales si conducen corriente eléctrica es porque el soluto es una sustancia que forma un enlace iónico por el contrario si no conduce carga eléctrica las moléculas del soluto forman enlaces covalentes. Algunos ejemplos de sustancias disueltas incluyen bicarbonatos, sulfatos y nitratos de calcio, magnesio y sodio, cloruros de calcio y magnesio, óxidos de hierro, residuos industriales, y gases como oxígeno o dióxido de carbono (Severns, Degler, & Miles, 1974).

## 1.1.2. Parámetros de control

### 1.1.2.1. Turbidez

Uno de los parámetros para saber el grado de contaminación del agua es la turbidez, la misma que expresa el grado en el cual el agua pierde su transparencia. Puede ser causada por una gran cantidad de sustancias en suspensión ya sean

desde dispersiones coloidales hasta partículas más gruesas. Es elemental determinar los niveles de turbidez ya que de ello depende el grado de tratamiento que requiere una fuente de agua cruda y que tan efectivos serían los procesos de coagulación, floculación y sedimentación de la misma. Los niveles de turbidez permitidos para el agua de consumo humano no deben ser mayores de 5 unidades nefelométricas de turbidez (NTU) e idealmente estar por debajo de 1 NTU (Díaz, 2014).

Las causas que generan turbidez en el agua se deben a estos factores: crecimiento de fitoplancton, las partículas del suelo que por erosión llegan al agua, sedimentados que se depositan en el fondo, descargas de agua contaminada directa sin tratamiento previo, crecimiento de algas y la escorrentía de las ciudades. Como consecuencia, el ecosistema acuático se ve afectado debido a que las aguas de gran turbiedad elevan sus temperaturas y disminuyen su concentración de oxígeno disuelto (González, 2011).

#### **1.1.2.2. Conductividad**

La conductividad del agua es otro factor para tomar en cuenta ya que determina numéricamente la habilidad de una sustancia de transmitir corriente eléctrica. Depende de la concentración de todas las sustancias que están disueltas como iones y de la temperatura a la cual se haga la medición. Es un estimado eficaz para medir la concentración de sólidos disueltos totales en el agua, mientras mayor sea la concentración de los sólidos disueltos totales (SDT), mayor será la carga eléctrica de la disolución.

En la tabla 1 se observa un aproximado de las conductividades eléctricas para diferentes tipos de agua.

**Tabla 1** Conductividad eléctrica de diferentes tipos de agua

Conductividad del agua	
Agua ultra pura	0.055 $\mu\text{S/cm}$
Agua destilada	0.5 $\mu\text{S/cm}$
Agua de montaña	1.0 $\mu\text{S/cm}$
Agua doméstica	500 a 800 $\mu\text{S/cm}$
Máxima para agua potable	1055 mS/cm
Agua de mar	56 mS/cm
Agua salobre	100 mS/cm

*Fuente. (REITEC, 2014)*

### 1.1.2.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno permite tener una idea representativa de la cantidad de carga contaminante que tiene un efluente. Según la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes (2002), el límite máximo permisible de DQO que debe tener el agua que se descarga a un cuerpo de agua dulce debe ser 250 mg de  $\text{O}_2/\text{L}$  para que esta no modifique considerablemente las condiciones naturales, mientras que para consumirla debe contener menos de 4 mg de  $\text{O}_2/\text{L}$ .

Desde luego, medir la cantidad de oxígeno que se necesita para degradar químicamente la materia orgánica es esencial para determinar si es consumible por los seres humanos o no. Según la tabla 2, el agua que tiene un DQO por debajo de 400 mg de  $\text{O}_2/\text{L}$  se considera como débil.

**Tabla 2** Clasificación de la materia orgánica según su carga contaminante

Carga contaminante	Débil	Media	Fuerte	Muy fuerte
DBO5 (mg/L)	< 200	200 - 350	350 - 500	> 750
DQO (mg/L)	< 400	400 - 700	700 - 1000	> 1500

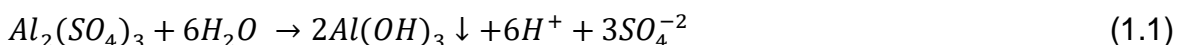
*Fuente. (CIDTA, 2003)*

### 1.1.3. Coagulación - Floculación

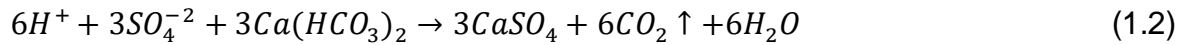
Para obtener un agua más apta para consumo humano es necesario el tratamiento fisicoquímico que elimine las partículas e impurezas no deseadas. Unos de los procesos principales son los de coagulación - floculación que consiste principalmente en desestabilizar las partículas coloidales que se mantienen en suspensión y que no pueden ser separadas por sedimentación simple por medio de agentes coagulantes que ayuden a neutralizar las fuerzas que los mantienen separados (Aguilar, Saéz, Lloréns, Soler, & Ortuño, 2002).

El mecanismo de desestabilización consiste en que la sustancia coagulante aporte con iones positivos al agua que contiene las partículas coloidales con carga negativa. Se producen reacciones químicas que reducen la tendencia repulsiva entre los coloides y les permite agruparse entre sí. El coagulante debe ser dispersado en la solución por medio de un mezclado rápido de entre 15 – 30 segundos, luego se realiza un mezclado lento o floculación que varía entre 20 y 40 minutos favoreciendo el contacto entre las partículas, aglomerándose para formar sólidos más grandes denominados flóculos que se podrán sedimentar con más facilidad (Henry & Heinke, 1999).

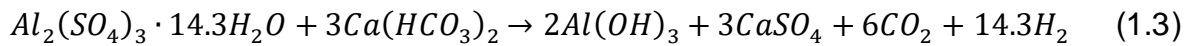
El agente coagulante más común utilizado en la clarificación del agua es el sulfato de aluminio o alum, de fórmula química  $(SO_4)_3Al_2 \cdot 14H_2O$ . El sulfato de aluminio es una sal metálica que al entrar en contacto con el agua se ioniza y produce iones de  $Al^{+3}$  y  $SO_4^{-2}$ . Según Henry & Heinke (1999) algunos iones de  $Al^{+3}$  se combinan con los iones  $OH^-$  del agua formando moléculas de  $Al(OH)_3$  que adsorben los iones positivos de la solución mediante la siguiente reacción 1.1:



El hidróxido de aluminio ayuda a neutralizar las partículas coloidales con carga negativa y el exceso del mismo se neutraliza por el  $SO_4^{-2}$  ocasionando precipitados de  $Al(OH)_3$  y sulfatos absorbidos. Los iones  $H^+$  que se forman se neutralizan por los bicarbonatos presentes en el agua como se muestra en la reacción 1.2:



La combinación de las reacciones 1.1 y 1.2 dan como resultado la siguiente reacción global:



El efecto resultante del proceso de coagulación trae consigo la disminución de pH del agua, la transformación de la dureza cálcica en dureza de sulfato y la producción de CO<sub>2</sub> y, por ende, la formación de un flóculo más pesado.

Es posible que en los procesos de coagulación – floculación, además de la sustancia coagulante, se utilice un coadyuvante de coagulación o floculante que permita una mayor aglomeración de los flóculos para que la sedimentación sea más efectiva. Dichos floculantes son polímeros inorgánicos u orgánicos que mejoran la velocidad de reacción y la calidad del flóculo (Interempresas, 2010).

#### **1.1.3.1. Tipos de coagulantes y floculantes**

Existen coagulantes y floculantes tanto inorgánicos como orgánicos que pueden ser sintéticos o naturales. El sulfato de aluminio, las sales de hierro y otros son agentes coagulantes-floculantes inorgánicos que son utilizados por su bajo costo, alto rendimiento, disponibilidad y eficiencia, sin embargo, pueden llegar a ser nocivos para el ambiente y la salud de los seres humanos.

Los floculantes orgánicos sintéticos son aquellos polímeros o poli electrolitos de alto peso molecular que se solubilizan con el agua. Se clasifican por su capacidad coagulante influida por ciertos parámetros como la naturaleza de las cargas, el peso molecular y la densidad de carga en catiónicos, aniónicos, anfóteros y no iónicos (Bravo, 2017). Las poliacrilamidas son los coadyuvantes de coagulación más efectivos, son de elevado costo utilizándose en bajas concentraciones. Los monómeros que los componen suelen ser compuestos tóxicos como los monómeros acrílicos.



Según Bravo (2017) también están los floculantes naturales en su mayoría de origen vegetal que representan una alternativa diferente y más amigable con el medio ambiente ya que comparándolos con los coagulantes-floculantes inorgánicos no generan daños y son biodegradables.

## 1.2. La yuca



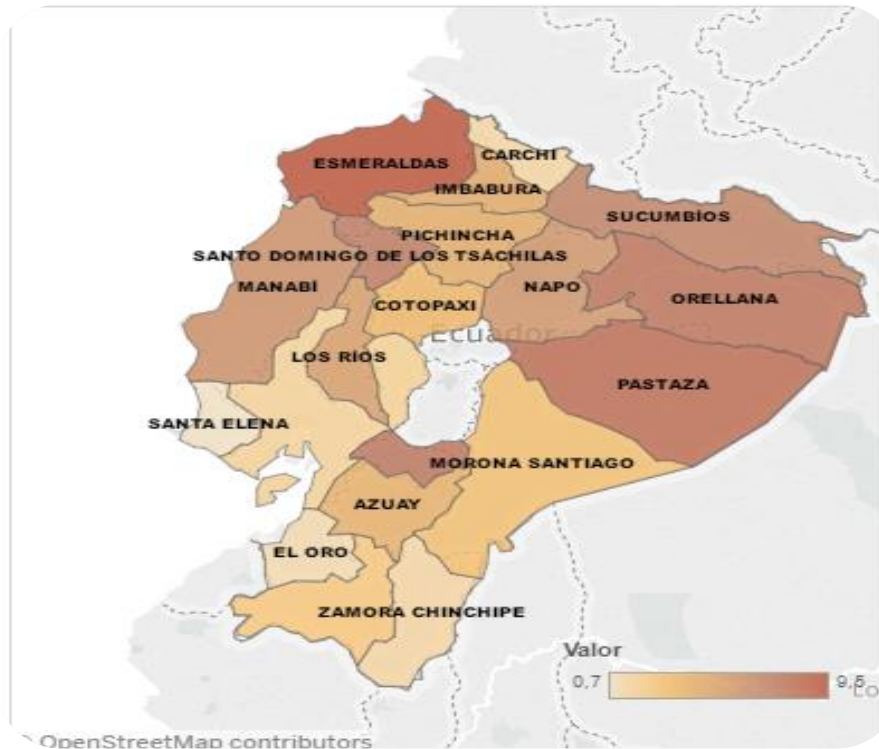
**Figura 1.2.** Planta de la yuca

Fuente: (Peluffo, 2013)

La yuca es una planta cultivada en varios países de América Latina por sus raíces comestibles. Es conocida científicamente como *Manihot esculenta crantz* y corresponde a la familia *Euphorbiaceae*. Se cree que uno de los focos en donde se originó mayormente es en Brasil y otro secundario en América Central (Cock, 1989). El arbusto se caracteriza por sus raíces tuberosas de gran diámetro que van en número de 5 a 10 por planta como se muestra en la Figura 1.2. Se usa principalmente como alimento o para producir almidón.

En Ecuador se cultiva en todas las provincias, pero principalmente en las llanuras tropicales, entre las ventajas más evidentes de su cultivo está que se da en suelos poco fértiles, no se requieren usos excesivos de productos químicos ni mucha agua. Según el SINAGAP (2017) en el 2016 se produjeron 90,727.0 toneladas de yuca a nivel nacional. La provincia en donde se generó el mayor rendimiento de producción

de las raíces secas de la especie fue Esmeraldas con 9.5 de toneladas por hectárea (ver Figura 1.3).



**Figura 1.3.** Rendimiento de la producción de Yuca (raíz seca) por provincia, año 2016, Ecuador

*Fuente: (SINAGAP, 2017)*

### 1.2.1. Composición de la Yuca

La raíz de la yuca está compuesta de las siguientes partes: la envoltura de aspecto parecido al corcho que se desprende con facilidad y comprende entre el 1-2% de la raíz, la corteza o cascara que representa el 12-20% de la raíz y la pulpa que se compone de vasos leñosos y células parenquimatosas, llenas de almidón, forma el 78-85% de la raíz (Montaldo, 1985).

En la Tabla 3 se puede observar la composición química de la raíz entera, la corteza y la pulpa.

**Tabla 3** Composición de la raíz entera, de la corteza y del cilindro central (pulpa)

Fracciones	Raíz entera		Corteza		Pulpa	
	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca
<b>Humedad</b>	61.0%	-	72.0%	-	59.0%	-
<b>Proteína</b>	1.2%	3.1%	1.5%	5.4%	1.0%	2.4%
<b>Grasa</b>	0.4%	1.1%	0.6%	2.1%	0.4%	1.0%
<b>Carbohidratos</b>	34.9%	89.4%	21.7%	77.5%	37.3%	91.0
<b>Fibra</b>	1.2%	3.1%	2.1%	8.9%	1.1%	2.7%
<b>Cenizas</b>	1.3%	3.3%	1.7%	6.1%	1.2%	2.9%

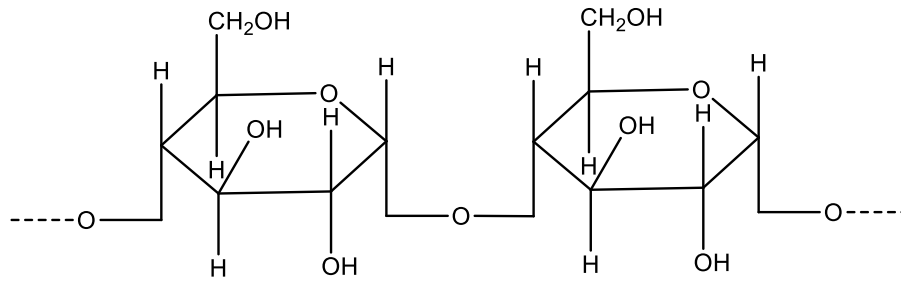
Fuente: (Montaldo, 1985)

La yuca cruda contiene dos glucósidos, linamarina y lotaustralina, que se transforman en ácido cianhídrico al momento de romperse las células de la raíz y ponerse en contacto con la enzima linamarasa. Por este motivo la yuca se clasifica según su contenido de ácido cianhídrico en yuca dulce *Manihot aipi*, menos de 100 ppm, o yuca amarga *Manihot utilissima* de concentraciones de cianuro por encima de las 100 ppm. El cianuro en concentraciones de entre 50 y 60 mg es tóxico para los seres humanos, por lo tanto, no se debe consumir cruda (Cabello Úbeda, 2010).

### 1.2.2. Estructura química del Almidón de yuca

Las raíces tuberosas de la yuca tienen altas reservas de almidón depositados como gránulos en la corteza, pulpa y semillas. El almidón es una mezcla de dos sustancias: la amilosa y la amilopectina. Dichas macromoléculas se diferencian por su estructura y sus concentraciones son las que definen las propiedades y características del almidón.

