

**ESTUDIO Y EVALUACIÓN DEL ALMIDÓN DE MAÍZ COMO ALTERNATIVA  
NATURAL EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO  
HUMANO**

**DAVID LEONARDOJIMÉNEZ BENAVIDES  
BYRON VLADIMIR PISCAL**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2015**

**ESTUDIO Y EVALUACIÓN DEL ALMIDÓN DE MAÍZ COMO ALTERNATIVA  
NATURAL EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO  
HUMANO**

**DAVID LEONARDO JIMÉNEZ BENAVIDES  
BYRON VLADIMIR PISCAL**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Director  
ROBERTO SALAZAR CANO  
I.C. M.Sc. en Ingeniería Sanitaria y Ambiental**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2015**

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de los autores.

Artículo 1° Acuerdo N° 324 del 11 de Octubre de 1966 del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”

Artículo 13, Acuerdo N. 005 de 2010 emanado del Honorable Consejo Académico.

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

San Juan de Pasto, Febrero de 2015

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la vida, iluminarme por el camino del bien, y brindarme la fortaleza para culminar esta importante etapa de mi vida.

A mis padres por su apoyo, sabios consejos, comprensión y amor, que forjaron en mi todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

A mis hermanas, demás familiares, y amigos, por estar siempre presentes, acompañándome para poder realizar esta meta anhelada, por sus palabras de ánimo, y los gratos momentos compartidos.

A mis maestros que en este andar por la vida, influyeron con su sabiduría y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida.

DAVID LEONARDO JIMÉNEZ BENAVIDES

## **DEDICATORIA**

A Dios ser maravilloso de fe y amor por brindarme la vida y ayudarme en los momentos difíciles en los que lo necesite, a la Virgen de Lajas que siempre me acompaña con sus bendiciones y me llena de momentos de alegría paz y amor.

A mi familia, fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida y más aún en mis años de carrera profesional, en especial quiero expresar mi más grande agradecimiento a mi madre por cuidarme, amarme, alimentarme y apoyarme siempre, a mi padre por ser un buen ejemplo de ser humano, por acompañarme en momentos difíciles y por ser el apoyo económico de toda mi vida.

A mis hermanos que cuando los necesite siempre pude contar con su apoyo.

A mis amigos fuente de alegrías y esparcimiento que sin ellos todo habría sido aún más difíciles.

A mi compañero de tesis, por ayudarme en momentos difíciles de salud y avanzar con la responsabilidad del proyecto mientras yo sanaba.

BYRON VLADIMIR PISCAL

## RESUMEN

El Almidón es un carbohidrato importante debido a su amplio uso industrial, la principal fuente de su obtención es el Maíz, considerado uno de los principales cultivos a nivel mundial, por su fácil producción y adaptabilidad a cualquier piso térmico. Una de los aspectos a destacar del Almidón, es su poder coagulante en el tratamiento del agua para consumo humano, por sus propiedades de hinchamiento, facilidad de gelatinización y retrogradación. Sin embargo, el uso en este campo no se ha estudiado ampliamente. En este sentido, se evaluó la efectividad de éste producto natural en el proceso de coagulación, para la remoción de color y turbiedad en el tratamiento de agua de la Quebrada Vuelta Larga, ubicada en el kilómetro cinco en la vía que comunica a la Ciudad de San Juan de Pasto con el corregimiento de Genoy; esta fuente se caracterizó por presentar un alto color, valores de turbiedad regular y baja alcalinidad. La preparación del coagulante se efectuó por medio de un proceso químico efectuado con soda cáustica en frío, y a una concentración del 2% (20000ppm). Mediante el Ensayo de Jarras, se determinó el rango de dosis óptimas con el que se obtuvo mejores resultados de remoción de color y turbiedad, empleando el Almidón de Maíz en el proceso de tratamiento; rango que sirvió de referencia para usar el Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  como coagulante convencional, preparado a la misma concentración, con el fin de hacer una comparación entre los dos coagulantes, en la eficiencia del tratamiento. El análisis estadístico, mostró que en la remoción de color (residual), existen diferencias significativas entre los dos coagulantes, con un porcentaje del 45.64% (50.43 UPC) de remoción para el Almidón de Maíz, y un 37,68% (58.95 UPC) para el Sulfato de Aluminio. En la remoción de turbiedad, los resultados indicaron que el Almidón de Maíz removió un 86% (4.01 NTU) y el Sulfato de Aluminio un 81,56% (5.89 NTU); valores que muestran una posibilidad de emplear el coagulante natural en el tratamiento de fuentes con estas características fisicoquímicas.

Palabras clave: Coagulación, Color, Turbiedad, Ensayo de Jarras, Almidón de Maíz, Sulfato de Aluminio.

## ABSTRACT

Starch is an important carbohydrate because of its wide industrial use, the main source of obtaining Corn is considered one of the major crops worldwide for its ease of production and adaptability to any thermal floor. One of the notable aspects of starch is its coagulating power in the treatment of water for human consumption, their swelling properties, ease of gelatinization and retrogradation. However, the use in this field has not been widely studied. In this sense, the effectiveness of this natural product in the coagulation process for the removal of color and turbidity in the water treatment Quebrada Vuelta Larga, located at kilometer five on the road between City San Juan de Pasto with the village of Genoy; this source was characterized by a high color, turbidity values regular and low alkalinity. Coagulant preparation was made through a chemical process conducted cold caustic soda and at a concentration of 2% (20000ppm). By testing Pitchers, the range of an optimal doses, with the best results of color and turbidity removal was obtained using the Cornstarch in the treatment process was determined; used as a reference range for Aluminum Sulfate using  $Al_2(SO_4)_3$  as conventional coagulant, prepared at the same concentration, in order to make a comparison between the two coagulants, in the treatment efficiency. Statistical analysis showed that color removal (residual), there are significant differences between the two coagulants, with a percentage of 45.64% (50.43 UPC) clearance for Corn Starch, and 37.68% (58.95 UPC) for Aluminum Sulfate. In turbidity removal, the results indicated that the Cornstarch removed 86% (4.01 NTU) and Aluminum Sulfate one 81.56% (5.89 NTU); values showing a possibility of using natural coagulant in the treatment of these physicochemical characteristics sources.

Keywords: Coagulation, Color, Turbidity, Test Jars, Cornstarch, Aluminum Sulfate.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION .....	18
1. MARCO TEORICO.....	22
1.1 TURBIEDAD Y COLOR EN EL AGUA .....	22
1.2 PARTICULAS DISPERSAS EN EL AGUA.....	22
1.2.1 Partículas coloidales. ....	23
1.2.2 Clasificación de los coloides. ....	24
1.2.3 Propiedades de los coloides: .....	24
1.2.4 Estabilidad e inestabilidad de los coloides. ....	25
1.3 COAGULACION Y FLOCULACION .....	28
1.3.1 Factores que influyen en la coagulación: .....	28
1.3.2 Factores que influyen en la floculación: .....	29
1.3.3 Mecanismos de la coagulación. ....	30
1.3.4 Fases de la coagulación.....	31
1.4 COAGULANTES EMPLEADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA.....	32
1.4.1 Clasificación de los polielectrolitos. ....	33
1.4.2 Modo de empleo de los polielectrolitos. ....	33
1.4.3 Almidón de maíz como coagulante natural. ....	34
1.4.4 Coagulantes metálicos.....	37
1.4.5 Evaluación de coagulantes mediante el Ensayo de Jarras. ....	39
2. MATERIALES Y METODOS .....	40
2.1 OBTENCIÓN Y VALORACIÓN DEL COAGULANTE NATURAL A PARTIR DEL ALMIDÓN DE MAÍZ .....	40
2.1.1 Compra y caracterización del maíz blanco.....	40
2.1.2 Extracción del almidón de maíz. ....	41
2.1.2.1 Reconocimiento del almidón de maíz como carbohidrato, con la prueba de Molish y Lugol. ....	42
2.1.3 Preparación de la suspensión de almidón a emplear en el proceso de coagulación. ....	43
2.1.3.1 Preparación de la suspensión de almidón en frío.....	43
2.2 TOMA DE MUESTRAS Y CARACTERIZACION DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA A TRATAR.....	43
2.2.1 Toma de muestras para análisis microbiológico. ....	45

2.2.2	Toma de muestras para análisis fisicoquímicos.....	45
2.2.3	Toma de muestras para análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).....	45
2.2.4	Toma de muestras de la fuente para el Ensayo de Jarras.....	45
2.3	DESARROLLO DE PRUEBAS DE TRATABILIDAD – ENSAYO DE JARRAS EMPLEANDO EL ALMIDÓN DE MAÍZ COMO COAGULANTE NATURAL Y EL SULFATO DE ALUMINIO $Al_2(SO_4)_3$ COMO COAGULANTE CONVENCIONAL.....	46
2.3.1	Procedimiento de laboratorio y toma de datos.....	46
2.3.2	Determinación de parámetros físicos y químicos.....	49
2.3.2.1	Turbiedad.....	49
2.3.2.2	Color.....	50
2.3.2.3	Alcalinidad.....	51
2.3.2.4	pH y temperatura.....	51
2.3.3	Determinación del rango óptimo del proceso de tratabilidad por medio del Ensayo de Jarras.....	52
2.3.4	Determinación de la dosis óptima del proceso de tratabilidad por medio de curvas esquemáticas de remoción de color y turbiedad.....	52
2.4	MÉTODO ESTADISTICO.....	52
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
3.1	ALMIDÓN EXTRAÍDO DEL MAÍZ COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	53
3.1.1	Caracterización y composición química del maíz.....	53
3.1.2	Obtención del almidón de maíz como coagulante natural y preparación de la suspensión en frío.....	55
3.2	CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS Y MICROBIOLOGICAS DE LA FUENTE.....	55
3.3	PRUEBA DE JARRAS APLICANDO ALMIDON DE MAÍZ Y SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTES, DETERMINACION DEL RANGO ÓPTIMO Y LA DÓISIS ÓPTIMA POR MEDIO DE CURVAS ESQUEMATICAS DE REMOCIÓN DE COLOR Y TURBIEDAD.....	58
3.3.1	Resultados del ensayo empleando almidón de maíz.....	58
3.3.1.1	Gradientes de velocidad de la mezcla rápida y la mezcla lenta.....	59
3.3.1.2	Resultados del ensayo 1.....	60
3.3.1.3	Resultados del ensayo 2.....	62
3.3.1.4	Resultados del ensayo 3.....	64
3.3.2	Resultados del ensayo empleando sulfato de aluminio.....	66
3.3.3	Efecto del almidón de maíz y el sulfato de aluminio en la remoción de color.....	68

3.3.3.1	Color residual (UPC). .....	68
3.3.3.2	Eficiencia del proceso de remoción de color residual (%). .....	69
3.3.3.3	Color residual filtrado (UPC). .....	70
3.3.3.4	Eficiencia del proceso de remoción de color residual filtrado (%). .....	71
3.3.4	Efecto del almidón de maíz y el sulfato de aluminio en la remoción de turbiedad .....	72
3.3.4.1	Turbiedad residual (NTU). .....	72
3.3.4.2	Eficiencia del proceso de remoción de turbiedad residual (%). .....	74
3.3.4.3	Turbiedad residual filtrada (NTU). .....	74
3.3.4.4	Eficiencia del proceso de remoción de turbiedad residual filtrada (%). ....	75
3.3.5	Dosis óptima de almidón de maíz y sulfato de aluminio en la remoción de color y turbiedad. ....	76
4.	CONCLUSIONES.....	78
5.	RECOMENDACIONES .....	79
	BIBLIOGRAFIA.....	80
	ANEXOS.....	83

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Tamaño de las partículas suspendidas.....	23
Figura 2. Modelo de la doble capa eléctrica para una partícula coloidal.....	27
Figura 3. Modelo esquemático del proceso de coagulación .....	32
Figura 4. Modo de acción de los polielectrolitos .....	34
Figura 5. Estructura del grano de maíz .....	35
Figura 6. Estructura química de la amilosa .....	36
Figura 7. Estructura química de la amilopectina .....	37
Figura 8. Productos de hidrólisis formados por la reacción del ion de aluminio con el agua y la alcalinidad .....	39
Figura 9. Indicador, para determinar visualmente la variedad del maíz .....	41
Figura 10. Ubicación de la quebrada Vuelta Larga .....	44
Figura 11. Comparador para estimar el tamaño del floculo producido en la coagulacion según WaterResearchInstitute de Inglaterra.....	48
Figura 12. Maíz granizo blanco.....	53
Figura 13. Determinación de los gradientes de velocidad .....	59

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Clasificación taxonómica del maíz .....	35
Tabla 2. Índice de floculación de Willcomb .....	47
Tabla 3. Descripción del sobrenadante.....	48
Tabla 4. Valores máximos admisibles de los parámetros de calidad de agua estudiados.....	49
Tabla 5. Caracterización del maíz .....	53
Tabla 6. Caracterización del maíz .....	54
Tabla 7. Características fisicoquímicas y microbiológicas de la fuente .....	56
Tabla 8. Calidad de la fuente (quebrada Vuelta Larga) .....	57
Tabla 9. Parámetros iniciales de la muestra .....	58
Tabla 10. Parámetros de mezcla rápida, mezcla lenta y sedimentación .....	60
Tabla 11. Equivalencia de las respectivas dosis en ml a aplicar (Ensayo 1) .....	60
Tabla 12. Parámetros obtenidos y porcentaje de remoción (Ensayo 1) .....	61
Tabla 13. Equivalencia de las respectivas dosis en ml a aplicar (Ensayo 2) .....	62
Tabla 14. Parámetros obtenidos y porcentaje de remoción (Ensayo 2) .....	63
Tabla 15. Equivalencia de las respectivas dosis en ml a aplicar (Ensayo 3) .....	64
Tabla 16. Parámetros obtenidos y porcentaje de remoción (Ensayo 3) .....	65
Tabla 17. Parámetros obtenidos y porcentaje de remoción (Ensayo 6) .....	67

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>pág.</b>
Gráfica 1	Color residual en función de las dosis para los respectivos coagulantes.....69
Gráfica 2	Porcentaje de remoción de color residual en función de las dosis para los respectivos coagulantes.....70
Gráfica 3	Color residual filtrado en función de las dosis para los respectivos coagulantes.....71
Gráfica 4	Porcentaje de remoción de color residual filtrado en función de las dosis para los respectivos coagulantes .....72
Gráfica 5	Turbiedad residual en función de las dosis para los respectivos coagulantes.....73
Gráfica 6	Porcentaje de remoción de turbiedad residual en función de las dosis para los respectivos coagulantes .....74
Gráfica 7	Turbiedad residual filtrada en función de las dosis para los respectivos coagulantes.....75
Gráfica 8	Porcentaje de remoción de turbiedad residual filtrada en función de las dosis para los respectivos coagulantes .....76

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO 1. REGISTRO FOTOGRÁFICO .....	84
Anexo 1.2 Preparación de la suspensión en el laboratorio .....	93
Anexo 1.3 Toma de muestras de agua .....	95
Anexo 1.3.1 Toma de muestras para análisis microbiológico .....	96
Anexo 1.3.2 Toma de muestras para análisis fisicoquímicos.....	97
Anexo 1.3.3 Toma de muestras para análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) .....	98
Anexo 1.3.4 Toma de muestras de la fuente para el ensayo de jarras .....	99
Anexo 1.4 Ensayo - prueba de jarras.....	100
ANEXO 2. REPORTE DE DATOS Y RESULTADOS.....	113
Anexo 2.1.1 Reporte de datos y resultados ensayo 1 empleando almidón de maíz como coagulante natural .....	114
Anexo 2.1.2 Reporte de datos y resultados Ensayo 2 empleando Almidón de Maíz como coagulante natural .....	116
Anexo 2.2 Reporte de datos y resultados de los Ensayos 3, 4 y 5, empleando Almidón de Maíz como coagulante natural .....	117
Anexo 2.2.1 Reporte de datos y resultados del Ensayo 3 empleando Almidón de Maíz como coagulante natural.....	118
Anexo 2.2.2 Reporte de datos y resultados Ensayo 4 empleando Almidón de Maíz como coagulante natural .....	120
Anexo 2.2.3 Reporte de resultados Ensayo 5 empleando Almidón de Maíz como coagulante natural.....	122
Anexo 2.3 Reporte de datos y resultados de los Ensayos 6, 7 y 8 de laboratorio empleando Sulfato de Aluminio como coagulante convencional.....	123
Anexo 2.3.1 Reporte de datos y resultados Ensayo 6 empleando Sulfato de Aluminio como coagulante convencional. ....	124
Anexo 2.3.2 Reporte de resultados Ensayo 7 empleando Sulfato de Aluminio como coagulante convencional.....	126
Anexo 2.3.3 Reporte de resultados Ensayo 8 empleando Sulfato de Aluminio como coagulante convencional.....	128
Anexo 2.4 Reporte del análisis estadístico (Tablas de análisis estadístico obtenidas en el software Statgraphics Centurion XVI-I).....	130
Anexo 2.4.1 Resultado color residual (UPC).....	131
Anexo 2.4.2 Resultado color residual filtrado (UPC) .....	134
Anexo 2.4.3 Resultado turbiedad residual (NTU).....	137
Anexo 2.4.4 Resultado turbiedad residual filtrada (NTU) .....	140
Anexo 2.5 Reporte de ensayos realizados al grano de Maíz .....	143
Anexo 2.6 Ensayos de nutrientes realizados a lodos residuales producidos en el proceso de tratabilidad .....	144
Anexo 2.7 Estudios Fisicoquímicos y microbiológicos de la Quebrada vuelta larga.....	145

## GLOSARIO

**ABSORBANCIA:** Cantidad de intensidad de luz que absorbe una muestra líquida.

**ALCALINIDAD:** Es la medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos. Está en función del pH, que es un coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa. Indica la concentración de iones hidronio  $[H_3O]^+$  presentes en determinadas disoluciones.

**ALMIDÓN:** Molécula natural formada por polisacáridos, de color blanco y aspecto granuloso, que se almacena como material de reserva en los tubérculos, raíces y semillas de ciertas plantas, especialmente en los cereales.

**BROMATOLÓGIA:** Estudio de los alimentos, de su composición, de sus propiedades, del proceso de fabricación y de almacenamiento y de sus ingredientes.

**COAGULACIÓN:** Proceso a través del cual los coagulantes son adicionados al agua reduciendo las fuerzas que tienden a mantener separadas las partículas en suspensión.

**COLOR:** Presencia en solución de diferentes sustancias como iones metálicos naturales, humus y materia orgánica disuelta.

**DILUCIÓN:** Mezcla homogénea a nivel molecular o iónico de dos o más sustancias que no reaccionan entre sí, cuyos componentes se encuentran en proporciones variables.

**DOSIFICACIÓN:** Regulación de la cantidad o proporciones volumétricas de una sustancia a disolverse en otro medio.

**FILTRACIÓN:** Proceso unitario de separación de sólidos en suspensión en un líquido mediante un medio poroso, que retiene los sólidos y permite el pasaje del líquido.

**FLOC:** Partículas aglutinadas en pequeñas masas con peso específico superior al del agua.

**FLOCULACIÓN:** Aglomeración de partículas por efecto del transporte del fluido formando partículas de mayor tamaño que son sedimentadas por efecto de la gravedad.

**GELATINIZACIÓN:** Proceso en el cual las partículas de Almidón adsorben lentamente el agua en las zonas intermicelares amorfas que son menos organizadas y las más accesibles, a medida que se retiene más agua el granulo empieza a hincharse y aumentar de volumen.