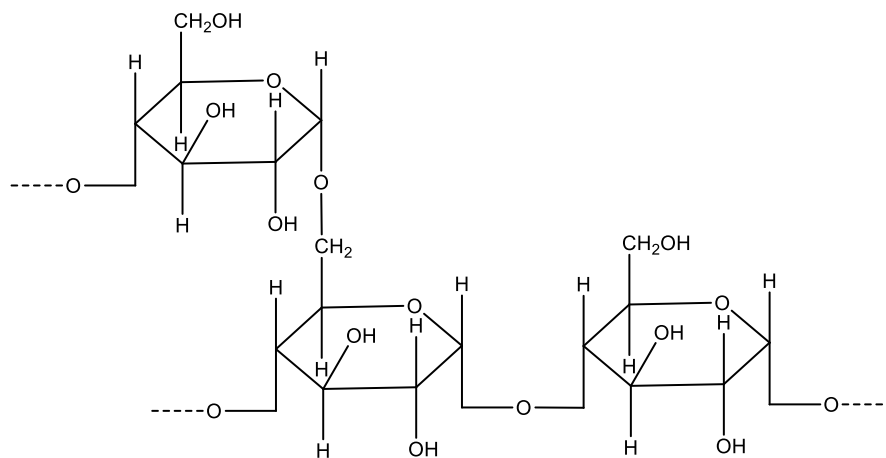
La amilosa es un polímero de cadena linear cuyo monómero base es la glucosa (ver Figura 1.4). Cada molécula se une por medio de enlaces glucosídicos  $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 4). La cantidad de los iones hidroxilos presentes es la que provee la propiedad hidrofílica o afinidad por el agua del almidón (Aristizábal & Sánchez, 2007).



**Figura 1.4.** Estructura de la amilosa

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

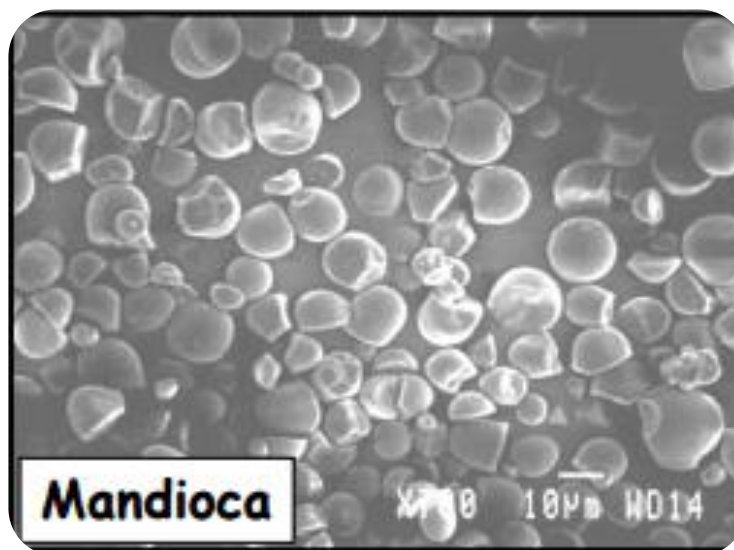
La amilopectina es aquella de cadena ramificada cuyo monómero base es el mismo que el de la amilosa (ver Figura 1.5). Contiene cadenas lineales unidas con enlaces  $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 4), las mismas que se unen entre sí por enlaces  $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 6) para formar puntos ramificados. Debido a sus cadenas ramificadas se dificulta la formación de enlaces de hidrógeno y su afinidad por el agua disminuye (Aristizábal & Sánchez, 2007).



**Figura 1.5.** Estructura de la amilopectina

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Los gránulos de almidón de yuca (ver Figura 1.6) tienen un contenido de amilosa-amilopectina en porcentajes de 17 y 83 respectivamente. Se sintetizan en los amiloplastos de las plantas y se los considera semicristalinos porque de la masa de cada grano de almidón el 70% se considera amorfo mientras que el 30% restante se considera cristalino (Brumovsky, 2014).



**Figura 1.6.** Micrografías mostrando gránulos de almidón de yuca

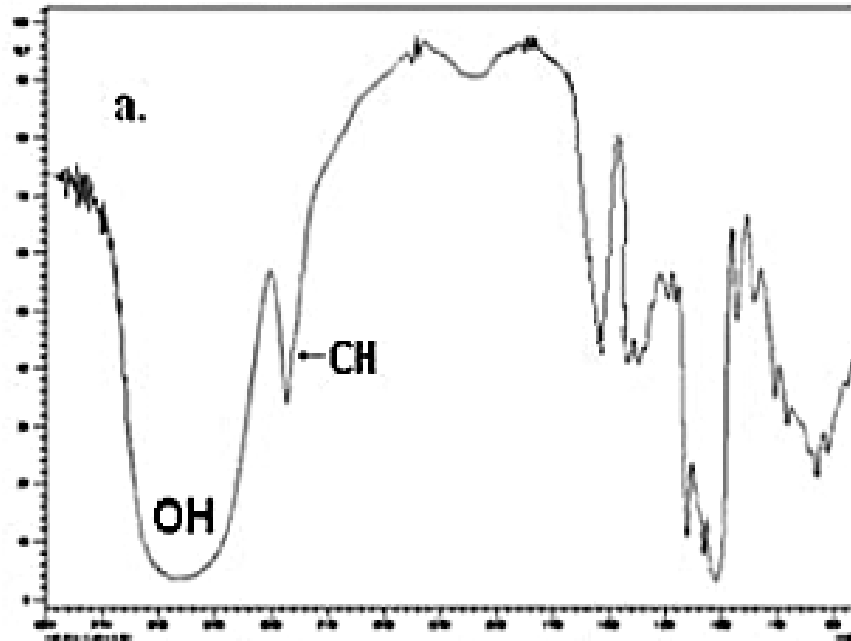
*Fuente: (Brumovsky, 2014)*

#### **1.2.2.1. Espectroscopia infrarroja**

Para determinar los grupos funcionales presentes en la molécula de almidón se hará uso de la espectroscopia infrarroja. El fundamento de este análisis se basa en que los enlaces de una molécula absorben fotones de radiación infrarroja generando una vibración. Cada enlace absorberá radiación infrarroja a distintas frecuencias según el tamaño de los átomos enlazados, generando que grupos funcionales diferentes muestren desplazamiento de energía en mayor o menor número de onda.

Los espectrofotómetros de infrarrojo utilizan el infrarrojo medio que hace un barrido del número de onda desde  $4000\text{ cm}^{-1}$  hasta  $400\text{ cm}^{-1}$ . El número de onda es el inverso de la longitud de la onda y se lo ubica en el eje de las x, mientras que en el eje de las y se representa el porcentaje de transmitancia T% (Fernández, s.f.).

Valero y colaboradores (2010) reportaron el espectro infrarrojo del almidón, que se muestra en la Figura 1.7.



**Figura 1.7.** Espectroscopia infrarroja del almidón puro

*Fuente: (Valero, y otros, 2010)*

### 1.2.2.2. Análisis termogravimétrico

Los análisis termogravimétricos (TGA-DSC) son técnicas que permite medir la variación de masa de una muestra específica cuando la misma es sometida a un rango de temperatura escogido en una atmosfera controlada. La variación de masa puede ser de pérdida o de ganancia a medida que cambia la temperatura. Esta pérdida de masa refleja la estabilidad de la sustancia.

Las aplicaciones de estos análisis son: estudios de descomposición de la materia y su estabilidad térmica, estudio de la composición, determinación de la pureza del compuesto, el contenido de humedad, la materia volátil, cenizas y carbono fijo (Universidad de Alicante, s.f.).

### **1.2.3. Propiedades del almidón**

El grano de almidón se rompe cuando está en presencia de agua caliente, y se desenvuelve en tres fases diferentes. En primer lugar, ocurre la fase de hinchamiento limitado en donde el grano conserva su apariencia y aun después de secarse no existe alteración en su estructura. Al sobrepasar la temperatura de gelatinización, superior a los 58°C, se inicia la segunda fase de hinchamiento en donde el grano aumenta su volumen y se solubiliza una parte de su contenido (Cabrera & Ramirez, 2014).

A temperaturas aún más elevadas, los fenómenos observados en la segunda fase se maximizan y se reduce la viscosidad de la solución provocando una sustancia gelatinosa. Cuando la solución de almidón se enfría ocurre el fenómeno de retrogradación que es cuando una parte del almidón se precipita tornándolo insoluble (Cabrera & Ramirez, 2014).

### **1.2.4. Almidón de yuca como floculante**

Los gránulos de almidón agregados al agua con temperatura ambiente no se disuelven en su totalidad. Existen dos vías para disolver el almidón, por medio de altas temperaturas o de manera química, alterando su pH. Al momento de calentar el agua que contiene gránulos de almidón se produce un fenómeno irreversible de gelatinización en donde se pierde la estructura cristalina. La temperatura de gelatinización del almidón de yuca está entre los 58 y 65°C. Por otro lado, el mismo proceso también puede ocurrir a pH elevado, sin necesidad de calentar el agua (Brumovsky, 2014).

El almidón en suspensión acuosa tiene la capacidad de alcanzar una estructura de gel que permite actuar como un coadyuvante de coagulación natural para el tratamiento de las aguas porque aumenta el tamaño de los flóculos y la rapidez de sedimentación de los lodos. El gel podría reemplazar los polielectrolitos comerciales y sintéticos de alto costo, además de ser amigable con el medio ambiente (Leiva, Jorge, Caceres, Paez, & Gomez, 1997).

#### **1.2.4.1. Ventajas del uso de floculantes naturales**

Las ventajas de mayor importancia son que además de mejorar la calidad del agua en sus características fisicoquímicas, permite la reducción de los coagulantes inorgánicos que son contaminantes en el medio ambiente. Como coadyuvante de coagulación disminuye la carga orgánica removiendo los microorganismos no deseados, existe mayor eficiencia en desinfección ya que reduce la cantidad de sólidos suspendidos.

Los floculantes orgánicos se biodegradan rápidamente y no dañan los ecosistemas acuáticos, disminuyen las trazas de aluminio residual al mejorar la eficiencia del proceso de coagulación-floculación sin tener que agregar dosis extras de sulfato de aluminio o de algún otro coagulante metálico. En algunos casos disminuye el costo del tratamiento (Ojeda, 2012).



# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Primera parte: Extracción y caracterización del almidón de yuca

Se extrajo el almidón de raíces tuberosas de la yuca, a nivel de laboratorio con una cantidad pequeña de materia prima (de 100 a 500 gramos de yuca rallada). Se registraron los resultados de rendimiento para la optimización del método de extracción que se ejecutó por el método reportado por Ospina y Ceballos (2002).

Los pasos que se siguieron para extraer y caracterizar el almidón fueron los siguientes:

Preparación de la materia prima

1. Obtención: las raíces de yuca fueron obtenidas de cosechas recientes para evitar cualquier deterioro físico o microbiano.
2. Lavado y descortezado: se eliminaron las impurezas y tierra de la superficie de las raíces.
3. Cortado y rallado hasta desintegración: se liberó el almidón en los gránulos contenidos en las células de las raíces de la yuca, esta etapa determina el rendimiento total de almidón.

Separación de las fases

4. Extracción o colado: se separó la pulpa y el material fibroso del almidón. Pruebas a diferentes temperaturas: 40, 50, 60, 70, 80 y 95 grados centígrados.
5. Sedimentación o deshidratación: En esta etapa se realizaron dos procesos diferentes y se comparó la efectividad de cada uno. Se probó por sedimentación y por centrifugación la separación de los gránulos del almidón de la suspensión en agua.

Obtención del floculante

6. Secado: se removió la humedad del almidón hasta máximo dentro de un rango entre el 12 o 13%.

7. Acondicionamiento: molido y tamizado.

Caracterización del almidón obtenido

8. Espectroscopia infrarroja (IR): se determinaron los grupos funcionales del producto obtenido.

9. Análisis termogravimétricos (TGA-DSC): se reconoció la estabilidad del almidón con respecto al aumento de la temperatura una presión controlada.

### **2.1.1. Materia Prima**

Se obtuvo la materia prima para la extracción de almidón de los mercados de Guayaquil, específicamente del mercado Caraguay. Se seleccionaron tubérculos de yuca de una longitud entre 20 a 30 cm (ver Figura 2.1), sin rastros de descomposición para luego pasar por un proceso de limpieza que eliminó la tierra y otras impurezas. Se lavaron con abundante agua y se descortezaron para que quedara al descubierto la parte blanca de la raíz de donde se liberaron los gránulos de almidón por medio de un proceso de desintegración. Su costo está estimado entre 0.25 y 0.50 dólares la libra según se verificó en los mercados de Guayaquil.



**Figura 2.1.** Raíces de yuca

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

### 2.1.2. Materiales y reactivos

Para el proceso de extracción, uno de los reactivos que se utilizó como líquido extractor del componente de estudio fue el agua desmineralizada. Los parámetros de calidad del agua resultaron en 1.5 mg/L de sólidos disueltos y 6.5 de pH.

Los materiales involucrados en el proceso de extracción fueron facilitados por el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la facultad de ciencias naturales y matemáticas de la ESPOL. Los mismos se detallan a continuación:

Cuchillo: Permite la separación de la corteza de las raíces para dejar la pulpa al descubierto con gran facilidad.

Rayador metálico (ver Figura 2.2): Instrumento que se utiliza para rayar la pulpa yuca hasta la desintegración, liberando los gránulos de almidón y permitiendo mayor contacto con el líquido extractor, en este caso, agua.



**Figura 2.2.** Rayador metálico

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Colador: Utensilio compuesto por una malla de plástico con agujeros que se usa para separar el líquido extraído, mezcla de almidón con agua, del sólido, la fibra de la yuca.

Vasos de precipitación (ver Figura 2.3): Recipiente cilíndrico de vidrio borosilicato de diferentes capacidades: 50, 100, 250, 500 y 1000 mL.



**Figura 2.3.** Vaso de precipitación

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Espátulas: Herramienta compuesta de una lámina fina de metal que permite tomar de cualquier sustancia sólida una mínima cantidad.

Los equipos que ayudaron en el proceso de extracción y caracterización fueron los siguientes.-

Termómetro (ver Figura 2.4): Herramienta que sirve para medir la temperatura de los líquidos. Se compone de un tubo capilar de vidrio cerrado que termina en un depósito pequeño de mercurio que se dilata a medida que aumenta la temperatura. El rango de trabajo es de 0 a 150°C.



**Figura 2.4.** Termómetro

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Balanza (ver Figura 2.5): Instrumento para medir la masa de los objetos hasta 36 Kg, con una desviación de 0.5 g. Marca: Kern. Modelo: FKB 36 K.



**Figura 2.5.** Balanza

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Balanza analítica (ver Figura 2.6): Balanza de mayor precisión para medir la masa de los objetos hasta 210 g con una desviación de 0.0001 g. Marca: Ohaus Pioneer.



**Figura 2.6.** Balanza analítica

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Plancha de agitación y calentamiento (ver Figura 2.7): Aparato que se emplea para calentar recipientes de vidrio con líquidos y que por medio de un agitador magnético mantiene las soluciones homogéneas. Marca: ThermoScientific, Cimarec, Modelo: SP 131325. Temperatura máxima: 540°C.



**Figura 2.7.** Plancha de agitación y calentamiento

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Centrífuga (ver Figura 2.8): Máquina que permite la separación de las fases (sólido y líquido) de una muestra por medio de la fuerza centrífuga. Marca: Koehler Instrumet company, inc. Modelo: Benchmark 2000. Rango de revoluciones: 0 a 1800 rpm.