**HIDRÓLISIS:** Reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química.

**MAÍZ:** Planta de la familia de las Gramíneas, con el tallo grueso, de uno a tres metros de altura, según las especies, hojas largas, planas y puntiagudas, flores masculinas en racimos terminales y las femeninas en espigas axilares resguardadas por una vaina.

**NEUTRALIZACIÓN:** Reacción química que ocurre entre un ácido y una base produciendo una sal y agua.

**PARTÍCULAS COLOIDALES:** Son partículas de suelo (orgánicas o inorgánicas) que tienen un diámetro pequeño que varía de 0.20 a 0.005 micrones. Los coloides se caracterizan por su alta capacidad de intercambio de iones.

**POLIMERIZACIÓN:** De polímero, reacción química en la que dos o más moléculas se combinan para formar otra en la que se repiten unidades estructurales de las primitivas y su misma composición porcentual cuando estas son iguales.

**POTABILIZACIÓN:** Proceso de conversión de agua común en agua potable o de consumo humano.

**SEDIMENTACIÓN:** Remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión en un fluido y que tienen un peso específico mayor que el fluido.

**SOBRENADANTE:** Fase líquida superior que aparece cuando se centrifuga una muestra.

**TITULACIÓN:** Método de análisis químico cuantitativo en el laboratorio, que se utiliza para determinar la concentración desconocida de un reactivo conocido.

**TURBIEDAD:** Falta de transparencia del agua debido a la presencia de partículas en suspensión.

## INTRODUCCION

El agua como fuente de abastecimiento para la población, antes de ser usada para el consumo humano presenta ciertas impurezas, debido a que al entrar en contacto con el suelo, va adquiriendo elementos y compuestos que modifican su condición original desde el punto de vista físico y químico. Las características físicas a considerar son: el color, la turbiedad, olor y sabor y la temperatura. “La presencia de color en el agua, se debe a sustancias minerales disueltas y materias coloidales de naturaleza orgánica; por su parte, la turbiedad se debe esencialmente a materias en suspensión, tales como arcillas y sustancias inorgánicas finamente divididas y organismos microscópicos”<sup>1</sup>.

Bajo estas circunstancias, es necesario un tratamiento para lograr la potabilización del agua; partiendo del proceso de coagulación, en el cual se utilizan productos químicos, generalmente sales de aluminio o de hierro, para desestabilizar las partículas coloidales en suspensión, y de esta manera formar microflocs, que se irán aglomerando hasta formar un floculo hidratado de tamaño tal, que pueda sedimentar bajo la acción de la fuerza de gravedad, en la etapa de floculación. Sin embargo, “existen desventajas asociadas al uso de estos coagulantes químicos convencionales, como altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo y el hecho de que afectan significativamente el pH del agua tratada”<sup>2</sup>.

Teniendo en cuenta la problemática anterior, se han realizado estudios que buscan utilizar otras alternativas en el tratamiento de agua para consumo humano; que consisten en el uso de los coagulantes naturales, comúnmente conocidos como polímeros naturales, entre los que se destacan: las semillas de la planta de Moringa Oleífera; los almidones de papa, Maíz, trigo, yuca; y algunas plantas nativas como la Tuna, con los que se ha obtenido buenos resultados en el proceso de clarificación.

El considerar al Almidón como un carbohidrato, cuya mayor fuente de obtención es el Maíz (la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal), sus propiedades coagulantes, y la facilidad de su extracción, manifiesta la necesidad de indagar sobre el tema. Por ello, esta investigación busca estudiar y evaluar de manera experimental, el efecto que éste producto tiene en el proceso de

---

<sup>1</sup> UNDA OPAZO, Francisco y SALINAS CORDERO, Sergio. Cantidad y calidad del agua. En: Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento a salud pública. 1 ed. Mexico.D.F: UTHEAS, 1969. p. 89-117.

<sup>2</sup> HAAROFF, J y CLEASBY, J. Comparing aluminum and iron coagulants for in line filtration of cold waters. 1988. Citado por: GUZMÁN, Luis, *et al*. Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. En: U.D.C.A Act. & Div. Cient, 2013, no 16(1), p. 253-262.

coagulación de agua para consumo humano y por ende ser una alternativa en los procesos de coagulación convencionales.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La calidad del agua se ve afectada especialmente por el número de asentamientos humanos próximos a las fuentes de abastecimiento y por el caudal que transporta. En el sector rural, el hombre aporta gran cantidad de contaminantes a partir de vertimientos puntuales como drenajes de alcantarillados y similares, así mismo la presencia de cultivos agrícolas cerca a estas fuentes, afectan la calidad y por ende, generan riesgo para la salud humana, estas características son comunes, en fuentes hídricas, por ejemplo en la Quebrada Vuelta Larga, ubicada en el corregimiento de Genoy del Municipio de Pasto.

Para asegurar un agua apta para el consumo humano, se realizan tratamientos convencionales, que comprende etapas como la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. En estos procedimientos, es común encontrar procesos de potabilización ejecutados deficientemente. La etapa de coagulación, generalmente se realiza aplicando Sulfato de Aluminio al agua a tratar, en la cual, no se logra remover eficientemente los valores de color y turbiedad, lo que genera problemas a los procesos posteriores. Es importante mencionar la cloración, en donde, la presencia de materia fina como arcillas, limos; materia orgánica y bacterias, producto de un mal proceso de coagulación; generan graves problemas a la salud humana, debido a que la aplicación de cloro como desinfectante, en “presencia de color orgánico, originado por los ácidos húmicos particularmente, da origen a los trihalometanos como el cloroformo y el bromoformo, compuestos que han tenido efectos cancerígenos, dependiendo de factores como, el tiempo de contacto, el pH, el contenido de ácido húmico del agua y la temperatura”<sup>3</sup>.

Al respecto, el uso del Sulfato de Aluminio como coagulante convencional, es “cuestionado debido a problemas medioambientales que conlleva, fundamentalmente, la generación de lodos tóxicos, la relación con la enfermedad del Alzheimer, empeoramiento de enfermedades neurodegenerativas, relación con el cáncer; lo que indica, que se debe investigar el uso de coagulantes que sean más seguros para el ser humano”<sup>4</sup>.

Considerando las propiedades del Almidón de Maíz, como el hinchamiento, gelatinización y retrogradación, producto de su disolución en agua a elevadas

---

<sup>3</sup> SALAZAR CANO, Roberto. Características físico-químicas y microbiológicas de las aguas. En: Plantas de Potabilización de agua. [s.n.]. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, 2012. p. 15-35.

<sup>4</sup> GARCÍA FAYOS, Beatriz. Metodología de extracciones in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo. Tesis de Maestría en Seguridad industrial y Medioambiente. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2007. p 11.

temperaturas o mediante procesos químicos; los parámetros físico-químicos de la fuente de agua a tratar (Quebrada Vuelta Larga-Municipio de Pasto), como turbiedad, color aparente, alcalinidad total, pH y temperatura; y trabajos de experimentación como los realizados por Rodríguez M y colaboradores<sup>5</sup>. Este aspecto indica la viabilidad de utilizar el Almidón de Maíz como alternativa natural en el tratamiento de esta fuente, y de esta manera obtener un doble beneficio: aportar en la remoción de color y turbiedad del agua; y ser una alternativa en la coagulación, al evaluar su efectividad, frente a coagulantes convencionales como el Sulfato de Aluminio.

En atención a los anteriores argumentos, en el presente trabajo, se planteó la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la eficiencia del Almidón de Maíz en la remoción de color y turbiedad, como alternativa natural en el proceso de coagulación para el tratamiento del agua de la Quebrada Vuelta Larga en el municipio de San Juan de Pasto - Nariño?

## **JUSTIFICACIÓN**

La falta de agua potable es un problema que en la actualidad, afecta principalmente a aquellas personas que viven en los países en vía de desarrollo. Problemas característicos como “la contaminación por desechos de origen humano o animal, que contienen una multiplicidad de bacterias, virus y protozoarios patógenos; las características físicas y químicas de las fuentes de abastecimiento; y la falta de un tratamiento que eficazmente pueda tratar el agua, son los principales factores, que hacen que la comunidad corra el riesgo de sufrir brotes de afecciones intestinales y otras enfermedades infecciosas, donde las principales víctimas son lactantes, los niños, las personas que viven en condiciones antihigiénicas, los enfermos y los ancianos”<sup>6</sup>.

La solución para mejorar la situación sanitaria y condiciones de vida de la población afectada, pasa por orientar la investigación presente y futura al desarrollo de técnicas innovadoras, eficaces, sostenibles, económicas, fiables y fáciles de manejar, que sean socialmente aceptadas por la comunidad, y que permitan dotar de agua de calidad a la población<sup>7</sup>.

El aprovechamiento del cultivo de Maíz en pro del bienestar, propone la utilización de Almidón extraído de su grano, como coagulante natural, generando una

---

<sup>5</sup> RODRIGUEZ, M, *et al.* Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora. En: Evaluación del proceso de coagulación. Universidad Manuela Beltrán, Bogotá D.C Colombia, Umbral científico, 2007, p.16.

<sup>6</sup> ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (Ginebra). Guías para la calidad del agua potable, 1995, Vol. 1, 2 ed. p.2-3. ISBN 92 4 353360 8.

<sup>7</sup> MINTZ, E, *et al.* Not just a drop in the bucket: expanding access to point-of-use water treatment systems. GARCÍA FAYOS, Beatriz. Op. Cit., p. 17.

alternativa encaminada a mejorar la calidad del agua destinada al consumo humano. El desarrollo de un protocolo sencillo de obtención del Almidón de Maíz, permitirá a los habitantes de las comunidades que cuentan con un deficiente servicio de potabilización, la producción y aplicación de este producto, para la obtención de agua pura. Una aplicación viable, puesto que el Maíz es uno de los principales productos a nivel mundial; cabe mencionar a Colombia, gran productor de este grano, donde se han identificado distintas variedades. “En el departamento de Nariño, por ejemplo, por ser una zona predominantemente de economía campesina e indígena, se permite una cosecha de grano al año. Diagnósticos realizados en municipios como Yacuanquer, San Lorenzo, Consacá y Pasto, indican un amplia variedad de maíces criollos, entre ellos el Maíz blanco, utilizado ampliamente en la industria”<sup>8</sup>.

Por lo anterior, el presente trabajo de investigación, constituye el estudio del Almidón de Maíz como coagulante natural en la clarificación de aguas para consumo humano; una tecnología limpia, con beneficios económicos, eficientes y sin riesgo para la salud humana.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Estudiar y evaluar el Almidón de Maíz como alternativa natural en el proceso de coagulación para el tratamiento del agua de la Quebrada Vuelta Larga en el Municipio de San Juan de Pasto – Nariño.

### **Objetivos específicos**

- Determinar la composición química del grano de Maíz (*Zea mays* L) con ensayos realizados en laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.
- Determinar las características físico-químicas y microbiológicas del agua proveniente de la Quebrada Vuelta Larga.
- Establecer la concentración y la dosis óptima en el proceso de coagulación del Almidón de Maíz y el Sulfato de Aluminio, mediante el Ensayo de Jarras.
- Controlar las variables de operación empleadas en el proceso de coagulación para el Almidón de Maíz y el Sulfato de Aluminio.
- Desarrollar las curvas esquemáticas de remoción de color y turbiedad en función de las dosis óptimas a utilizar.

---

<sup>8</sup> RED DE GUARDIANES DE SEMILLAS DE VIDA (Pasto). Diagnóstico de maíces criollos de Colombia Región Andina: Cauca y Nariño, 2013. p. 19. ISBN: 978-958-57546-0-7.

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1 TURBIEDAD Y COLOR EN EL AGUA

“El agua en su forma molecular pura no existe en la naturaleza, por cuanto contiene sustancias que pueden estar en suspensión o en solución verdadera según el tamaño de disgregación del material que acarrea”<sup>9</sup>.

“La turbiedad del agua se debe esencialmente a materias en suspensión, tales como arcilla y otras sustancias inorgánicas finamente divididas, o materias similares, y organismos microscópicos”<sup>10</sup>. “La turbidez es una característica del agua debida a la presencia de partículas suspendidas cuyo tamaño varía desde suspensiones groseras hasta coloides. La presencia de esas partículas provoca la dispersión y absorción de la luz, dando una apariencia turbia, estéticamente indeseable y potencialmente peligrosa”<sup>11</sup>.

La presencia del color en aguas superficiales o subterráneas se debe a la existencia de cierto tipo de sustancias orgánicas denominadas húmicas. La intensidad del color en el agua depende de varios factores, como lo es la cantidad de lluvia que disuelve o arrastra a este tipo de sustancias que originalmente están presentes en la materia orgánica del bosque. El color puede variar considerablemente, siendo nula en época seca o muy intensa después de una fuerte precipitación. Otros factores causantes del color son el tipo de superficie en el área de desagüe, la cantidad de materia orgánica en descomposición y la velocidad con que esta se efectúa. El color puede ser causado también por la presencia de iones metálicos en disolución como el hierro o el manganeso<sup>12</sup>.

### 1.2 PARTICULAS DISPERSAS EN EL AGUA

Las partículas en el agua se pueden observar de tres modos distintos, disueltas, dispersas o en estado coloidal y en suspensión. Según el tamaño de las partículas

---

<sup>9</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría de la coagulación del agua. En: Teoría y práctica de la purificación del agua. 3ed. Bogotá: Mc Graw Hill y ACODAL, 2000. p. 21-84.

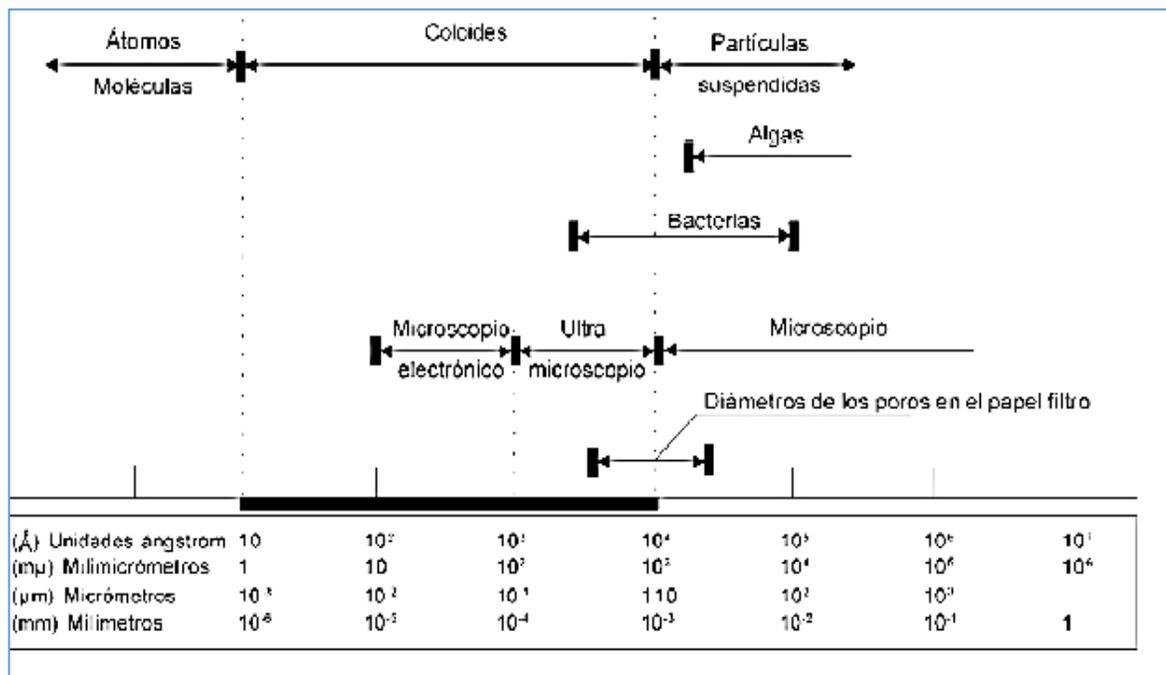
<sup>10</sup> UNDA y SALINAS, Op. cit., p. 94.

<sup>11</sup> SPINNELI, V. Quitosana, polieletrólito natural para o tratamiento de agua potable, 2001. Citado por QUIRÓS BUSTOS, Noemi *et al.* Desarrollo de coagulantes y floculantes para la remoción del color en aguas de consumo humano; el Rio Humo, reserva forestal Rio Macho. Informe final de proyecto. Costa Rica: Instituto tecnológico de Costa Rica, 2010. p 2.

<sup>12</sup> QUIRÓS BUSTOS, Noemi, *et al.* Desarrollo de coagulantes y floculantes para la remoción del color en aguas de consumo humano; el Rio Humo, reserva forestal Rio Macho. Informe final de proyecto. Costa Rica: Instituto tecnológico de Costa Rica, 2010. p. 2.

disgregadas, hay un cambio en las características de este fenómeno. Cuando hay verdadera solución, el soluto tiene dimensiones aproximadamente iguales o inferiores a  $1\text{m}\mu$ ; cuando hay estado coloidal, el coloide tiene dimensiones que varían entre  $1\text{m}\mu$  y  $1000\text{m}\mu$ . Y cuando hay suspensión gruesa, las partículas o gotas suspendidas tienen tamaños iguales o mayores de  $1000\text{m}\mu$ . En la Figura 1, se muestra este concepto<sup>13</sup>. (Ver figura 1. )

**Figura 1. Tamaño de las partículas suspendidas**



Fuente: ARBOLEDA, Jorge, 2000, p. 11.

**1.2.1 Partículas coloidales.** Forman suspensiones estables, por lo que es imposible su sedimentación natural; son sustancias responsables de la turbiedad y el color del agua. Los sistemas coloidales presentan una superficie de contacto inmensa entre la fase sólida y la fase líquida; éstas poseen normalmente una carga eléctrica negativa situada sobre su superficie. Estas cargas llamadas cargas primarias, atraen los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos<sup>14</sup>. La forma de los coloides tiene relación directa con

<sup>13</sup> ARBOLEDA, Op. cit., p. 11.

<sup>14</sup> GÓMEZ PUENTES, Néstor Alejandro. Remoción de materia orgánica por coagulación – floculación. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Departamento de Ingeniería Química, 2005. p.24.

sus propiedades. Por lo general, se clasifican en isométricas es decir, formas con una dimensión igual en todas direcciones como formas esféricas y poliédricas; y anisométricas, que se extienden en una o dos dimensiones como cilindros, laminas, cintas, entre otras<sup>15</sup>.

**1.2.2 Clasificación de los coloides.** Existen varios términos para distinguir los tipos de sistemas coloidales. Para el tratamiento de agua, los más importantes son hidrofílico e hidrofóbico.

Los coloides hidrofílicos (del griego philos, querido) muestran gran atracción por el agua, mientras que los hidrofóbicos (del griego phobe, fobia) muestran menos atracción.

El calificativo hidrofóbico (fobia al agua) es impropio ya que si una sustancia repele completamente un medio potencial de dispersión no podría siquiera ser mojada y tampoco habría dispersión. Lo cierto es que las sustancias hidrofóbicas muestran una atracción considerablemente menor por el agua que las hidrofílicas. Los coloides hidrofóbicos son importantes en el tratamiento del agua e incluyen sustancias como arcillas y óxidos metálicos. Así mismo, son termodinámicamente inestables con respecto a la formación de grandes cristales no coloidales.