**Figura 2.8.** Centrífuga

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Mufla (ver Figura 2.9): Horno de laboratorio que puede alcanzar altas temperaturas. Marca: Ecocell. Modelo: LSIS – B2V/EC22. Temperatura límite: 280°C.



**Figura 2.9.** Mufla

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Espectrómetro infrarrojo (ver Figura 2.10): Sistema de espectrofotometría infrarroja para necesidades analíticas de rutina. Marca: ThermoScientific. Modelo: Nicolet iS10.



**Figura 2.10.** Espectrofotómetro IR

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Termogravímetro (ver Figura 2.11): Equipo que mide la variación de la masa de un compuesto a medida que se eleva la temperatura a una atmosfera controlada. Marca: TA. Modelo: SDT Q500.



**Figura 2.11.** Termogravímetro

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Balanza analítica (ver Figura 2.12): Comparador de masa hasta 10 gramos Marca: Mettler Toledo, modelo: XP10003S para uso en los análisis termogravimétricos.



**Figura 2.12.** Balanza analítica Mettler Toledo para TGA

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

### 2.1.3. Diagrama de flujo del proceso

Los pasos para extraer los gránulos de almidón de la yuca dulce cultivada en Ecuador fueron los detallados en el diagrama de flujo de la Figura 2.13. La variable de estudio es la temperatura a la cual se realizó cada extracción para de esta manera calcular el rendimiento del almidón extraído en cada prueba.



**Figura 2.13.** Diagrama de flujo del proceso

*Elaborado por autor*

### 2.1.4. Extracción a diferentes temperaturas

#### 2.1.4.1. Prueba a 40°C

Para empezar la extracción, se pesaron 500 gramos de yuca rayada, mientras que en un recipiente se calentaba agua a 40°C. La cantidad de agua utilizada fue seis veces mayor que la masa de yuca rayada de la cual se extraerá el almidón. Por medio de un termómetro se esperó a que la temperatura se estabilice, se agregó el



almidón y se mantuvo en agitación suave continuamente por 3 horas (ver Figura 2.14).

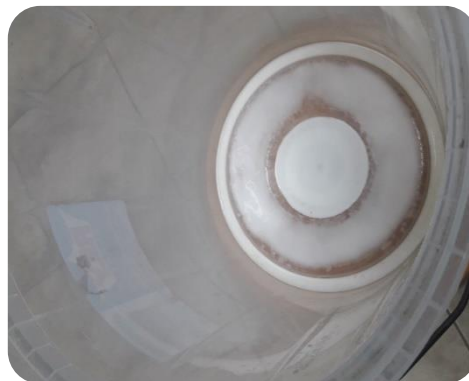


**Figura 2.14.** Extracción de almidón de yuca a 40°C

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Terminado este proceso, la fibra de la yuca se retiró de la lechada por medio de un colador y se lavó con 1000 mL de agua adicionales. Luego fue necesario comprimir dicha parte sólida hasta extraerle toda la humedad posible y así que no se vea afectado el rendimiento del proceso.

El líquido obtenido se dejará en reposo de uno a tres días en un envase plástico o de vidrio para que el almidón se sedimente y se pueda separar del agua con el que se extrajo. Al cabo de los días, se observó que el almidón se sedimentó al fondo del recipiente y eso facilitó la separación del líquido con el sólido húmedo (ver Figura 2.15).



**Figura 2.15.** Almidón sedimentado luego de decantar el agua

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Se probaron 3 métodos de separación los cuales fueron: decantación, filtración al vacío y centrifugación (ver Figura 2.16).



**Figura 2.16.** Centrifugación a 1000 rpm

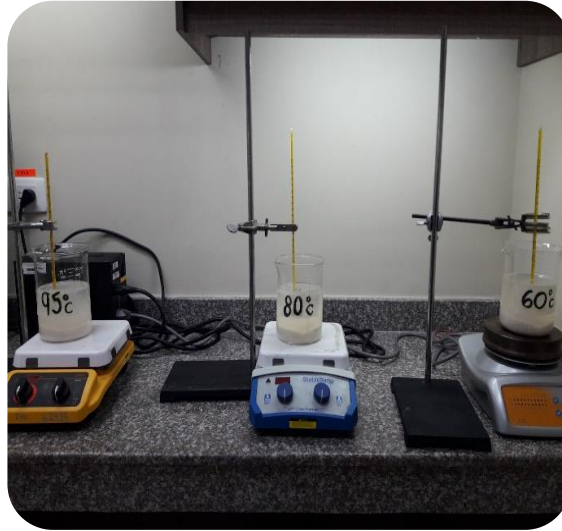
*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Todo el almidón húmedo separado se lo llevo a discos Petri para luego meterlos en la mufla a 40 °C por 24 horas. Cada disco con almidón se lo peso antes y después del proceso de secado.

#### **2.1.4.2. Prueba a 60°C, 80°C y 95°C**

Se pesaron 100 gramos de yuca rayada para cada extracción en vasos de precipitación de vidrio y se agregaron 600 mL de agua a diferentes temperaturas, 60°C, 80°C y 95°C en cada envase respectivamente (ver Figura 2.17). La extracción se realizó durante un periodo de tres horas con agitación lenta y continua al igual que en la primera prueba a 40°C.

Luego de las tres horas, las mezclas heterogéneas se dejaron enfriar para luego proceder a la separación de la fibra con la lechada. En las extracciones de mayor temperatura (80 y 95°C) se evaporó el agua. Por medio de un colador se retiró la fibra de la mezcla líquida, se lavó con 100 mL de agua y posteriormente se exprimó para aprovechar todo el almidón posible que deberá sedimentarse.



**Figura 2.17.** Extracciones a diferentes temperaturas

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

La extracción a 60°C, fue la única mezcla que se llevó a decantar y luego a centrifugar. Antes de meter el almidón húmedo en la estufa, se pesó y se llevó a discos Petri. El secado sucedió a 40°C durante 24 horas.

#### **2.1.4.3. Prueba a 50 °C**

Siguiendo exactamente los pasos de los procesos anteriores, se probó la extracción a 50°C. Se pesaron 100 gramos de yuca rayada, y se realizó la extracción con 600 mL de agua. Al cabo de tres horas se llevó la mezcla a un colador y se lavó con 100 mL de agua. Se sedimentó por tres días y luego se decantó, el líquido separado se llevó a centrifugar. Todo el almidón recogido se llevó a la estufa a 50°C, esta vez por menos tiempo, 16 horas. Se pesaron las muestras finales cuando estuvieron totalmente secas y frías.

## **2.2. Parte 2: Estudio de la influencia del floculante extraído en tratamiento de aguas**

### **2.2.1. Muestras de agua contaminada a tratar**

Para verificar la eficacia del almidón como floculante natural se escogieron tres puntos de muestreo de agua de diferentes características, todas tomadas desde la

superficie. El agua fue recogida de estos puntos debido a su fácil acceso y cercanía en los siguientes puntos:

- ❖ Río Guayas
- ❖ Lago de la ESPOL
- ❖ Estero Salado

El agua recogida en el estero Salado tiene altos niveles de salinidad, es por eso que sólo servirá para verificar que el floculante natural a partir del almidón de yuca sirve para la clarificación, más no para disminuir la salinidad de la misma.

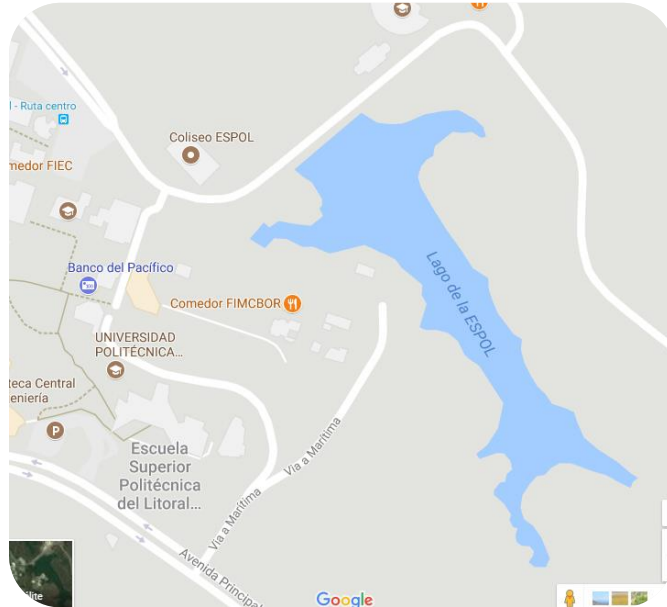
Los envases utilizados fueron previamente lavados y desinfectados, de igual manera al recoger las muestras se realizaron varios lavados con la misma agua. Inmediatamente se realizaron los análisis fisicoquímicos de los parámetros iniciales para luego guardar los envases llenos dentro de un refrigerador donde se mantuvieron a una temperatura de 15°C hasta poder ser utilizadas en la prueba de jarras. El volumen acumulado para todas las muestras fue de 40 Litros.

Los análisis que se realizaron en el agua cruda fueron la medición de pH, turbidez, alcalinidad, sólidos disueltos y conductividad. Luego de las pruebas de jarras se midieron los parámetros finales para poder comparar cual es el mejor tratamiento fisicoquímico para cada tipo de agua.

Las recolecciones de las muestras se realizaron en el mes de julio en donde no se registraron precipitaciones según la estación meteorológica de la armada (INOCAR , 2017).

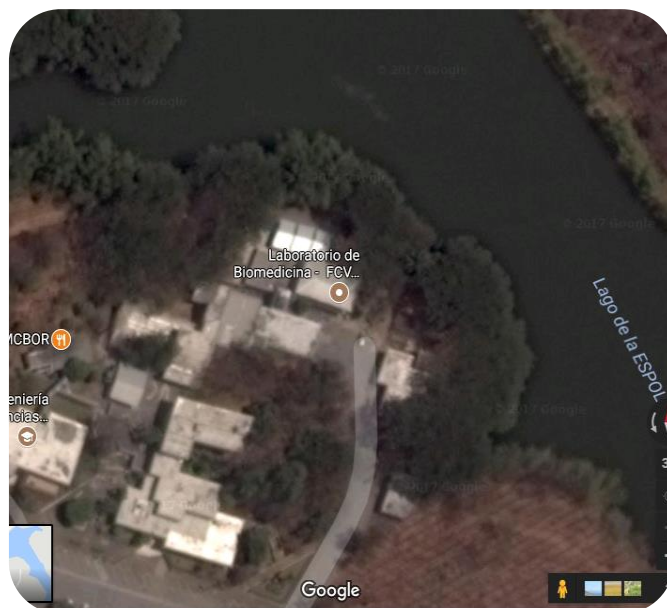
#### **2.2.1.1. Lago artificial de la ESPOL**

El punto de muestreo se ubica en las coordenadas siguientes: 2°08'45.7"S 79°57'44.2"W -2.146028, -79.962284 (ver Figuras 2.18 y 2.19).



**Figura 2.18.** Ubicación del punto de muestreo del Lago ESPOL en el Mapa

*Fuente: Google Maps, 2017*



**Figura 2.19.** Vista tipo satélite de Lago ESPOL

*Fuente: Google Maps, 2017*

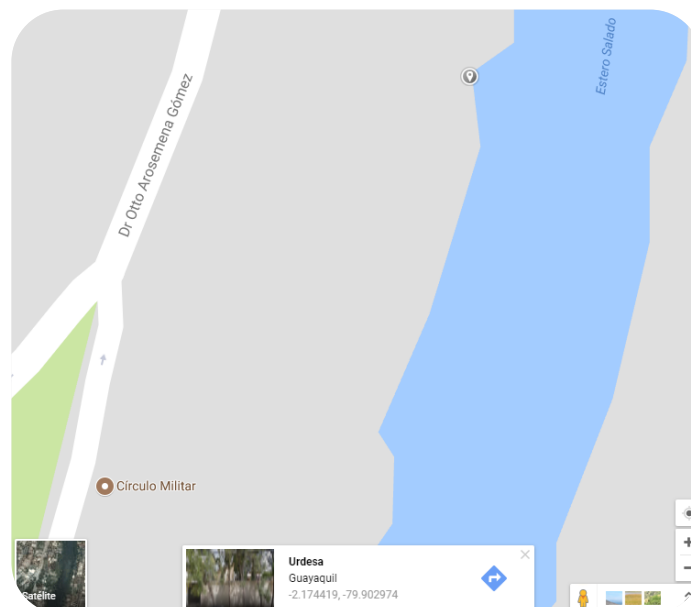
Los parámetros iniciales del agua cruda que se registraron son los siguientes (ver Tabla 4):

**Tabla 4** Características iniciales del agua cruda del Lago ESPOL

<b>Análisis</b>	<b>Resultados</b>
Turbidez inicial (NTU)	6.69
Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> mg/L)	30
SDT (mg/L)	310
Conductividad (μS/cm)	410
pH	8.22

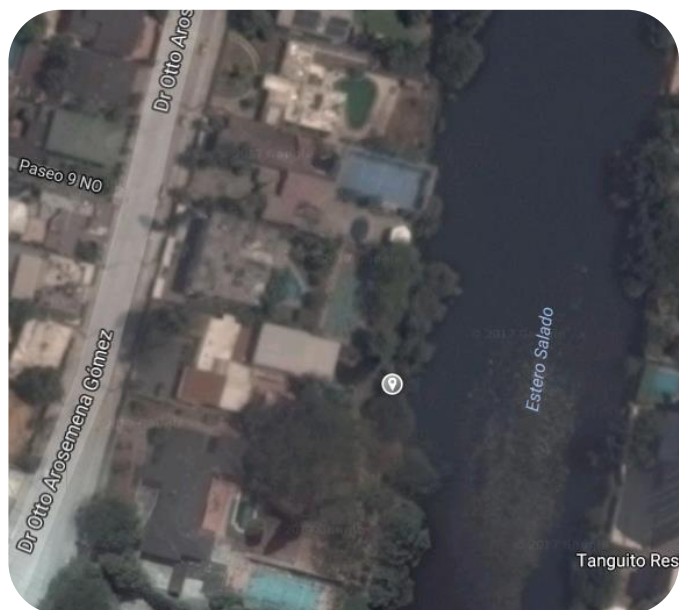
### 2.2.1.2. Estero Salado

El punto de muestreo se ubica en las coordenadas siguientes: 2°10'27.9"S 79°54'10.7"W -2.174419, -79.902968 (ver Figuras 2.20 y 2.21).