Los coloides hidrofílicos comprenden soluciones verdaderas ya sea de moléculas grandes o de agregados de moléculas pequeñas (llamados micelas), cuyas dimensiones están dentro de los límites coloidales. Abarcan varios polímeros sintéticos y naturales y numerosas sustancias de significación biológica como proteínas, ácidos nucleicos, almidones y otras macromoléculas. Las diferencias de opinión entre los investigadores sobre la naturaleza del color orgánico en el agua - solución verdadera o coloide - pueden resolverse si consideramos que el color orgánico es un coloide hidrofílico que consiste de moléculas grandes en solución. Las soluciones de coloides hidrofílicos y las de moléculas más pequeñas difieren únicamente en que el gran tamaño de las moléculas o micelas conlleva propiedades y técnicas de estudio diferentes<sup>16</sup>.

### **1.2.3 Propiedades de los coloides:**

**Propiedades eléctricas.** Toda partícula coloidal esta eléctricamente cargada, la carga varía su magnitud de acuerdo a la naturaleza del material coloidal y puede ser positiva o negativa. La estabilidad de los coloides depende de su carga eléctrica. Los de igual signo se repelen y no dejan formar aglomerados de muchas partículas.

---

<sup>15</sup> ARBOLEDA, Op. cit., p. 13.

<sup>16</sup> SALAZAR, Op. cit., p. 39-40.

Las propiedades electrocinéticas son de gran importancia en ingeniería ambiental y la forma de destruir las suspensiones coloidales depende de su conocimiento.

Cuando una partícula coloidal es ubicada en un campo eléctrico migra hacia el polo de carga opuesta. Este fenómeno se conoce como Electroforesis y se usa para determinar la naturaleza de la carga de las partículas coloidales.

**Movimiento browniano.** Las partículas coloidales son bombardeadas por moléculas del medio de dispersión y por su pequeño tamaño y masa se mueven de manera efervescente. Este movimiento se creía debido a materia viva, pero Brown en 1827, mostró que la materia inerte también exhibía este fenómeno. Este movimiento constante y desordenado les impide a los coloides sedimentarse, aunque las partículas sean más densas que el líquido que las rodea.

**Efecto tyndall.** Un rayo de luz es diseminado al pasar a través de una suspensión coloidal. El tamaño de los coloides es mayor que la longitud de onda promedio de la luz blanca y por esto interfiere en su paso y la refleja. Esta propiedad se usa como base para medir la turbiedad en el agua, o la concentración de partículas coloidales en un líquido.

**Adsorción.** Por su gran superficie, los coloides son adsorbentes poderosos. La adsorción preferencial o selectiva, donde se adsorben algunas clases de partículas, según su carga, es la base fundamental de la estabilidad de algunas dispersiones coloidales.

**Efecto sobre las temperaturas de ebullición y congelación.** Los coloides afectan los puntos de ebullición y congelación de los líquidos que los contengan o sea siguen la ley de Raoult. Su efecto no es medible con instrumentos ordinarios porque su número es pequeño comparado con el número de Avogadro.

**Diálisis.** Por su tamaño no atraviesan membranas semipermeables ordinarias. Por esto para separar cristales y coloides se usa la diálisis<sup>17</sup>.

**1.2.4 Estabilidad e inestabilidad de los coloides.** “Algunos coloides son estables y otros no los son. Los sistemas coloidales estables termodinámicamente se han llamado reversibles; los sistemas coloidales inestables termodinámicamente se han llamado irreversibles. Ejemplos de coloides reversibles incluyen micelas de jabón y detergentes, proteínas y almidones; ejemplos de coloides irreversibles incluyen arcillas, óxidos metálicos y microorganismos”<sup>18</sup>.

---

<sup>17</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Conceptos básicos de química coloidal. [On line] <[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090020/files/pdf/cap\\_4+.pdf](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090020/files/pdf/cap_4+.pdf)>

<sup>18</sup> J, Walter y JR, Weber. Coagulación y Floculación. En: Control de la Calidad del agua Procesos fisicoquímicos. 1 ed. Barcelona: REVERTÉ, S. A., 1979. p. 64-112.

**Carga eléctrica de las partículas coloidales.** Desde hace tiempo se ha observado que las partículas coloidales sólidas de una dispersión acuosa se mueven al aplicar un campo eléctrico, lo cual indica que estas partículas son portadoras de una carga eléctrica. Las partículas coloidales por ejemplo arcillas, óxidos metálicos hidratados, bacterias, fibras de pulpa, proteínas, pueden desarrollar una carga eléctrica por varios caminos. El signo de esta carga primaria puede ser positivo o negativo, aunque la mayor parte de coloides de las aguas y aguas residuales desarrollan una carga primaria negativa. El signo y magnitud de esta carga primaria es frecuentemente afectada por el pH y el contenido iónico de la fase acuosa<sup>19</sup>.

**Fuerzas de Van der Waals.** “Son responsables para la agregación de muchos sistemas coloidales. Su magnitud depende de la clase de átomos que componen las partículas coloidales y la densidad”<sup>20</sup>. Estas fuerzas, que son siempre atractivas, independientemente de las cargas de las partículas y que decrecen rápidamente con la distancia, se deben al movimiento continuo de los electrones en sus orbitas, el cual crea un campo magnético que ejerce influencia sobre los electrones de la materia circundante. Si las fuerzas eléctricas de repulsión entre las partículas, se reducen a un grado suficiente para permitir que estas establezcan contacto entre sí. Las fuerzas de Van Der Waals, determinan que las partículas se adhieran unas a otras, lo que traduce en una aglomeración progresiva de las mismas<sup>21</sup>.

**Doble capa eléctrica.** Las partículas tienen carga eléctrica pero la dispersión coloidal no tiene carga eléctrica neta, porque la carga de la partícula es equilibrada en la fase acuosa. Por lo tanto, existe una doble capa eléctrica en cada interface entre un sólido y el agua. Esta doble capa está formada por la partícula con su carga correspondiente y un conglomerado igual de iones de carga contraria que se ubican cerca de la superficie de la partícula en la fase acuosa. Para explicar este concepto se han presentado tres teorías, entre las cuales la que postuló Stern en 1924, es la que mejor explica este fenómeno. En este modelo se acepta la coexistencia de una capa adherida y una capa difusa alrededor del coloide, como se indica en la figura 2. El potencial cae rápidamente en la capa adherida y lentamente en la capa difusa. La capa adherida se denomina capa de Stern, la cual por moverse junto con la partícula se puede considerar como parte del coloide<sup>22</sup>.

---

<sup>19</sup> *Ibíd.*, p. 67-68.

<sup>20</sup> *Ibíd.*, p. 69.

<sup>21</sup> SALAZAR, Op. cit., p. 45.

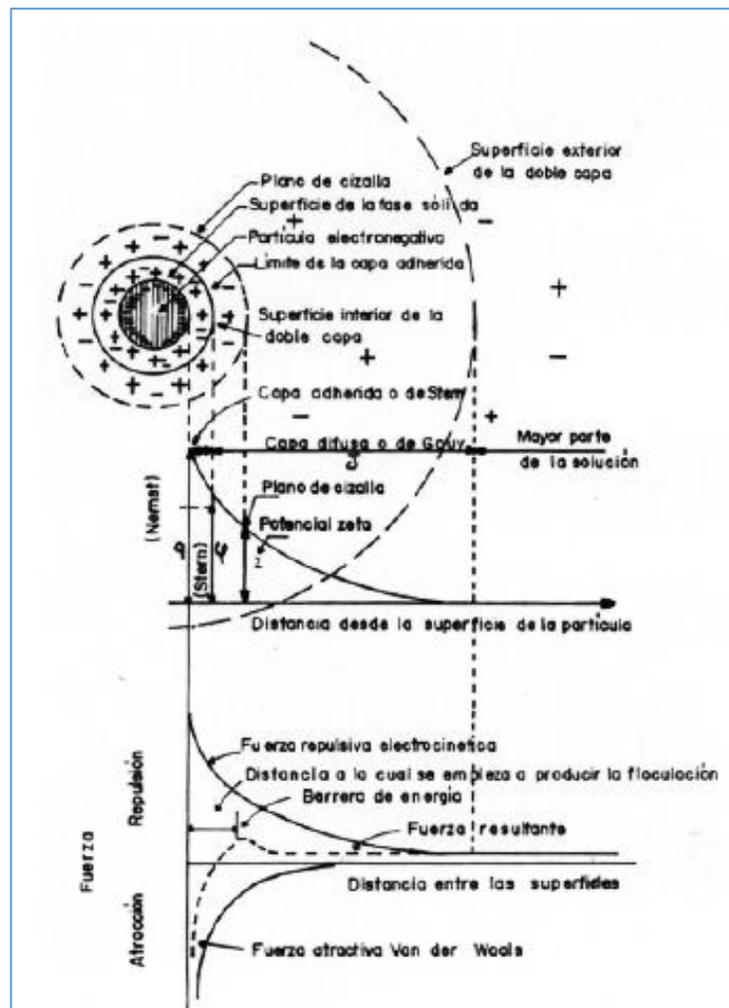
<sup>22</sup> PICADO BLANCO, Luis. Aplicación de polímeros naturales al tratamiento de potabilización del agua, Informe del Proyecto Final de Graduación, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 1984. Citado por QUIRÓS BUSTOS, Noemi, *et al.* Op. cit., p. 4.

En este modelo deben tenerse en cuenta los siguientes potenciales:

- El que existe en la superficie del coloide (potencial de Nernst)
- El que existe en el interior de la superficie de la doble capa, en donde empieza la capa difusa
- El potencial en el plano de cizalla (potencial zeta).

El plano de cizalla es el que separa del resto de la dispersión, la sección de la capa que se mueve con la partícula formando parte integral de ella; y se encuentra en algún punto entre la superficie interior y la exterior de la capa difusa. (Ver figura 2)

**Figura 2. Modelo de la doble capa eléctrica para una partícula coloidal**



Fuente: ARBOLEDA, Jorge, 2000, p. 33.

Cuando dos coloides se acercan mutuamente, dos fuerzas opuestas empiezan a operar. La fuerza electrostática debida a la carga de los coloides que los repele y la fuerza de Van der Waals que los atrae. La fuerza resultante entre estos coloides se muestra en la figura 2, como línea punteada y tiene una cresta que es llamada barrera de energía. Para que un coloide flocule, es decir, que se aglutine con otros, se requiere que las partículas se aproximen a una distancia menor que la que existe entre el centro del coloide y la barrera de energía. La ubicación de la barrera de energía varía con el pH. Los coloides se acercan a distancias menores que la de la barrera de energía cuando el potencial zeta baja hasta un punto llamado “punto isoeléctrico” ( $Z = 0$ ), lo cual sucede si se neutraliza la carga “q”, o se comprime la doble capa por incrementar la cantidad de iones en la solución<sup>23</sup>.

### 1.3 COAGULACION Y FLOCULACION

“La coagulación es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se produce al neutralizar las fuerzas que las mantienen separadas, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. El objetivo principal de la coagulación es desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para favorecer su aglomeración; en consecuencia se eliminan la materia en suspensión estable”<sup>24</sup>.

La floculación consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar. La floculación se denomina pericinética cuando es producida por el movimiento natural de las moléculas del agua y es inducida por la energía térmica (movimiento Browniano). Se denomina ortocinética cuando las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, es inducido por una energía exterior a la masa de la misma que puede ser de origen mecánico o hidráulico<sup>25</sup>.

#### 1.3.1 Factores que influyen en la coagulación:

**Valencia y capacidad de cambio.** Entre mayor sea la valencia del ion, más efectivo resulta como coagulante. La capacidad de cambio es una medida de la tendencia a remplazar cationes de baja valencia por otros de mayor valencia, provocando la desestabilización y aglomeración de partículas en forma muy rápida.

---

<sup>23</sup> QUIRÓS BUSTOS, Noemi, *et al.* Op. cit. p. 4.

<sup>24</sup> CÁRDENAS, Yolanda Andía. Tratamiento de agua: coagulación floculación. En: Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico. Lima: SEDEPAL, 2000. Curso Técnico. p. 9.

<sup>25</sup> *Ibíd.*, p. 33-34.

**Tamaño de las partículas.** Las partículas deben poseer el diámetro inferior a una micra. Las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, en cambio de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc.

**Temperatura.** La temperatura cambia el tiempo de formación del floc, entre más fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor.

**Concentración de iones H<sup>+</sup> o pH.** Para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante.

**Relación cantidad-tiempo.** La cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc.

**Alcalinidad.** La alcalinidad guarda la relación con el pH y por lo tanto, el contenido de alcalinidad del agua es uno de los factores por considerar en la coagulación<sup>26</sup>.

### 1.3.2 Factores que influyen en la floculación:

**Concentración y naturaleza de las partículas.** La velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas.

**Tiempo de detención.** La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de jarras. En la construcción, esto se puede lograr dividiendo la unidad de floculación en cámaras. Se puede decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie. Por razones de orden práctico el número de cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres unidades.

**Gradiente de velocidad.** Este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del floc. En la práctica, el gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados<sup>27</sup>.

---

<sup>26</sup> RESTREPO OSORNO, Hernán Alonso. Evaluación del Proceso de Coagulación – Floculación de una Planta de Tratamiento de Agua Potable. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Minas. Departamento de Ingeniería Química, 2009. p. 8-9.

<sup>27</sup> *Ibíd.*, p. 11.

**1.3.3 Mecanismos de la coagulación.** Diferentes coagulantes pueden llevar a cabo la coagulación o la desestabilización de los coloides por diferentes caminos. Sin embargo, según las condiciones de uso, algunos materiales pueden funcionar como coagulantes o ayudantes de coagulación, y algunos coagulantes pueden alcanzar la desestabilización coloidal por más de un método<sup>28</sup>. La definición del mecanismo depende de factores como el p H de coagulación, dosis de coagulante y las características químicas del agua a tratar.

**Coagulación por compresión de la doble capa.** Las interacciones de algunas especies de coagulante con una partícula coloidal son puramente electrostáticas; los iones de carga similar a la carga primaria del coloide son repelidos, y los contraiones son atraídos. Las otras interacciones no son significativas. Los coagulantes que actúan de esta forma particular se llaman algunas veces electrolitos indiferentes. Hardy en 1900 recopiló en la regla de Schulze-Hardy, las observaciones sobre los efectos de estos coagulantes en experimentos de laboratorio. Esta regla establece que la desestabilización de un coloide por un electrólito indiferente se lleva a cabo por iones de carga opuesta a la del coloide (contraiones), y que la eficacia a la coagulación por estos iones aumenta mucho con la carga. Por ejemplo, las concentraciones requeridas de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , y  $\text{Al}^{3+}$  para desestabilizar un coloide cargado negativamente se observa que varían aproximadamente en la proporción  $1:10^{-2}:10^{-3}$ . La desestabilización por los contraiones se lleva a cabo por la compresión de la capa difusiva que rodea a las partículas coloidales. Concentraciones elevadas de electrolito en la solución dan elevadas concentraciones de contraiones en la capa difusiva. El volumen de la capa difusiva necesario para mantener la electroneutralidad baja y por lo tanto, el espesor de la capa difusiva se reduce. El alcance de la interacción repulsiva entre partículas coloidales similares disminuye, y la barrera energética de activación puede desaparecer<sup>29</sup>.

**Coagulación por captura de un precipitado de Hidróxido metálico (Barrido).** Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un floc, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalentes como el Sulfato de Aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , o Cloruro Férrico  $\text{FeCl}_3$ , el floc está formado de moléculas de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  o de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . La presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales acelera la formación del precipitado. Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del floc; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida. En otras palabras, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante<sup>30</sup>.

---

<sup>28</sup> J, Walter y JR, Weber, Op. cit., p. 71.

<sup>29</sup> *Ibíd.*, p. 71.

<sup>30</sup> CÁRDENAS, Op. cit. p. 13.

**Coagulación por neutralización de cargas.** La carga de las partículas coloidales se produce por la ionización de grupos hidroxilo, carboxilos, fosfatos o sulfatos, los cuales pueden estar presentes en la superficie de los coloides. Estos grupos reaccionan con los iones metálicos de los coagulantes lo que genera la posterior precipitación. Así la desestabilización de los sistemas coloidales se ve mejor bajo el punto de vista químico.

Vale la pena anotar que se ha observado reestabilización de las partículas cuando se usan dosis más altas de coagulantes de aquellas con las que se obtuvo desestabilización. Esto se debe a la adsorción de cargas eléctricas. Desde el punto de vista de las fuerzas coulombicas no puede ser posible que exista una atracción de contraiones y por lo tanto, el modelo de la doble capa no permita explicar la neutralización de la carga eléctrica de la partícula<sup>31</sup>.

**Coagulación por adsorción y puente interparticular.** Tal como fue mencionado, los coagulante al entrar en contacto con el agua sufren en primer lugar una reacción de hidrólisis e inmediatamente una polimerización que consiste en la formación de largas cadenas tridimensionales con extremos activos, las cuales pueden ser adsorbidas en los sitios vacantes de absorción de los coloides existentes en la suspensión, dejando los extremos extendidos en el agua, los cuales pueden adherirse a otros coloides formando puentes, y por lo tanto ocurre la desestabilización. El mecanismo del puente interparticular es observado principalmente cuando se realiza la aplicación de polímeros como auxiliares de coagulación<sup>32</sup>.

**1.3.4 Fases de la coagulación.** El proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo). Se puede considerar que la coagulación se desarrolla en cinco fases consecutivas o simultaneas que explican las reacciones físicas y químicas, de la siguiente forma:

Primera fase: Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.

- Segunda fase: Formación de Compuestos químicos poliméricos.
- Tercera fase: Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Cuarta fase: Adsorción mutua de coloides.
- Quinta fase: Acción de barrido.

La figura 3, presenta en forma esquemática las cinco fases del proceso<sup>33</sup>.

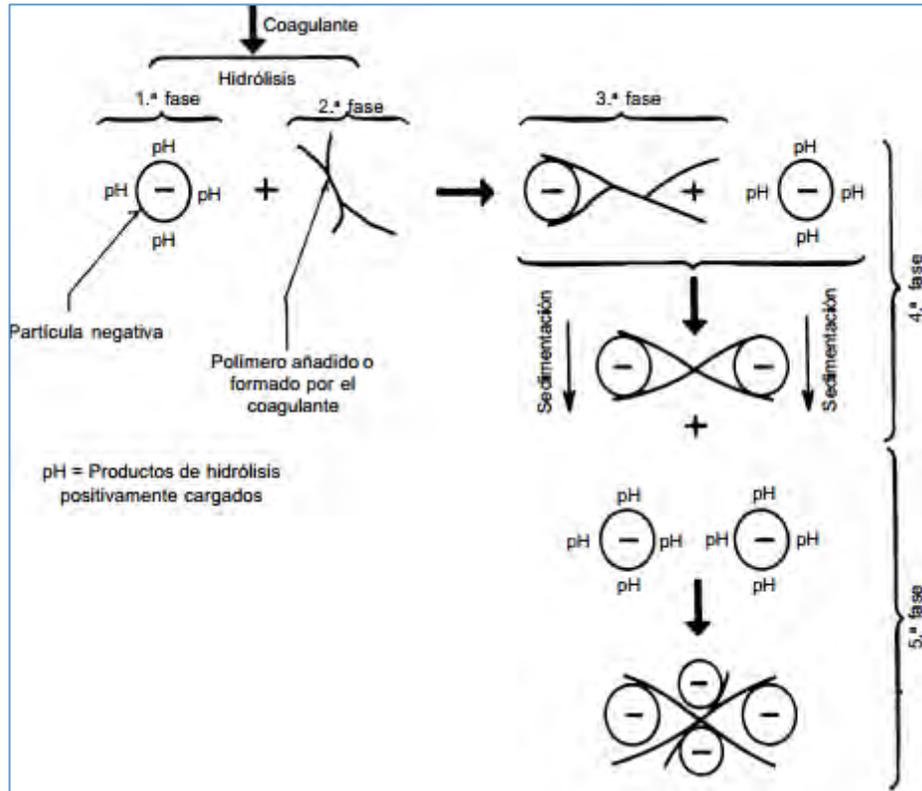
---

<sup>31</sup> GÓMEZ PUENTES, Op. cit. p. 42.