**Figura 2.20.** Ubicación del punto de muestreo del estero Salado en el Mapa

*Fuente: Google Maps, 2017*



**Figura 2.21.** Vista tipo satélite del estero Salado

*Fuente: Google Maps, 2017*

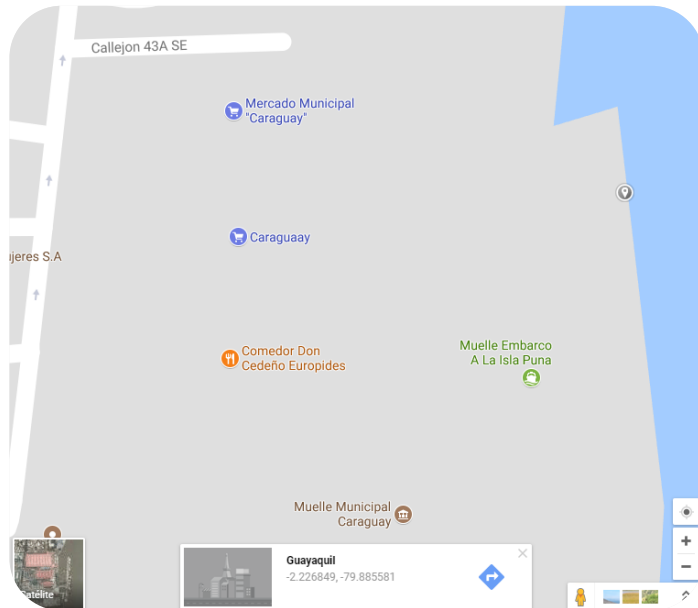
Los parámetros iniciales del agua cruda que se registraron son los siguientes (ver Tabla 5):

**Tabla 5** Características iniciales del agua cruda del estero Salado

<b>Análisis</b>	<b>Resultados</b>
Turbidez inicial (NTU)	5.76
Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> mg/L)	35
SDT (mg/L)	7360
Conductividad (μS/cm)	14710
pH	8.09

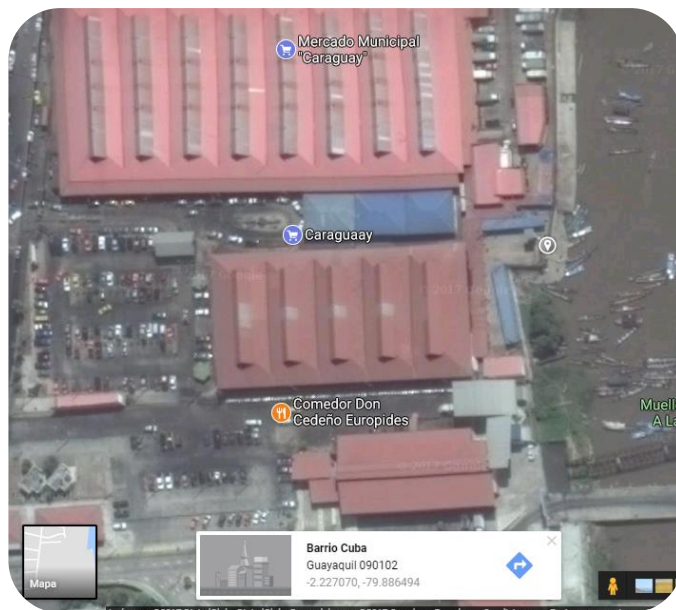
### 2.2.1.3. Río Guayas

El punto de muestreo se ubica en las coordenadas siguientes: 2°13'36.7"S 79°53'08.1"W -2.226849, -79.885581 (ver Figura 2.22 y 2.23).



**Figura 2.22.** Ubicación del punto de muestreo del río Guayas en el Mapa

*Fuente: Google Maps, 2017*



**Figura 2.23.** Vista tipo satélite del río Guayas

*Fuente: Google Maps, 2017*

Los parámetros iniciales del agua cruda que se registraron son los siguientes (ver Tabla 6):



**Tabla 6** Características iniciales del agua cruda del río Guayas

Análisis	Resultados
Turbidez inicial (NTU)	106.7
Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> mg/L)	15
SDT (mg/L)	1810
Conductividad (μS/cm)	3620
pH	7.78

### 2.2.2. Materiales y reactivos

Los equipos utilizados en esta sección fueron los prestados por los laboratorios de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas y se describen a continuación. -

Multiparámetro: pH, Sólidos disueltos y conductividad, equipo marca: Hannah. Mide el potencial de hidrógeno, los sólidos disueltos en partes por millón (ppm) y la conductividad en μS/cm.

Turbidímetro (ver Figura 2.24): Instrumento que mide la turbidez del agua marca: HACH, Modelo 2100Q. Rango de 0-1000 con exactitud de 0.01 NTU. Volumen de la muestra hasta 15 mL.



**Figura 2.24.** Turbidímetro

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

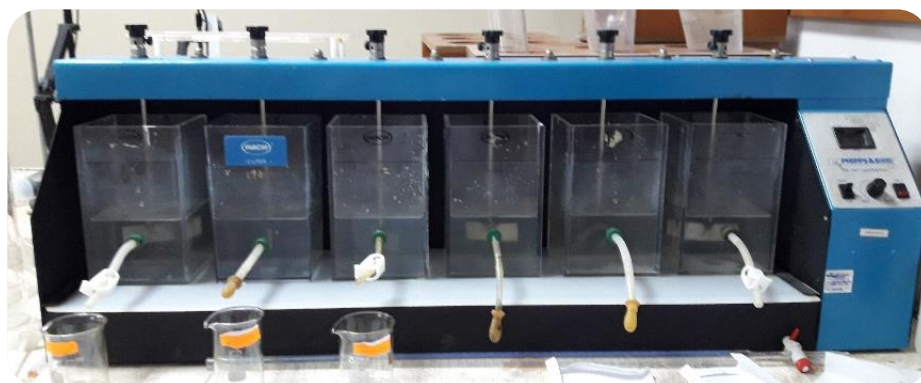
Balanza analítica: Balanza de mayor precisión para medir la masa de las sustancias hasta 210 g con una desviación de 0.0001 g. Marca: Sartorius.



**Figura 2. 25.** Balanza Analítica

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Prueba de Jarras: Utilizadas en plantas de tratamiento para simular las dosis de coagulantes y floculantes correctas para tratar el agua. Marca: Phipps & Bird, Modelo: PB-700JARTESTER. Espacio para 6 Beakers de 2 L cada uno.



**Figura 2.26.** Prueba de jarras Phipps & Bird

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Los reactivos que se utilizaron en las pruebas de jarras fueron los siguientes:

Sulfato de aluminio: Como coagulante inorgánico granulado del tipo A de fórmula química  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$ , cuya principal función es el tratamiento de las aguas para consumo humano y residual removiendo turbiedad y color. Apto para clarificar aguas de hasta 1000 NTU.

Almidón de yuca: Extraído de las raíces de la yuca utilizando como solvente agua desmineralizada según el proceso descrito en el capítulo 3. Polvo fino de color blanco que se gelatiniza a altas temperaturas o en medio alcalino.

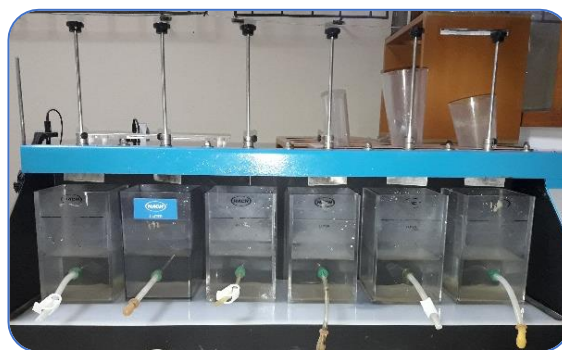
Hidróxido de sodio 2.5%: Preparado en el laboratorio de Química Orgánica de la ESPOL con 25 gramos de hidróxido de sodio en perla disueltos en 1000 mL de agua destilada.

Kit de análisis de Alcalinidad total: Productos NOWSERVICE S.A. para análisis semicuantitativo de la alcalinidad total en muestras de agua. 3 reactivos: 2 indicadores y 1 solución tituladora de ácido sulfúrico al 0.02 N.

### 2.2.3. Pruebas de jarras

#### 2.2.3.1. Procedimiento

Se tomó como referencia el procedimiento planteado por Solís, Laines y Hernández (2012) que consistía en realizar una mezcla rápida de 15 a 30 segundos a 220 rpm momento en el que se agregó el coagulante inorgánico para desestabilizar las partículas y neutralizarlas, luego una mezcla lenta a 20 rpm con duración de 30 a 60 minutos en la cual se dejó sedimentar los flóculos formados. El floculante orgánico fue siempre añadido al momento del cambio a la mezcla lenta ya que de esta manera los flóculos se van uniendo para aumentar su volumen y lograr la sedimentación. Para cada vaso de precipitación con capacidad de 2 Litros se utilizó 1 litro de muestra.



**Figura 2.27.** Prueba de Jarras con muestras del Lago ESPOL

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

En primer lugar, se realizaron las pruebas de jarras sólo con sulfato de aluminio en los tres tipos de agua recogida. Así se determinó la cantidad óptima de sulfato de aluminio que se utilizó para clarificar el agua. Posteriormente, se realizarán mezclas

entre el almidón extraído y el sulfato de aluminio. Según las proporciones descritas en la Tabla 7:

**Tabla 7** Concentraciones de coagulante-floculante para pruebas de jarras

<b>Sulfato de aluminio</b>	<b>Almidón de yuca</b>
<b>100 %</b>	0 %
<b>80 %</b>	20 %
<b>60 %</b>	40 %
<b>40 %</b>	60 %
<b>20 %</b>	80 %
<b>0 %</b>	100 %

Se estudió el comportamiento de cada muestra de agua mediante el proceso de clarificación y se analizaron los parámetros necesarios que determinaron el mejor resultado.

#### **2.2.4. Análisis antes y después de la coagulación-floculación**

Para determinar cuál es la mezcla óptima se realizaron análisis fisicoquímicos del agua antes y después del proceso de coagulación-floculación, tales como:

- ❖ Análisis de alcalinidad: contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. De esto dependerá la eficiencia del proceso de coagulación.
- ❖ Determinación de pH: para cada tipo de muestra existirá un pH óptimo de coagulación en donde se utilizará la cantidad mínima de coagulante.
- ❖ Determinación de turbidez: establece el grado de tratamiento que requiere cada tipo de muestra.
- ❖ Determinación de conductividad y concentración de sólidos disueltos: capacidad de las sustancias para conducir carga eléctrica y medición de las sales disueltas que conducen dicha corriente.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Extracción de almidón

#### 3.1.1. Cantidad de almidón extraído en cada prueba

De cada extracción se determinó el rendimiento de producto final comparando el peso de la materia prima inicial contra el peso del producto, almidón. En las extracciones de mayor temperatura donde el almidón se gelatinizó, se procedió a secarlo de la misma manera que las demás pruebas, sin embargo, el sólido al retornar a la temperatura ambiente (25 °C) se volvió rígido y no se disolvía fácilmente en el agua (ver Figura 3.1).



**Figura 3.1.** Almidón extraído a 60-70°C luego de secarse

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Las extracciones realizadas a 80°C y 90°C no se secaron en su totalidad es por eso que no se pudo calcular el rendimiento de dichas pruebas. Se mantuvieron en el congelador, sin embargo, fueron propensos al desarrollo de microorganismos como hongos y bacterias debido a su composición orgánica (ver Figura 3.2).



**Figura 3.2.** Almidón gelatinizado a 80-95°C húmedo luego del proceso de secado

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

**Tabla 8** Resultados de rendimiento de las extracciones

Temperatura de extracción (°C)	Cantidad yuca rallada (g)	Cantidad almidón extraído (g)	Rendimiento (%)
40	500	47.57	9.51
50	100	16.68	16.68
60	100	11.21	11.21
80	100	Gelatinizó	-
95	100	Gelatinizó	-



**Figura 3.3.** De izquierda a derecha, almidón extraído a 40°C y 50°C

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Según los resultados de la Tabla 8 se puede determinar que la temperatura de extracción que dio el mayor rendimiento es a los 50°C, antes de que la mezcla se convierta en gel, con un porcentaje de 16.68%. Sin embargo, el almidón sólido que tenía mejor apariencia era el que se extrajo a 40°C (ver Figura 3.3).

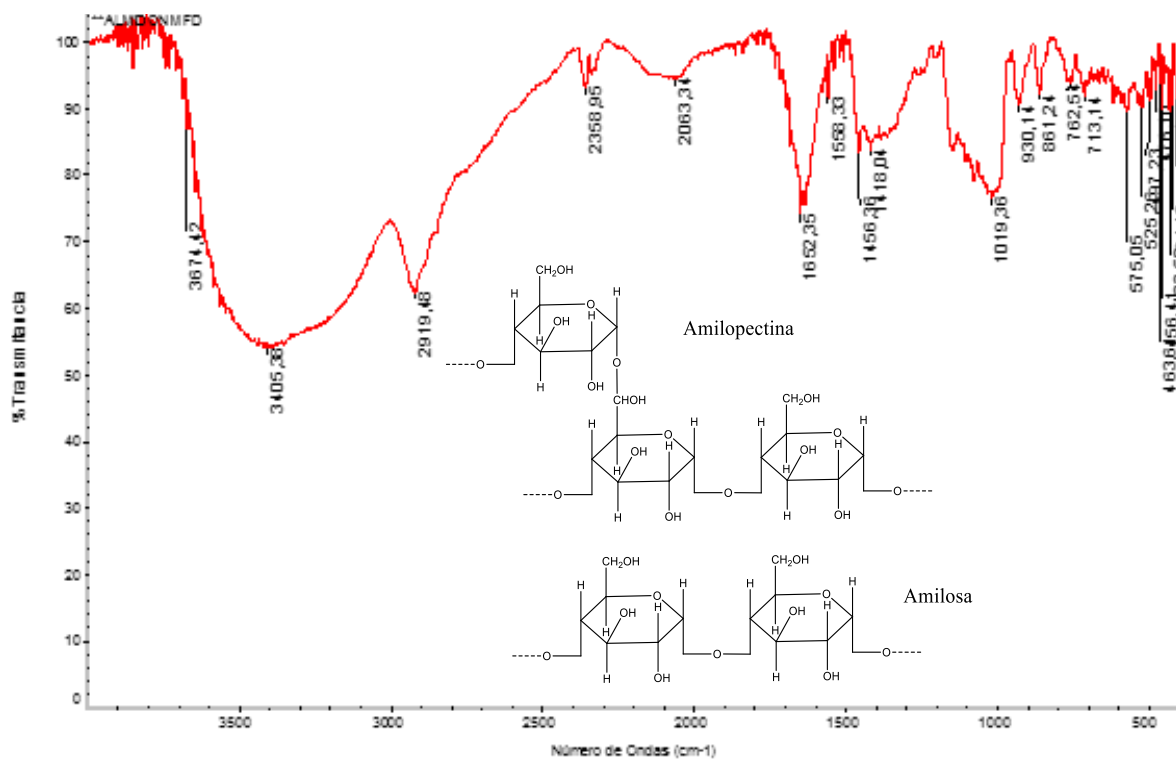
Se repitió una última extracción a 40°C con 1366.67 gramos de yuca rallada y 4200 mL de agua desmineralizada de la cual se obtuvo 133.74 gramos de almidón seco. El porcentaje de rendimiento fue de 9.78% cercano a la primera prueba realizada a 40°C que registró 9.51 %.

### **3.1.2. Caracterización del almidón**

#### **3.1.2.1. Análisis del espectro Infrarrojo con transformada de Fourier (IR-TF)**

El espectro infrarrojo del almidón extraído de la yuca (ver Figura 3.4), muestra una serie de bandas características de los componentes principales del almidón (amilosa y amilopectina), dentro de las cuales se destacan: en 3405  $\text{cm}^{-1}$  una banda ancha de intensidad media correspondiente a las vibraciones de tensión  $\nu(\text{O-H})$  correspondiente a la suma del grupo oxidrilo intermolecular y del agua intersticial, en 2919  $\text{cm}^{-1}$  se aprecia una banda aguda de baja intensidad que corresponde a la vibración de tensión asimétrica  $\nu_a(\text{C-H})$  del grupo metilenos sobre del anillo, en 1558  $\text{cm}^{-1}$  la vibración de torsión del grupo oxidrilo  $\delta(\text{O-H})$  y finalmente en 1019  $\text{cm}^{-1}$  se observa una banda de intensidad baja que corresponde a la vibración de tensión asimétrica del grupo éter  $\nu_a(\text{C-O-C})$  del anillo.