<sup>32</sup> SALAZAR, Op. cit. p. 55-56.

<sup>33</sup> CÁRDENAS, Op. cit. p. 25-26.

**Figura 3. Modelo esquemático del proceso de coagulación**



Fuente: OPS/CEPIS/PUB/, 2004, p. 196.

## 1.4 COAGULANTES EMPLEADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA

“Un polímero puede definirse como una sustancia formada de una cantidad de unidades básicas que se repiten, llamadas monómeros, unidas consecutivamente por enlaces covalentes. El grado de polimerización está dado por el número de monómeros que conforman la cadena polimérica. Un compuesto polimérico puede contener diversos tipos de unidades monoméricas en su cadena”<sup>34</sup>.

Los coagulantes se presentan en dos grupos: Los polielectrolitos o ayudantes de coagulación y los coagulantes metálicos. Ambos grupos básicamente actúan como polímeros además de la carga eléctrica que poseen. En los primeros, las cadenas poliméricas están ya formadas cuando se los agrega al agua. En segundos, la polimerización se inicia cuando se pone el coagulante en el agua, después de lo cual viene la etapa de adsorción por los coloides presentes en la fase acuosa<sup>35</sup>.

<sup>34</sup> CEPIS. Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación. Lima: Cepis, 1975. Serie documentos técnicos 2. p.2.

<sup>35</sup> ARBOLEDA, Op. cit., p. 47.

**1.4.1 Clasificación de los polielectrolitos.** Los polielectrolitos para el tratamiento del agua pueden clasificarse, según su carga en: *Catiónicos*, con carga positiva que al entrar en contacto con el agua forman aniones, que permiten remover las partículas de carga negativa y son más eficaces a pH bajo; *Aniónicos*, con carga negativa, que al entrar en contacto con el agua forman cationes, que permiten remover las partículas de carga positiva y son más eficaces a pH alto y en *No iónicos*, que son neutros, al entrar en contacto el agua forman iones positivos y negativos, Se necesitan dosis mayores en comparación con los anteriores para obtener resultados similares<sup>36</sup>.

Según su origen, los polielectrolitos se clasifican en Polímeros naturales y Polímeros sintéticos.

“Los Polímeros naturales son aquellos que se producen debido a las reacciones bioquímicas naturales en animales y plantas. Son polímeros muchas veces no tienen una sola composición química bien definida, pues están constituidos principalmente por varios tipos de polisacáridos (Almidón, celulosa, glucósidos, entre otros) y proteínas (caseína, olieratina, gelatina, entre otras)”<sup>37</sup>.

“Los polímeros sintéticos, son los compuestos orgánicos producidos mediante la transformación química del carbón y del petróleo, e incluyen a la mayoría de los polímeros de manufactura industrial que comúnmente se expanden en el comercio. Muchos se encuentran en forma de polvo seco, generalmente constituidos por poliacrilamida (no iónicos) o poliacrilamida hidrolizada (aniónicos)”<sup>38</sup>.

**1.4.2 Modo de empleo de los polielectrolitos.** “La coagulación ha sido definida como la desestabilización eléctrica de las partículas, y la floculación, como la unión de las mismas para formar el flóculo o grumulo”<sup>39</sup>. Teniendo en cuenta esta definición, los polímeros pueden ser añadidos al agua de tres maneras distintas: como coagulantes, como ayudantes de coagulación y como floculantes.

Para el primer caso, el polímero es agregado al agua como único coagulante, en remplazo del coagulante metálico. En el segundo, es agregado antes que el coagulante metálico y, en el tercero, después del mismo. Aunque existe una tendencia generalizada a no hacer distinciones entre ayudantes de coagulación y ayudantes de floculación, es probable que el mecanismo de coagulación/floculación sea diferente según se agregue el polímero antes o

---

<sup>36</sup> GUZMÁN, Luis, *et al.* Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *En:* U.D.C.A Act. & Div. Cient, 2013, no 16(1), p. 254.

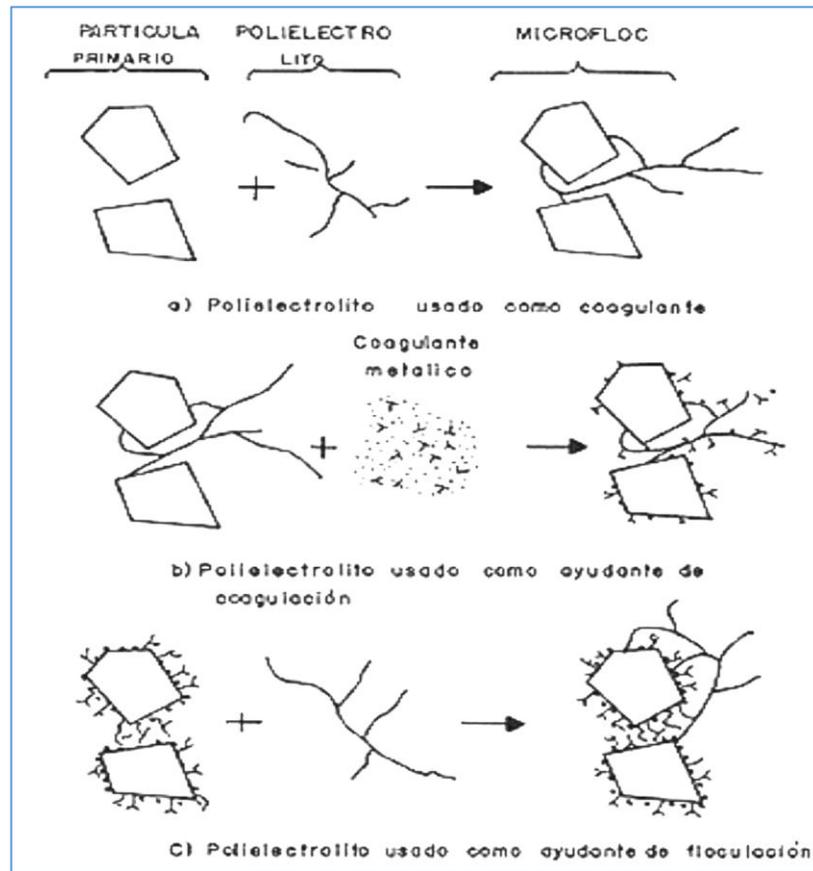
<sup>37</sup> CEPIS, *Op. cit.*, p. 2.

<sup>38</sup> *Ibíd.*

<sup>39</sup> LA MER, *et al.* Adsorption-flocculation reactions of macromolecules at the solid-liquid interface. *Rev. Pure and Appl. Chem.*, 13:112-132. 1963. Citado por CEPIS, *Op. cit.*, p. 5.

después del coagulante metálico. En la figura 4, se ilustran las tres formas de acción de los polímeros<sup>40</sup>. (Ver figura 4. )

**Figura 4. Modo de acción de los polielectrolitos**



Fuente: ARBOLEDA, Jorge, 2000, p. 51.

**1.4.3 Almidón de maíz como coagulante natural.** El Almidón es un carbohidrato importante debido a su amplio uso en la industria. La mayor fuente de obtención son los cereales en especial el Maíz. “El Maíz (*Zea mays* L) pertenece a la familia de las Gramineae, es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal. Originaria del continente americano, su cultivo se ha extendido a todo el mundo. Es usado para la fabricación de tortillas, harinas nixtamalizadas, botanas, bebidas fermentables, una gran cantidad de platillos y para el aislamiento de Almidón”<sup>41</sup>.

<sup>40</sup> CEPIS, Op. cit., p. 5.

<sup>41</sup> TOVAR BENÍTEZ, Tomas. Caracterización Morfológica y Térmica del Almidón de Maíz (*Zea mays* L) Obtenido por Diferentes Métodos de Aislamiento. Trabajo de grado Licenciado en Química de Alimentos. Pachuca de Soto, Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de ciencias básicas e ingeniería, 2008. p. 5.

Su clasificación taxonómica se presenta en la tabla 1.

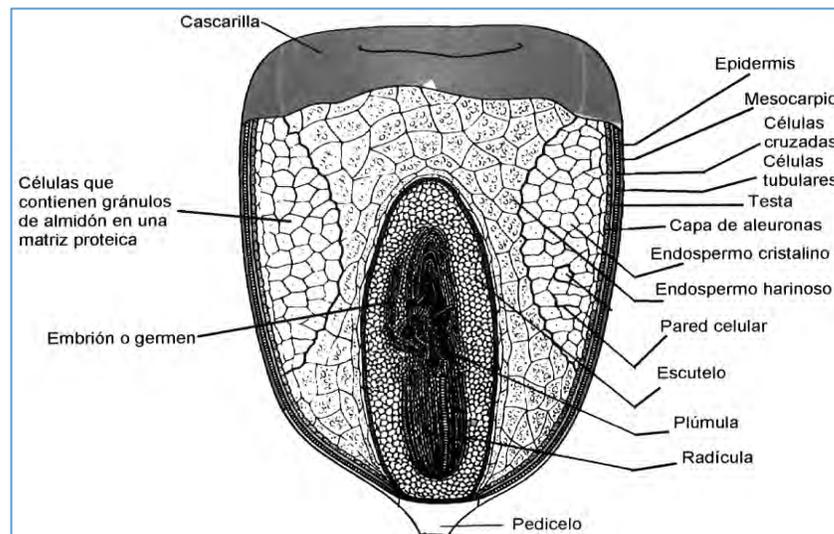
**Tabla 1. Clasificación taxonómica del maíz**

CLASIFICACION TAXONOMICA	
Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Liliopsida</i>
Subclase:	<i>Commelinidae</i>
Orden:	<i>Poales</i>
Familia:	<i>Poaceae (Gramineae)</i>
Subfamilia:	<i>Panicoideae</i>
Tribu:	<i>Andropogoneae</i>
Género:	<i>Zea</i>
Especie	<i>Z. mays</i>
Nombre científico	
<i>Zea mays</i> L	

Fuente: TOVAR, Tomas, 2008. p. 6.