Las bandas coinciden con las reportadas por Fang J. M. et al (2002) por lo que podemos concluir que se logró extraer satisfactoriamente el almidón de la yuca.



**Figura 3.4.** Espectro Infrarrojo del almidón extraído de la yuca.

*Fuente: Laboratorio de Orgánica, 2017*

### 3.1.2.2. Análisis termogravimétrico

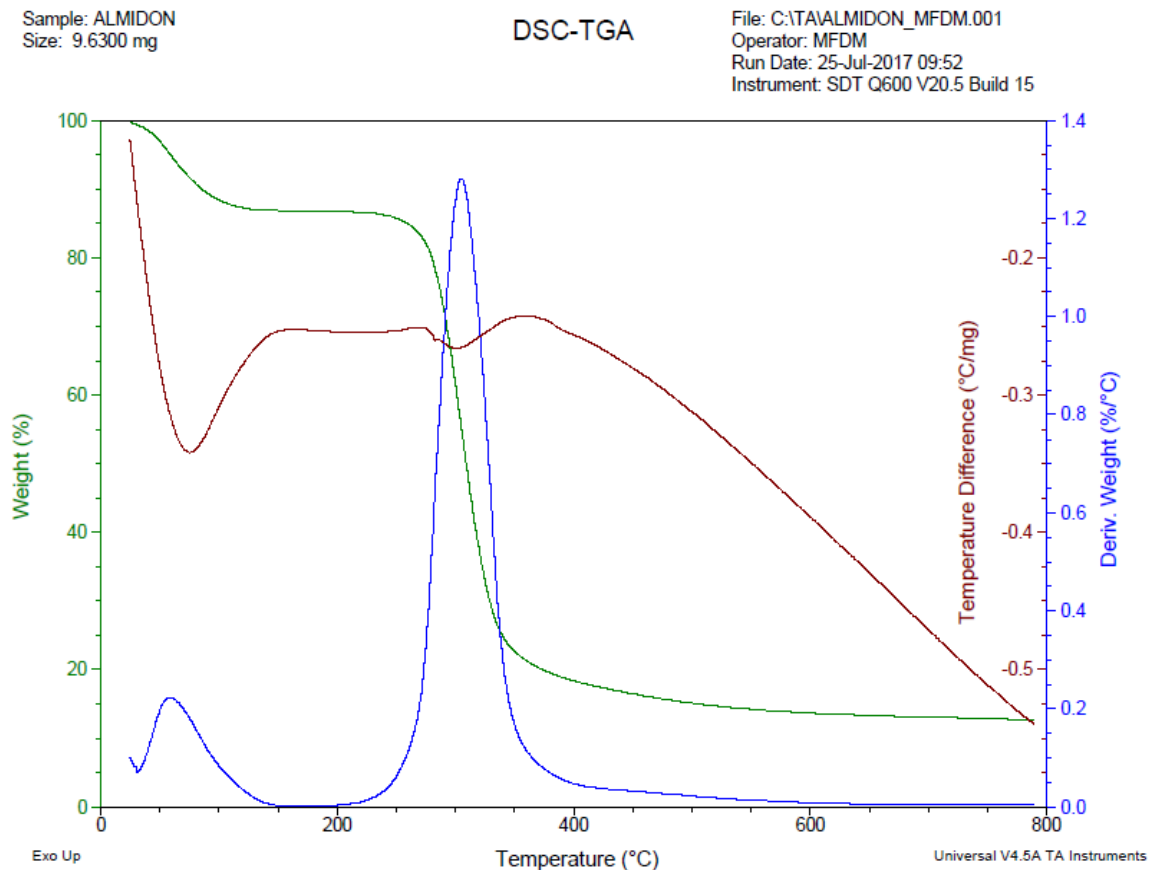
El espectro DSC-TGA del almidón de yuca (ver Figura 3.5) permite estudiar la estabilidad térmica de la muestra, observando las pérdidas de peso con respecto al calentamiento progresivo, desde temperatura ambiente (24.76°C) hasta 788.76 °C.

En el espectro se puede apreciar que el polímero experimenta dos cambios característicos, el primero se debe a un cambio de fase, el cual ocurre a 75.0743°C y corresponde a la temperatura de transición vítrea, es decir, la temperatura en que cambia de su estado cristalino (frágil) a gelatinoso o gomoso y otro cambio en 305.165°C que indica el proceso de fusión de polímero.

Por otra parte en el DSC se puede apreciar una banda de baja intensidad en 305.156°C que muestra un hombro en 300.924°C, que sugiere que existen dos compuestos en la muestra, lo cual coincide con lo esperado en la extracción del almidón, ya que es conocido que se obtienen dos tipos de arreglos moleculares para el mismo (amilosa y amilopectina) uno conduce a un polímero lineal y la otro



a uno ramificado, según lo reportado por Lucas J.C. et al (2013), una banda superior a los 300 °C indica una mayor proporción de amilopectina. Finalmente se puede afirmar que el almidón en estado sólido es un polímero termoplástico ya que presenta un espectro característico a estas sustancias y no presenta descomposición como los polímeros termoestables.



**Figura 3.5.** Espectro TGA-DSC del almidón extraído de la yuca.

*Fuente: LEMAT, 2017*

## 3.2. Estudio del floculante en tratamiento de aguas

### 3.2.1. Pruebas de jarras

#### 3.2.1.1. Dosis óptima de sulfato de aluminio

Para poder probar con diferentes mezclas de sulfato de aluminio y almidón fue necesario primero encontrar la dosis óptima de sulfato de aluminio que se deseaba reducir. El coagulante inorgánico que se utilizó fue el sulfato de aluminio tipo A el

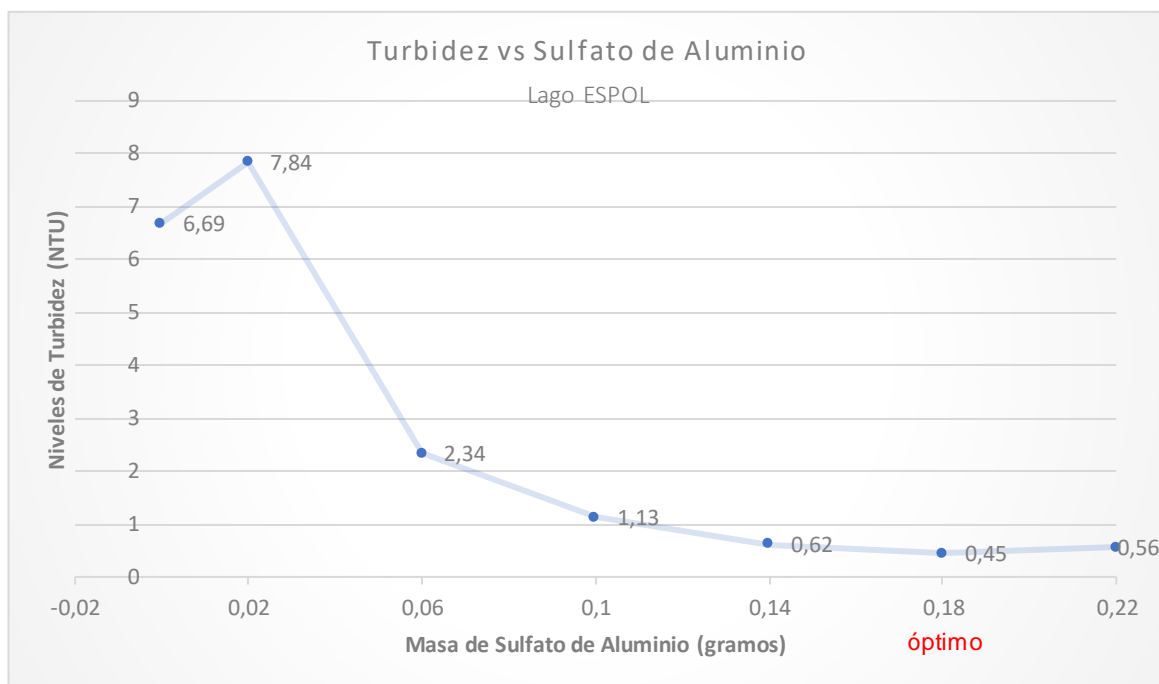
mismo que fue pesado en una balanza analítica y agregado en estado sólido. En el equipo de prueba de jarras se podía tratar seis muestras a la vez y se varió la concentración de sulfato desde 0.02 hasta 0.18 gramos con una diferencia constante de 0.04 gramos entre las pruebas para todos los tipos de agua.

Se determinó mediante análisis fisicoquímicos, tales como: turbidez, alcalinidad, sólidos disueltos, conductividad y pH, la dosis óptima de sulfato comparando los parámetros iniciales de la muestra cruda con la muestra tratada. Dependiendo del tipo de agua que se recogió se utilizará mayor o menor cantidad de coagulante.

Las siguientes tablas (ver Tablas 9, 10 y 11) muestran los resultados obtenidos luego de la clarificación de los tres diferentes tipos de agua sólo con coagulante inorgánico:

**Tabla 9** Prueba de jarras para dosis óptima, Lago ESPOL

Pruebas	Cruda	1	2	3	4	5	6
<b>Masa Sulfato de aluminio (g)</b>	0	0.02	0.06	0.10	0.14	0.18	0.22
<b>Turbidez (NTU)</b>	6.69	7.84	2.34	1.13	0.62	0.45	0.56
<b>Remoción de turbidez (%)</b>	-	-17.2	65.0	83.1	90.7	93.3	91.6
<b>pH</b>	8.22	8.12	7.82	7.60	7.32	7.02	6.77
<b>Alcalinidad total (ppm)</b>	30	25	15	15	20	10	10
<b>Sólidos disueltos totales (ppm)</b>	310	240	180	290	190	180	190
<b>Conductividad (µS/cm)</b>	410	470	350	580	380	360	370



**Figura 3. 6** Niveles de turbidez con respecto a la masa de sulfato de aluminio añadida – Lago ESPOL

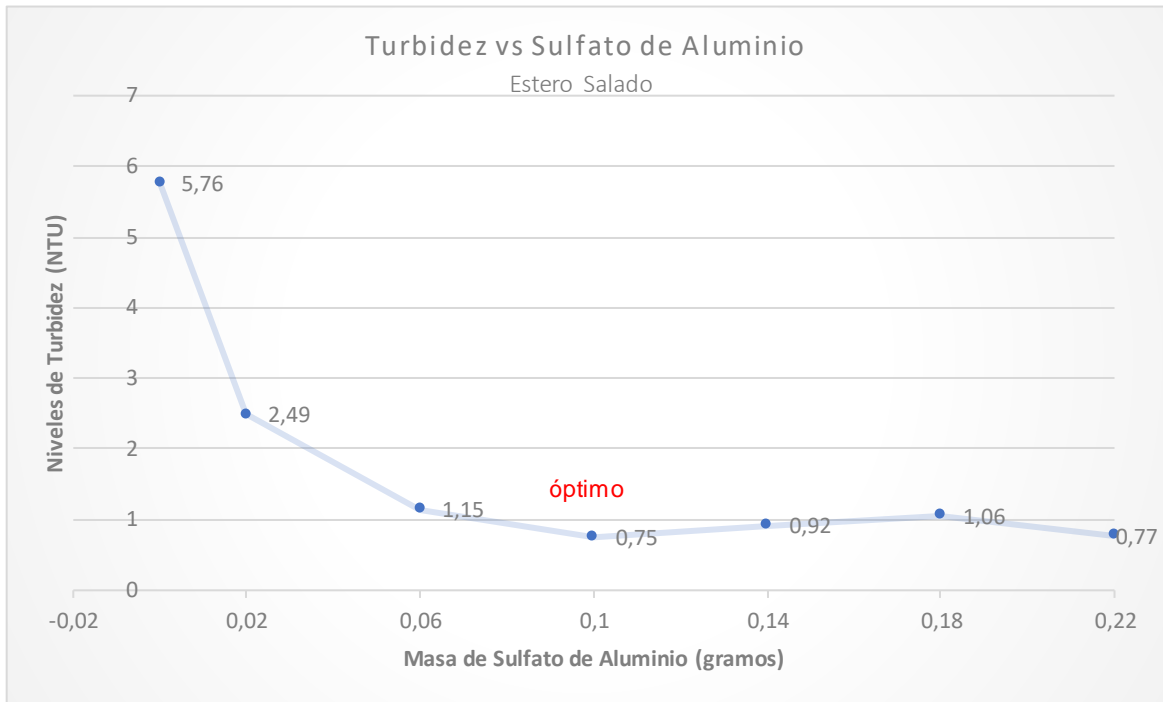
Fuente: Desiderio, M. (2017)

La Figura 3.6 es el gráfico que muestra los niveles de turbidez en relación a la cantidad de coagulante inorgánico agregado. La línea trazada muestra su punto más bajo de turbidez al agregar 0.18 gramos de sulfato de aluminio.

**Tabla 10.** Prueba de jarras para dosis óptima, Estero Salado

Pruebas	Cruda	1	2	3	4	5	6
<b>Masa Sulfato de aluminio (g)</b>	0	0.02	0.06	0.10	0.14	0.18	0.22
<b>Turbidez (NTU)</b>	5.76	2.49	1.15	0.75	0.92	1.06	0.77
<b>Remoción de turbidez (%)</b>	-	56.8	80.0	86.9	84.0	81.6	86.6
<b>pH</b>	8.09	8.30	8.20	8.06	7.15	7.00	6.85
<b>Alcalinidad total (ppm)</b>	35	30	30	25	20	25	15
<b>Sólidos disueltos totales (ppm)</b>	7360	7440	7400	7490	7450	7460	7480
<b>Conductividad (µS/cm)</b>	14710	14880	14730	14980	14900	14920	14990

En la Figura 3.7, la línea trazada muestra su punto más bajo de turbidez cuando se agrega 0.10 gramos de sulfato de aluminio.



**Figura 3.7** Curva de los niveles de turbidez con respecto a la masa de sulfato de aluminio añadida – Estero Salado

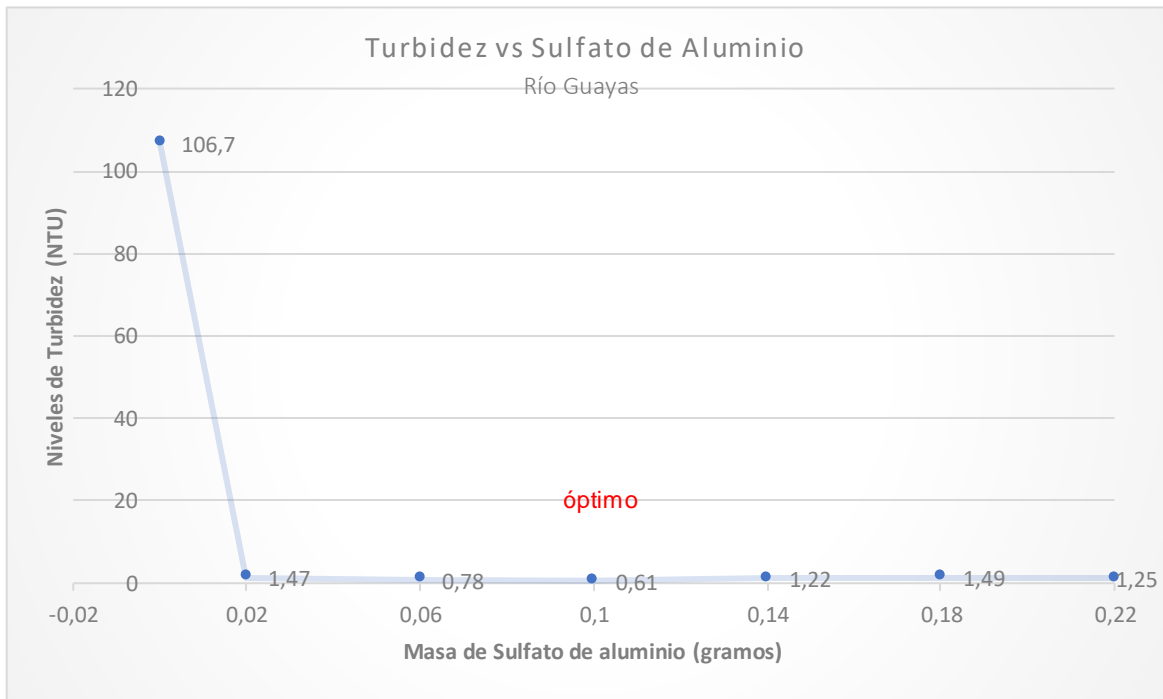
*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

A pesar de que el agua del estero Salado tiene altos niveles de salinidad se observa que el sulfato si remueve la mayor parte de las impurezas.

**Tabla 11** Prueba de jarras para dosis óptima, Río Guayas

Pruebas	Cruda	1	2	3	4	5	6
Masa Sulfato de aluminio (g)	0	0.02	0.06	0.10	0.14	0.18	0.22
Turbidez (NTU)	106.7	1.47	0.78	0.61	1.22	1.49	1.25
Remoción de turbidez (%)	-	98.6	99.3	99.4	98.8	98.6	98.8
pH	7.78	7.72	7.28	6.90	6.57	5.89	5.55
Alcalinidad total (ppm)	15	15	10	10	5	0	0
Sólidos disueltos totales (ppm)	1810	1780	1790	1800	1780	1800	1780
Conductividad (µS/cm)	3620	3570	3580	3590	3560	3610	3620

Para la muestra del río Guayas también se logró el más bajo nivel de turbidez cuando se agregó 0.10 gramos de sulfato de aluminio como lo muestra la Figura 3.8.



**Figura 3. 8** Curva de los niveles de turbidez con respecto a la masa de sulfato de aluminio añadida – Río Guayas

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

Se eligió como mejor tratamiento a aquel que con la menor cantidad de sulfato utilizado se disminuya la turbidez al mínimo valor posible cuidando que el pH esté entre 6.5 y 7.5. Los porcentajes de remoción deseados deben estar por encima del 85% para calificarlo como eficiente.

Se repiten dichas pruebas utilizando la dosis de sulfato de aluminio que dio los mejores resultados en cuanto a los niveles de turbidez (por debajo de 1 NTU) y se verificó que es la cantidad óptima para el agua cruda de los diferentes tipos de agua con los parámetros iniciales medidos (ver Tabla 12).

**Tabla 12.** Duplicados de Turbidez con dosis óptima de sulfato de aluminio

Muestras	Lago Espol			Estero Salado			Río Guayas			
	Prueba	5.0	5.1	5.2	3.1	3.2	3.3	3.1	3.2	3.3
Masa de Sulfato (g)	0.18	0.18	0.18	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Turbidez (NTU)	0.45	0.53	0.49	0.75	0.88	0.94	0.61	0.47	0.54	
Remoción de turbidez (%)	93.3	92.1	92,7	86.9	84.7	83.7	99.4	99.5	99.4	

El agua del lago de la ESPOL registró mejores resultados con el tratamiento No. 5 en el cual se utilizó 0.18 gramos de Sulfato de aluminio obteniendo así un porcentaje de remoción de turbidez del 93.3%, el pH quedo estable en 7.02. Para el agua del estero Salado y el agua del río Guayas se coincidió que el mejor tratamiento fue el No. 3 en el cual se utilizaba 0.10 gramos de sulfato de aluminio con porcentajes de remoción de turbidez del 86.9% y 99.4% respectivamente.

### 3.2.1.2. Mezclas Sulfato de aluminio y almidón de yuca en estado sólido

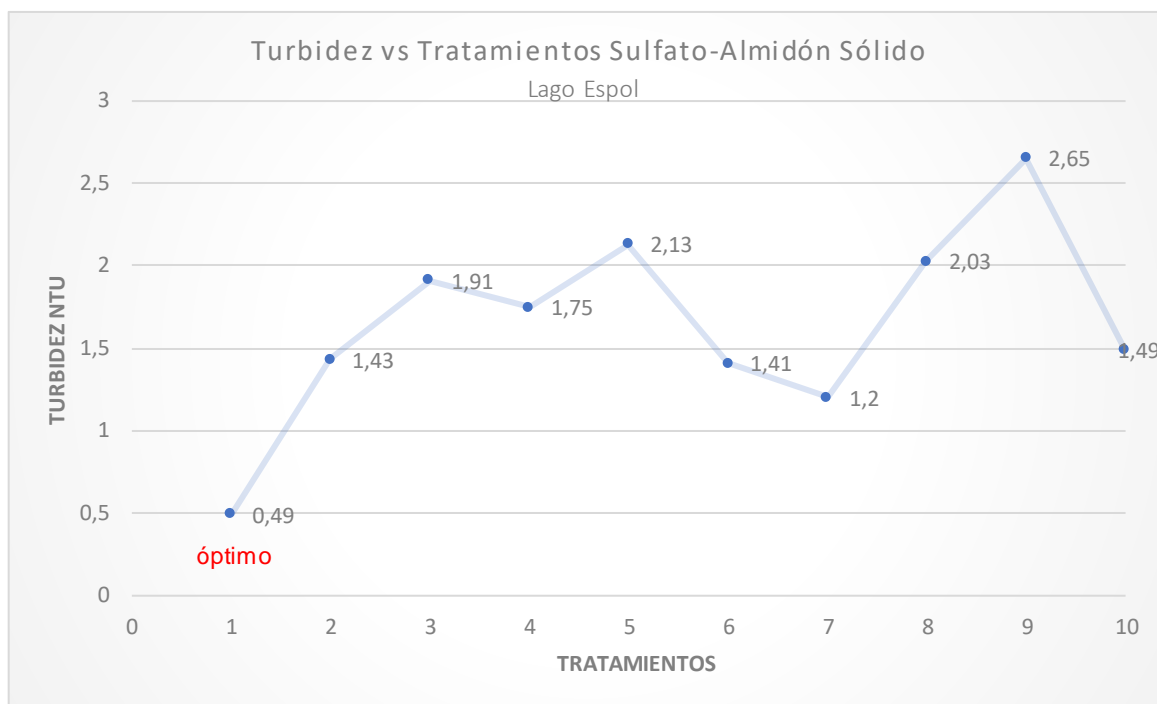
Dada las cantidades óptimas del coagulante, en este trabajo se procedió a realizar las mezclas con almidón de yuca para alcanzar uno de los objetivos principales, reducir el uso del sulfato de aluminio en el tratamiento de las aguas por medio del uso de un coadyuvante de coagulación natural.

En primer lugar, se probó el almidón de yuca como floculante en estado sólido para la muestra de agua del Lago ESPOL, las cantidades de dicha sustancia aumentaban cada 0.02 gramos a medida que disminuía en la misma proporción la

cantidad de sulfato de aluminio utilizado en la prueba de jarras de las dosis óptimas. Se midieron los mismos parámetros para comparar la muestra cruda con la tratada y los resultados fueron los siguientes (ver Tabla 13):

**Tabla 13** Prueba de jarras para mezclas de Sulfato de aluminio y almidón en estado sólido, Lago ESPOL

Pruebas	Óptima	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Masa Sulfato de aluminio (g)</b>	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02	0.00
<b>Masa Almidón de yuca (g)</b>	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18
<b>Turbidez (NTU)</b>	0.49	1.43	1.91	1.75	2.13	1.41	1.20	2.03	2.65	1.49
<b>pH</b>	6.50	6.45	6.60	6.73	6.80	6.93	7.02	7.20	7.42	7.58
<b>Alcalinidad total (ppm)</b>	15	15	15	20	25	20	20	20	20	25
<b>Sólidos disueltos totales (ppm)</b>	190	190	210	200	190	180	180	160	160	170
<b>Conductividad (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>	380	380	420	400	370	370	360	320	310	330



**Figura 3. 9** Turbidez con relación a la adición de sulfato de aluminio y almidón en polvo

*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

En la Figura 3.9 se puede observar que, al agregar el almidón extraído en estado sólido, en vez de clarificar el agua se está aportando con mayor nivel de turbidez. Debido a la temperatura ambiente, el almidón no se pudo disolver correctamente y este no servía de coadyuvante de coagulación en ese estado. Por los resultados obtenidos, no se realizaron las pruebas según este procedimiento en las otras dos muestras de agua: estero Salado y río Guayas.

Al ver que no había disminución en los niveles de turbidez del agua porque el almidón no se disolvía a esa temperatura, se decidió optar por modificar el almidón hasta obtener un gel que se adhiriera a los flóculos formados y se aumente el tamaño de los mismos.

El método por el cual se optó gelificar el almidón fue por aumento de pH adicionando hidróxido de sodio al 2.5% a una solución de almidón al 1%. No se usó el método térmico porque por retrogradación al enfriarse las moléculas se tornan rígidas y difíciles de mezclar con agua a temperatura ambiente. Adicionalmente, la



reproducción de microorganismos no deseados se evita ya que en medio alcalino no se proliferan y por ende el gel no se ve afectado a lo largo del tiempo.

### 3.2.1.3. Mezclas sulfato de aluminio y almidón de yuca en gel

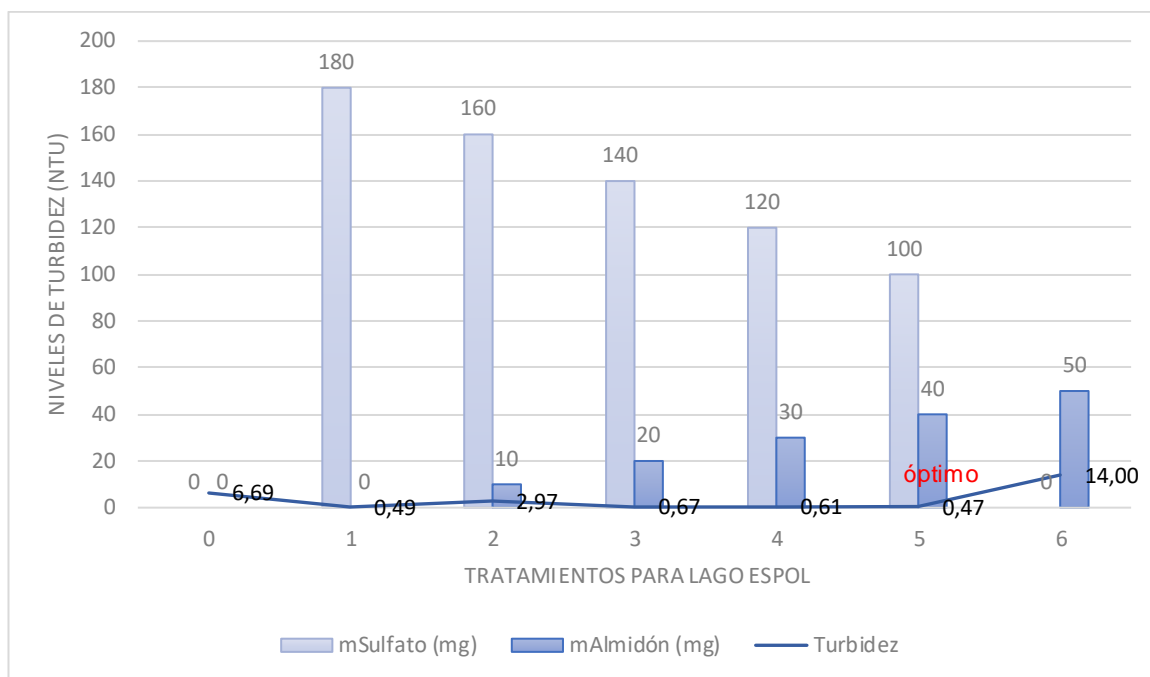
Para poder cumplir con las expectativas fue necesario gelatinizar el almidón y analizar su influencia en el tratamiento de aguas que permita disminuir el consumo de sulfato de aluminio. Este procedimiento si se realizó con los tres tipos de agua luego de que probándolo con la muestra de Lago ESPOL se alcanzaron efectos positivos.

Para el Lago de la ESPOL se obtuvieron los siguientes resultados (ver Tabla 14):

**Tabla 14** Prueba de jarras para mezclas de sulfato de aluminio y almidón en gel, Lago ESPOL

Pruebas	Cruda 0	Óptima 1	2	3	4	5	6
Masa Sulfato de aluminio (g)	0.00	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10	0.00
Masa de Almidón (g)	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
Volumen de Almidón - gel (ml)	0	0	1	2	3	4	5
Turbidez (NTU)	6.69	0.49	2.97	0.67	0.61	0.47	14.00
Remoción de turbidez (%)	-	92.7	55.6	89.9	90.9	92.9	-
pH	8.22	6.50	7.03	6.79	6.98	7.05	8.43
Alcalinidad total (ppm)	30	15	20	20	25	20	25
Sólidos disueltos totales (ppm)	310	190	180	180	170	180	260
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	410	380	370	350	350	350	530

En la Figura 3.10 se muestra la relación del almidón añadido, el sulfato que se reduce y el nivel de turbidez de la muestra de agua del Lago ESPOL.



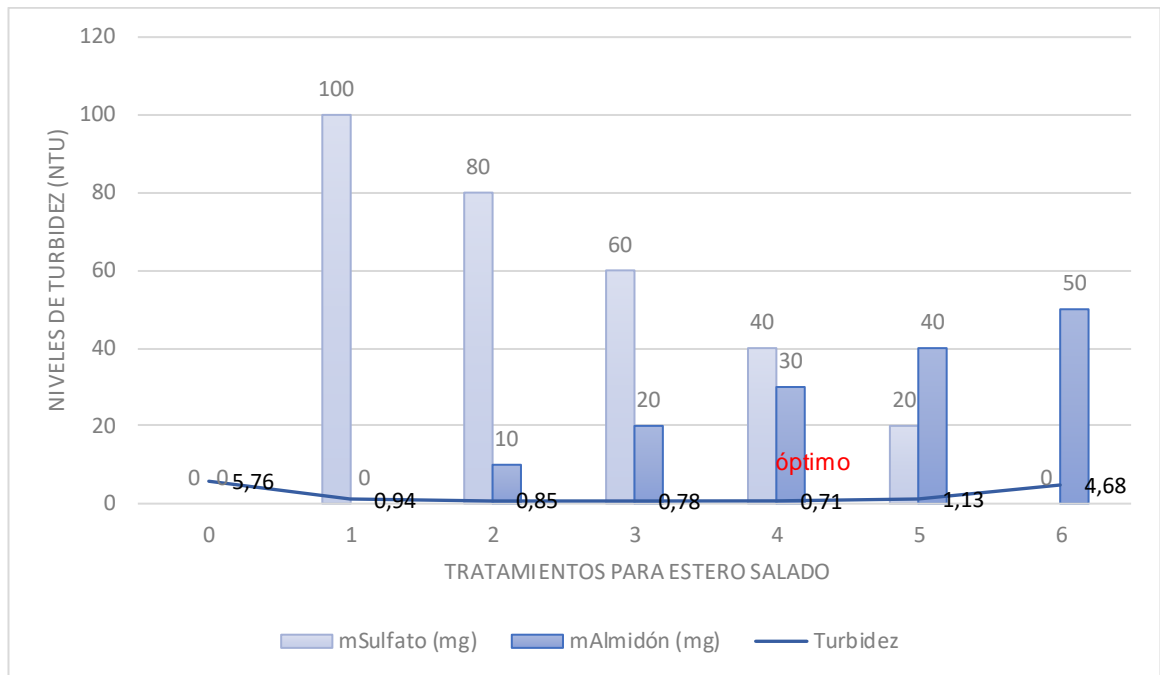
**Figura 3. 10** Turbidez con relación a la adición de sulfato de aluminio y almidón en gel – Lago ESPOL

Fuente: Desiderio, M. (2017)

Para el agua del Estero Salado se registraron los siguientes valores (ver Tabla 15):

**Tabla 15** Prueba de jarras para mezclas de sulfato de aluminio y almidón gel, estero Salado

Pruebas	Cruda 0	Óptima 1	2	3	4	5	6
Masa Sulfato de aluminio (g)	0.00	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02	0.00
Masa de Almidón (g)	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
Volumen de Almidón - gel (ml)	0	0	1	2	3	4	5
Turbidez (NTU)	5.76	0.94	0.85	0.78	0.71	1.13	4.68
Remoción de turbidez (%)	-	86.9	85.2	86.5	87.7	77.1	18.7
pH	8.09	7.29	7.51	7.58	7.73	8.00	8.38
Alcalinidad total (ppm)	35	30	25	30	25	25	30
Sólidos disueltos totales (ppm)	7360	7430	7470	7450	7380	7430	7430
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	14710	14890	14930	14900	14760	14860	14860



**Figura 3. 11** Turbidez con relación a la adición de sulfato de aluminio y almidón en gel – estero Salado

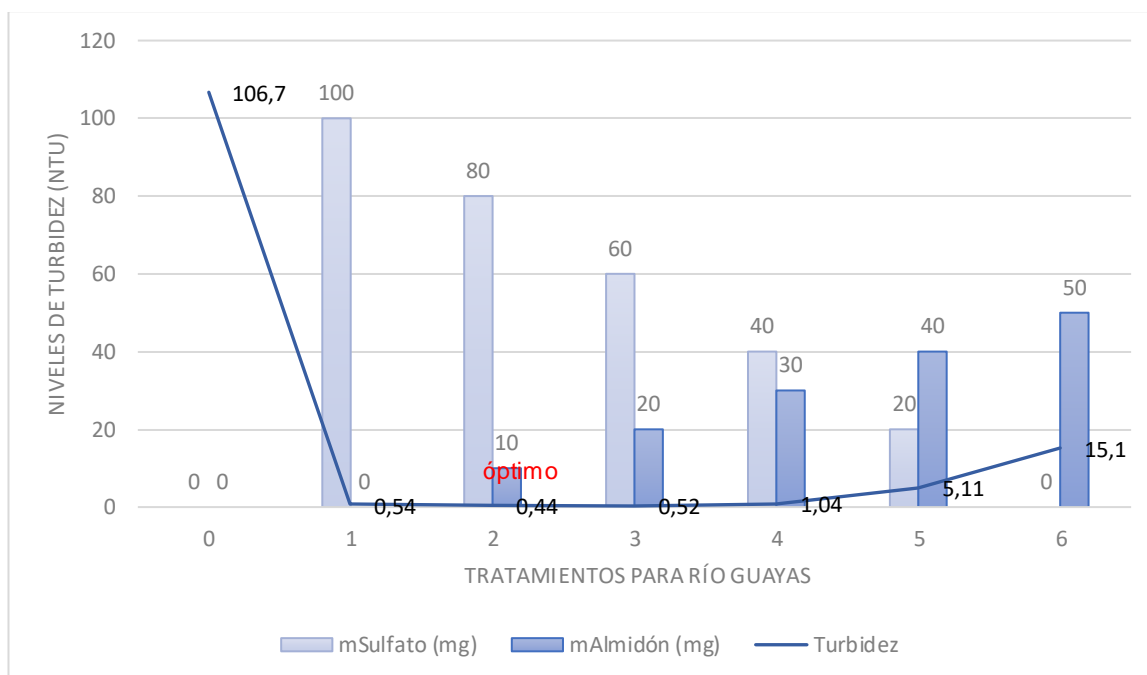
*Fuente: Desiderio, M. (2017)*

En la Figura 3.11 se muestra la relación del almidón añadido, el sulfato que se reduce y el nivel de turbidez de la muestra de agua del estero Salado.

Y para el río Guayas los valores descritos en la Tabla 16:

**Tabla 16** Prueba de jarras para mezclas de sulfato de aluminio y almidón gel, río Guayas

Pruebas	Cruda 0	Óptima 1	2	3	4	5	6
Masa Sulfato de aluminio (g)	0.00	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02	0.00
Masa de Almidón (g)	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
Volumen de Almidón - gel (ml)	0	0	1	2	3	4	5
Turbidez (NTU)	106.7	0.54	0.44	0.52	1.04	5.11	15.1
Remoción de turbidez (%)	-	99.4	99.6	99.5	99.0	95.2	85.8
pH	7.78	6.95	7.08	7.14	7.29	7.38	7.53
Alcalinidad total (ppm)	15	5	5	10	15	10	20
Sólidos disueltos totales (ppm)	1810	1740	1750	1750	1750	1740	1740
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	3620	3510	3500	3500	3490	3490	3490



**Figura 3. 12** Turbidez con relación a la adición de Sulfato de aluminio y almidón en gel – río Guayas

Fuente: Desiderio, M. (2017)

En la Figura 3.12 se muestra la relación del almidón añadido, el sulfato que se reduce y el nivel de turbidez de la muestra de agua del río Guayas.

De todos los tratamientos realizados se escogieron los que menor turbidez alcanzaron para hacer dos pruebas más con las mezclas de sulfato de aluminio y almidón consideradas como óptimas, las cuales se detallan en la Tabla 17:

**Tabla 17** Duplicados de turbidez con dosis óptima de sulfato de aluminio y almidón en gel

Muestras	Lago ESPOL			Estero Salado			Río Guayas		
	5	5.1	5.2	1	1.1	1.2	2	2.1	2.2
<b>Prueba</b>									
<b>Masa de Sulfato (g)</b>	0.10	0.10	0.10	0.04	0.04	0.04	0.08	0.08	0.08
<b>Masa de Almidón (g)</b>	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01
<b>Turbidez (NTU)</b>	0.47	0.67	0.77	0.71	0.64	0.74	0.44	0.82	0.62
<b>Remoción de turbidez (%)</b>	93.0	90.0	88.5	87.7	88.9	87.2	99.6	99.2	99.4

Los porcentajes de remoción de turbidez son mayores al 85% por lo que son considerados eficientes. Cabe recalcar que la reducción de la masa del sulfato de aluminio reemplazado por el almidón en gel dependerá siempre del nivel de turbidez inicial y del tipo de agua que se requiera tratar. Las pruebas de jarras son esenciales para determinar las cantidades óptimas de cada tratamiento.

Se reduce la cantidad de sulfato de aluminio en los siguientes porcentajes según la Tabla 18 para cada muestra de agua:

**Tabla 18** Masa de sulfato de aluminio que se reduce

Muestras	Masa Sulfato Antes (mg)	Masa Sulfato Después (mg)	Porcentaje de reducción (%)
<b>Lago Espol</b>	0.18	0.10	44.44
<b>Estero Salado</b>	0.10	0.04	60.00
<b>Río Guayas</b>	0.10	0.08	20.00

# CAPÍTULO 4

## 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Extracción del almidón de yuca

Al momento de separar el almidón sedimentado de la lechada se probaron tres métodos los cuales fueron: decantación, filtración al vacío y centrifugación. El primero es el más eficiente ya que se obtiene la mayor cantidad de producto, para la recuperación del almidón que seguía en suspensión dentro del agua que se separó por decantación se pasó por un proceso de centrifugación a 1000 rpm por 25 minutos. La filtración al vacío no dio buenos resultados porque los gránulos de almidón no se quedaban retenidos en el papel filtro.

El mayor rendimiento en cuanto a la masa de almidón extraída a partir de 100 gramos de yuca se obtuvo cuando el proceso se realizó a una temperatura de 50°C. Sin embargo, se consideró como extracción óptima la que se ejecutó a 40°C porque el aspecto del almidón seco mostraba un sólido blanco que fácilmente podía molerse y no tenía mal olor mientras que la extracción a 50°C el producto seco se volvió rígido, difícil de triturar hasta convertirlo en polvo y no se disolvía en agua a temperatura ambiente.

El compuesto orgánico extraído era efectivamente almidón según el análisis de espectroscopia infrarroja realizado donde se determinaron los dos componentes principales de la sustancia: amilosa y amilopectina, siendo la última la que se presenta en mayor proporción. En el TGA se confirmó que a partir de los 75.0743°C su estructura se vuelve gelatinosa, es por eso que, cuando se realizaron las extracciones a 80 y 95°C no fue posible determinar el porcentaje de rendimiento de almidón seco obtenido.

La sustancia al ser orgánica es más propensa al ataque microbiológico, una de las desventajas del almidón en polvo es que debe ser almacenado en lugares

completamente secos y ser utilizado inmediatamente antes de que se deteriore. En cambio, si la sustancia es gelatinizada en medio alcalino se evita el ataque de las bacterias que en pH elevado no pueden habitar y el tiempo de duración del producto almacenado será prolongado.

#### **4.2. Pruebas de jarras**

Los resultados obtenidos sobre el uso del almidón de yuca en tratamientos de agua resultan favorables para la reducción del consumo de sulfato de aluminio en pequeñas cantidades.

Primero, en las pruebas de dosis óptimas de sulfato de aluminio para el agua del Lago ESPOL de turbidez inicial de 6.69 NTU se lograron remociones de 93.3%, 92.1 % y 92.7% con 0.18 gramos de coagulante inorgánico. Para el agua del estero salado de turbidez inicial de 5.76 se lograron remociones de 86.9%, 84.7% y 83.7% con 0.10 gramos de sulfato mientras que para el agua del río Guayas con turbidez inicial de 106.7 en donde se utilizó la misma cantidad de coagulante se lograron remociones de turbidez del 99.4%, 99.5% y 99.4%.

Según estos resultados se procedió a realizar mezclas de sulfato de aluminio y almidón de yuca en sólido y luego en gel, siendo el primero un método ineficiente ya que en vez de disminuir la turbidez del agua la aumentaba. Para la muestra de agua del lago ESPOL se consiguieron remociones de turbidez del 93.0%, 90.0% y 88.5% al mezclar 0.10 gramos de sulfato de aluminio y 0.04 gramos de almidón en gel. Para la muestra del estero Salado, con la adición de 0.04 gramos de sulfato de aluminio y 0.03 gramos de almidón en gel, se lograron remociones del 87.7%, 88.9% y 87.2% y, por último, la muestra del río Guayas consiguió remociones del 99.6%, 99.2 % y 99.4% al agregar 0.01 gramos de almidón en gel a 0.08 gramos de sulfato.

Como podemos notar al comparar los porcentajes de remoción de turbidez de los tratamientos donde se utilizó solamente sulfato de aluminio y de los que se utilizaron las mezclas con el floculante orgánico no presentan mayor diferencia. Los

porcentajes de reducción de la masa utilizada del coagulante inorgánico se registran desde el 20 al 60 % según el tipo de agua que se trató.

El cambio en el pH no se ve afectado en gran proporción porque el almidón gelatinizado es un producto alcalino y estabiliza la acción del sulfato de aluminio que al ser agregado en las muestras de agua tiende a descender el potencial de hidrógeno.

#### **4.3. Ventajas del almidón sobre el sulfato de aluminio**

La ventaja más importante es que el almidón es una sustancia orgánica por lo que su degradación sucede en menor tiempo que la del sulfato de aluminio, que es una sustancia inorgánica, contribuyendo al cuidado del medio ambiente ya que reduce la contaminación por los lodos de alto contenido de aluminio residual.

La yuca es una planta que puede ser cultivada en casi todas las regiones del Ecuador, por lo que la producción de almidón de yuca sería más factible. En relación con otros floculantes sintéticos, su costo de producción sería menor y la cantidad de almidón que se utilizaría por tratamiento dependería del nivel de turbidez que se desea reducir.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Si bien el más alto rendimiento de extracción se logró con una temperatura de 50°C, el almidón de mejor apariencia fue el que se extrajo a 40°C; por lo cual, se concluyó que el proceso de extracción óptimo es el que se hace a esa temperatura.

Efectivamente, la sustancia extraída de la yuca ecuatoriana es el almidón como se demuestra en el análisis de la espectroscopía infrarroja en donde se puede observar que coexisten sus dos componentes principales: la amilosa y la amilopectina, de los cuales el primero está siempre en menor proporción con relación al segundo. Además, en el TGA se comprueba la temperatura de gelatinización y cómo ésta influye en el proceso de extracción hasta obtener el producto final: almidón seco.

El presente proyecto expone que el uso de un coadyuvante de coagulación orgánico si es de utilidad en el tratamiento de las aguas ya que mejora los niveles de turbidez del agua disminuyendo la cantidad del coagulante inorgánico. A pesar de que, los porcentajes de remoción de turbidez podrían ser más altos, se debe pensar en que el éxito de este trabajo se basa en la reducción de las sustancias inorgánicas contaminantes.

Se logró la disminución del uso del sulfato de aluminio en porcentajes del 20 al 60% según el tipo de agua recogido, por ende, es una alternativa para disminuir la contaminación ambiental de parte de los coagulantes y floculantes sintéticos que no se biodegradan fácilmente y afectan a la fauna y flora marina.

El almidón de yuca en gel es sólo un coadyuvante de coagulación, es decir, que reduce el uso del sulfato de aluminio más no lo sustituye.

## **Recomendaciones**

Es importante que la extracción del almidón se realice con raíces frescas de yuca para evitar el deterioro por crecimiento de bacterias y que el rallado sea adecuado para no dañar los gránulos a extraer.

Cuando se realice la separación del almidón de yuca por sedimentación se debe mantener a una temperatura menor a 15°C y no dejarlo en reposo por más de tres días, la decantación debe ser inmediata.

Se debe tener en cuenta que las extracciones deben hacerse a temperaturas menores que la temperatura de gelatinización para la obtención del almidón en estado sólido.

Para las pruebas de jarras se deberán medir los parámetros de calidad antes y después del proceso de clarificación.

El sulfato de aluminio deberá molerse hasta conseguir un polvo fino, de esa forma el contacto con el agua será mayor.

El almidón como floculante debe estar en estado de gel.

## REFERENCIAS

- Aguilar, M., Saéz, J., Lloréns, M., Soler, A., & Ortuño, J. (2002). *Tratamiento Físico Químico de aguas residuales: coagulación floculación*. España: Universidad de Murcia, servicios de publicaciones. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&dq=%E2%80%9CTratamiento+f%C3%ADsico+qu%C3%ADmico+de+aguas+residuales:+coagulaci%C3%B3n-floculaci%C3%B3n%E2%80%9D.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjyuNzs74LVAhXFJCYKHeSjCNUQ6AEIIDAA#v=onepage&q=%E>
- Almenar, R., Bono, E., & García, E. (2000). *La sostenibilidad del desarrollo: el caso valenciano* (ilustrada ed.). (U. d. Valencia, Ed.) Valencia, España. Recuperado el 11 de July de 2017, de [https://books.google.com.ec/books?id=gWHWK0xZpj4C&dq=almenar+sostenibilidad&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.ec/books?id=gWHWK0xZpj4C&dq=almenar+sostenibilidad&hl=es&source=gbs_navlinks_s)
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua, Coagulación y floculación*. Lima: Sedapal. Recuperado el julio de 2017, de [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)
- Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Roma: Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Recuperado el 2017, de <http://www.fao.org/3/a-a1028s.pdf>
- Blanco, P. (2010). *Química verde y sostenible*. Recuperado el 15 de mayo de 2017, de Daphnia: <http://www.daphnia.es/revista/52/articulo/999/Quimica-verde-y-sostenible>
- Bravo, M. A. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. Bogotá: Universidad distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5609/1/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf>

Brumovsky, L. A. (2014). *Aulavirtual-exactas*. Obtenido de Química del almidón : <http://www.aulavirtual-exactas.dyndns.org/claroline/backends/download.php?url=L0FwdW50ZXNfZGVfdGVvcu1hL0FsbWlkb24yMDE0LnBkZg%3D%3D&cidReset=true&cidReq=IA818>

Cabello Úbeda, A. (Noviembre de 2010). *Fundación Jiménez Díaz*. Obtenido de Vacunas y viajes: [http://www.vacunasyviajes.es/vacunasyviajes/Cianamidas\\_Atlas.html](http://www.vacunasyviajes.es/vacunasyviajes/Cianamidas_Atlas.html)

Cabrera, G., & Ramirez, J. (2014). *Almidón extraído de la yuca (manihot esculenta crantz) como coagulante alternativo para tratamiento del agua de la Quebrada Yamuesquer Municipio de Potosí*. San Juan de pasto: Universidad de Nariño. Obtenido de <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/90482.pdf>

Catalá, M. (21 de noviembre de 2015). *Investigación en salud ambiental y ecotoxicología*. Obtenido de Efectos de la contaminación por aluminio: <https://toxamb.wordpress.com/2015/11/21/efectos-de-la-contaminacion-por-aluminio/>

CIDTA. (septiembre de 2003). *Aguas residuales*. Recuperado el julio de 2017, de Centro de investigación tecnológico el agua: <http://cidta.usal.es/>

Cock, J. H. (1989). *La yuca, nuevo cultivo potencial para un cultivo tradicional*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?id=CCHrPDm\\_pjC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=true](https://books.google.com.ec/books?id=CCHrPDm_pjC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=true)

Cohen, J., & Hannah, S. (1971). *Water quality and treatment, a handbook of public waste water supplies*.

De la Llanta, M. D. (2003). *Ecología y medio ambiente*. D.F., Mexico: Editorial Progreso, S. A. de C. V. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=KnORBYSrdDMC&printsec=frontcov>

er&dq=ecologia+y+medio+ambiente&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiI87yN6Y  
LVAhXISiYKHcp7CuAQ6AEIIDA#v=onepage&q=ecologia%20y%20medio  
%20ambiente&f=false

Díaz, J. (11 de diciembre de 2014). Tesis para obtención de Master en educación en las ciencias naturales. *Coagulantes floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas*. Tegucigalpa, Honduras: Universidad pedagógica nacional Francisco Morazán. Obtenido de file:///C:/Users/MaFer/Downloads/coagulantes-floculantes-organicos-e-inorganicos-elaborados-de-plantas-y-del-reciclaje-de-la-chatarra-para-el-tratamiento-de-aguas-contaminadas%20(3).pdf

El universo. (22 de marzo de 2017). 80% de las aguas residuales vuelve a los ecosistemas sin ningún tratamiento. *80% de las aguas residuales vuelve a los ecosistemas sin ningún tratamiento*.

Elika. (28 de febrero de 2014). *Aluminio*. Recuperado el 11 de julio de 2017, de Elika:  
[http://www.elika.eus/datos/pdfs\\_agrupados/Documento144/29.Aluminio.pdf](http://www.elika.eus/datos/pdfs_agrupados/Documento144/29.Aluminio.pdf)

Fang, J., Fowler, P., & Tomkinson, J. (2002). *Carbohidrate polimers*. 47. C.A.S. Hill.

Fernández, G. (s.f.). *Química Orgánica*. Obtenido de Espectroscopía de infrarrojo:  
<http://www.quimicaorganica.org/espectroscopia-infrarroja/770-absorcion-en-infrarrojo.html>

González, J., Martínez, A., Vega, R., & Otahola, J. (julio de 2012). Latin american and caribbean conference. *Almidón de yuca (manihot esculenta) como aditivo controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua*. Recuperado el 12 de julio de 2017, de Almidón de :  
<http://www.laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/no%20cw%20nor%20pay/RP251.pdf>

González, C. (octubre de 2011). Monitoreo de la calidad del agua. *La turbidez*. Puerto Rico. Obtenido de <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>

- Henry, J. G., & Heinke, G. W. (1999). *Ingeniería Ambiental* (Segunda edición ed.). México: Prentice hall hispanoamericana, S.A. Recuperado el 12 de julio de 2017, de <https://books.google.com.ec/books?id=ToQmAKnPpzIC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=true>
- INOCAR . (agosto de 2017). *Inocar*. Obtenido de Instituto Oceanográfico de la armada : <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/precipitacion-en-guayaquil>
- Interempresas. (02 de diciembre de 2010). *Interempresas, industrias del agua*. (X. Borrás, Editor) Recuperado el 12 de julio de 2017, de Sustancias para el tratamiento de aguas para el consumo humano: <http://www.interempresas.net/Agua/Articulos/45745-Sustancias-para-el-tratamiento-de-aguas-para-el-consumo-humano.html>
- Leiva, L., Jorge, N., Caceres, S., Paez, H., & Gomez, M. (1997). Empleo del gel de almidón de productos regionales como coadyuvante en el tratamiento de aguas. En C. d. tecnológica, & J. Valderrama (Ed.). La serena, Chile. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=cwOQ1ELDBk4C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=true>
- Lucas, J., Quintero, V., & Cárdenas, C. (2013). *Acta Agrónomica*. 62.
- Ministerio Ecuatoriano de ambiente. (2002). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recursos agua. En M. d. ambiente, *Anexo 1 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente* (pág. 37). Ecuador. Recuperado el 11 de julio de 2017
- Montaldo, A. (1985). *La Yuca o mandioca*. San José, Costa Rica: Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=z7hCbZmH7SQC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Ojeda, L. (2012). *Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del tropaeolum tubersum, en el tratamient del agua cruda de la planta puengasí de las EPMAPS*. Quito: Universidad politécnica salesiana.

Recuperado el julio de 2017, de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3866/1/UPS-QT03424.pdf>

OMS. (1997). *World Health Report*. Obtenido de World Health Organization: [http://www.who.int/whr/1997/media\\_centre/executive\\_summary1/en/](http://www.who.int/whr/1997/media_centre/executive_summary1/en/)

Ospina, B., & Ceballos, H. (2002). La yuca en el tercer milenio. En B. Ospina, & H. Ceballos, *Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización* (págs. 470-491). Colombia: Centro internacional de agricultura tropical.

Peluffo, G. (2013). *El cultivo de la yuca*. Obtenido de Descripción de la yuca: <http://elcultivodelayuca11jm.blogspot.com/2013/05/descripcion-de-la-yuca.html>

REITEC. (2014). *REITEC, servicios de ingeniería*. Obtenido de Conductividad Eléctrica: <http://www.reitec.es/Pdf/agua01.pdf>

Severns, W. H., Degler, H., & Miles, J. (1974). *Energía mediante vapor, aire o gas*. Barcelona, España: Editorial Reverté S. A. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?id=gWAV5XxMgkIC&printsec=frontcover&dq=energia+mediante+vapor+aire+o+gas+severns+pdf&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjpp\\_s6oLVAhXBRCYKHXsmANkQ6AEIIDA#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=gWAV5XxMgkIC&printsec=frontcover&dq=energia+mediante+vapor+aire+o+gas+severns+pdf&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjpp_s6oLVAhXBRCYKHXsmANkQ6AEIIDA#v=onepage&q&f=false)

SINAGAP. (2017). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continúa ESPAC*. Instituto Nacional de Estadísticas y censos INEC. Quito: Coordinación general del sistema de información nacional. Recuperado el julio de 2017, de <http://sinagap.agricultura.gob.ec/index.php/reportes-dinamicos-espac>

Solís, R., Laines, J., & Hernández, J. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 233.

Universidad de Alicante. (s.f.). *Termogravimetría*. Obtenido de Servicios Técnicos de investigación: <https://ssti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-analisis-termico/termogravimetria-tg-atd-tg-espectrometria-de-masas-tg-dsc.html>

Universidad de Buenos Aires. (30 de marzo de 2005). Partículas coloidales. *Coloides, Soluciones cristaloides y coloidales*. Argentina. Obtenido de <https://es.slideshare.net/lucasmere1/07-coloides-30-03-05-532534>

Valero, M., Pulido, J., Ramírez, Á., Higuera, L., Arias, S., González, C., & Ruiz, L. (2010). *Poliuretanos elastoméricos obtenidos a partir de aceite de ricino y almidón de yuca original y modificado con anhídrido propiónico: síntesis, propiedades fisicoquímicas y fisicomecánicas*. Sao Paulo: Química Nova. Recuperado el julio de 2017, de [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422010000400016](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422010000400016)



## SIMBOLOGÍA

H <sub>2</sub> O	Agua
Al(OH) <sub>3</sub>	Hidróxido de aluminio
H <sup>+</sup>	Iones hidrógeno
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Iones sulfato
cm	centímetros
O <sub>2</sub>	Oxígeno molecular
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> 14H <sub>2</sub> O	Sulfato de aluminio granulado Tipo A
Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Bicarbonato de calcio
CaSO <sub>4</sub>	Sulfato de calcio
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
$\nu$ (O-H)	Vibración de tensión
$\nu_a$ (C-H)	Vibración de tensión asimétrica
$\delta$ (O-H)	Vibración de torsión
°C	Grados centígrados
Kg	Kilogramos
g	Gramos
mg	Miligramos
L	Litros
mL	Mililitros
$\mu$ S	Microsiemens
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de calcio

# ANEXOS

**Laboratorio de Ensayos  
Metrológicos y de  
Materiales  
LEMAT-ESPOL**



**INFORME DE ENSAYOS/  
CERTIFICADO DE  
CALIBRACIÓN**

*Edición: 5*

Hoja: 1 de 2  
NF Informe: 17-201

Fecha de emisión: 21/08/2017  
Número de Orden: OT-1205-17

DATOS GENERALES DEL CLIENTE						
Nombre: María Fernanda Desiderio Moreira						
Dirección: Guayaquil						
Teléfono: 04 2346675			Correo electrónico: <a href="mailto:mdesider@espol.edu.ec">mdesider@espol.edu.ec</a>			
Persona de Contacto: María Fernanda Desiderio Moreira						
DATOS DE LA MUESTRA						
Código de Muestra LEMAT	Descripción de la muestra proporcionada por el cliente	Fecha de Recepción	Muestreo realizado por	Preparación de muestra realizada por	Condición de entrega de la muestra previo al ensayo	Fecha de Ensayo
17-0585	Almóndiga de yuca	17/07/2017	<input checked="" type="checkbox"/> Cliente <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/> No aplica	<input type="checkbox"/> Cliente <input checked="" type="checkbox"/> LEMAT <input type="checkbox"/> No aplica	<input type="checkbox"/> Acorde a norma <input type="checkbox"/> No acorde a norma <input checked="" type="checkbox"/> No aplica	Desde 25/07/2017 hasta 06/08/2017

MC2203-02



**NOTA:** Las opiniones, interpretaciones, inspecciones, etc., que se indiquen en este informe se encuentra fuera del alcance de acreditación del SAE.

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS O CALIBRADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil, Ecuador - Casapueblo - Km. 30.3 vía provincial, congreso a la C/da. Santa Cecilia

Fax: (593) 402269203 - Teléfono: 2269379

Email: [lemat@espol.edu.ec](mailto:lemat@espol.edu.ec)

MC2203-03

Hoja: 2 de 2  
Nº Informe: 17-201

Fecha de emisión: 21/08/2017  
Número de Orden: OT-1205-17

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CALORIMETRÍA DIFERENCIAL

Código de muestra: 17-0585  
Material: Almidón de yuca  
Equipo utilizado: Analizador Térmico SDT Q600, EM-004  
Información del ensayo: Velocidad de ensayo: 10 °C/min  
Flujo de N2: 100 mL/min  
Masa inicial: 9,63 mg  
Crisol: Alúmina

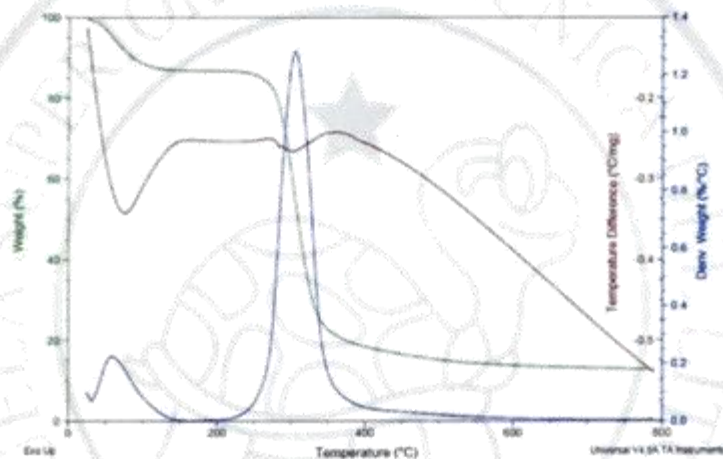



Figura 1: Gráfica DSC de la muestra 17-0585.

Observaciones:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.



Ing. María José Bastidas R.  
Dirección Técnica



Ing. Diego Toscano P.  
Dirección de Calidad

**NOTA:** Las opiniones, interpretaciones, inspecciones, etc., que se indiquen en este informe se encuentra fuera del alcance de acreditación del SAE.

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS O CALIBRADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Catayaguá, Uruguay - "Ciudad del Turismo" Km. 30.3 vía permanente, congreso a la Caba. Somo Cecilio

Fax: (598)-42290293 - Teléfono: 2269373

E-mail: lemat@lemat.edu.uy

MR/2204-05