“El grano de Maíz maduro, es un fruto (cariópside) compuesto por cuatro partes principales: pedicelo, pericarpio (cáscara o salvado), endospermo y germen o embrión”<sup>42</sup>. En la figura 5, se detalla su estructura:

**Figura 5. Estructura del grano de maíz**



Fuente: R, HONSENEY y JM, FAUBION, 1992.

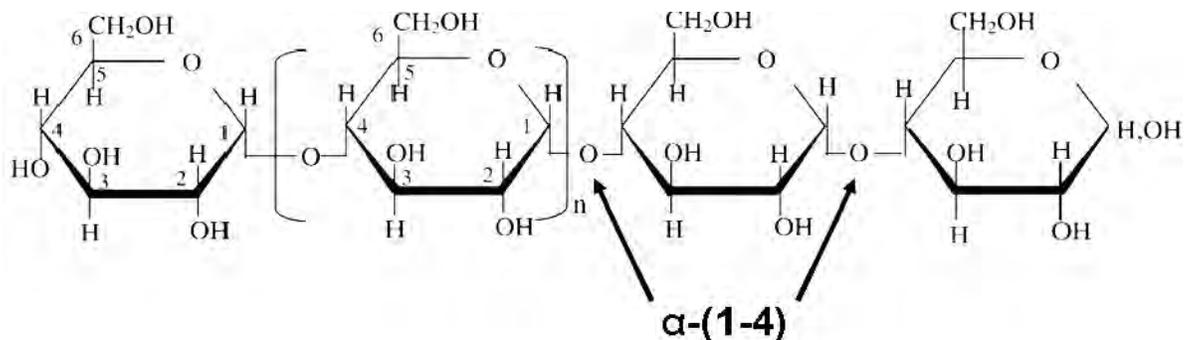
<sup>42</sup> Ibíd.

“Dentro de la composición química del Maíz, el Almidón es el principal constituyente, alcanzando niveles de 80-84% del peso total del grano en base seca. El Almidón es el principal carbohidrato de reserva sintetizado por plantas superiores, constituyendo una fuente de energía principalmente para el hombre. Uno de los procesos tradicionales para la obtención de Almidón es mediante la llamada molienda húmeda”<sup>43</sup>.

Químicamente, el Almidón consiste de una fracción lineal llamada amilosa y una fracción ramificada llamada amilopectina

**Amilosa.** “Es un polímero lineal formado por D-glucopiranosas que se encuentran unidas entre sí por enlaces  $\alpha$ -(1-4) que representan un 99% de su estructura; también se ha comprobado la presencia de ciertas ramificaciones unidas por enlaces  $\alpha$ -(1-4)”<sup>44</sup>. Dichas ramificaciones se encuentran de manera espaciada e infrecuente. En la Figura 6, se muestra su estructura.

**Figura 6. Estructura química de la amilosa**



Fuente: RF, Tester y J, Karkalas, 2002.

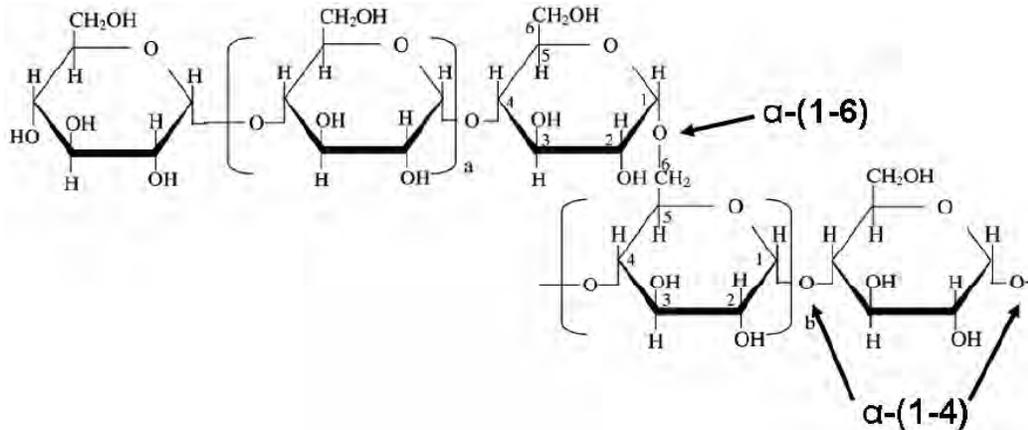
**Amilopectina.** Es un polímero semicristalino y altamente ramificado, formado por aproximadamente 595, 238 unidades de D-glucopiranosas unidas mediante enlaces  $\alpha$ -(1-4) que representan un 92-96%; con puntos de ramificación unidos mediante enlaces  $\alpha$ -(1-6) que representan un 5-6% de su estructura. Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente cada 15 o 25 unidades de D-glucopiranosas, aunque el rango puede excederse a 19 o 31 unidades dependiendo del contenido de amilosa en el Almidón<sup>45</sup>. En la figura 7, se muestra su estructura.

<sup>43</sup> TOVAR, Op. cit., p. 5-15.

<sup>44</sup> *Ibíd.*, p. 16.

<sup>45</sup> *Ibíd.*, p. 18.

**Figura 7. Estructura química de la amilopectina**



Fuente: RF, Tester y J, Karkalas, 2002.

**1.4.4 Coagulantes metálicos.** “Son los más utilizados para el tratamiento del agua cruda, poseen la capacidad de actuar como coagulantes y floculantes y, cuando son disueltos, forman compuestos complejos hidratados. Entre los más utilizados se hallan: sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico y el aluminato de sodio”<sup>46</sup>.

**Coagulación con sales de Aluminio.** “Las sales de aluminio forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas de éstas son el Sulfato de Aluminio, el Sulfato de Aluminio amoniacal y el cloruro de polialuminio. El primero es el coagulante que por su bajo costo y su manejo relativamente sencillo se usa con mayor frecuencia en las plantas de tratamiento de agua potable”<sup>47</sup>.

“El Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ , es una sal derivada de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por lo que sus soluciones acuosas son muy ácidas; su pH varía entre 2 y 3,8, según la relación molar sulfato/alúmina. Por esta razón, su almacenamiento debe hacerse en un lugar seco, libre de humedad. Es necesario tener en cuenta esta tendencia ácida para la preparación de las soluciones y los empaques para su distribución, y emplear, por lo general, materiales de plástico”<sup>48</sup>.

- **Química de coagulación con el sulfato de aluminio.** Cuando el Sulfato de Aluminio está en solución se encuentra hidrolizado, esto es, asociado con el agua, así:  $Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightarrow [Al(H_2O)]^{+++} + 3SO_4^-$

<sup>46</sup> GUZMÁN, Op. cit. p. 254.

<sup>47</sup> ARBOLEDA, Op. cit., p. 51.

<sup>48</sup> OPS/CEPIS/PUB/. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Tomo I. Lima, 2004. p. 175-175.

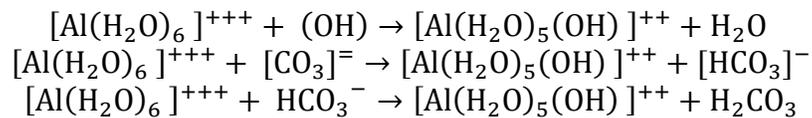
En realidad, esta es una propiedad común con todos los cationes metálicos, que no pueden permanecer aislados cuando están rodeados de moléculas de agua.

Los iones de aluminio hidratados actúan como un ácido en el sentido Brönsted y reaccionan, por tanto, con las bases que encuentran en el agua, así:

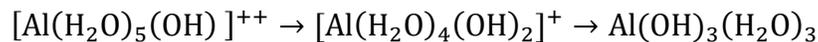
Con la alcalinidad, que se expresa como:  $(OH)^-$ ,  $(CO_3)^{=}$ ,  $(HCO_3)^-$   
 Con las moléculas de agua  $H_2O$ .

Como las bases que constituyen la alcalinidad son más frecuentes que el  $H_2O$ , el  $[Al(H_2O)_6]^{+++}$  reaccionará siempre antes con ellas, que con la molécula de agua. Por tanto, habrá un consumo y un descenso del pH<sup>49</sup>.

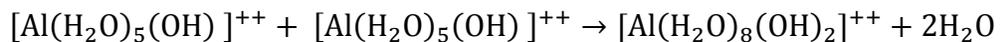
• **Reacciones con la alcalinidad.** Las reacciones con la alcalinidad, desde el punto de vista de la teoría de ácidos y bases, ocurren con más facilidad que las reacciones con el  $H_2O$ . Pueden expresarse en la forma siguiente:



El  $Al(H_2O)_5(OH)^{++}$  es un compuesto inestable y transitorio que se hidroliza rápidamente, reemplazando un  $H_2O$  por un  $(OH)^-$ . Así:



El producto final es un hidróxido de aluminio insoluble que precipita a ciertos pH y que puede no tener carga o tenerla negativa  $Al(OH)_4^-$ . De acuerdo con Stumm y Morgan (1962), las especies monoméricas, esto es, que contienen un solo ión de aluminio, se polimerizan reaccionando entre sí:



Estas reacciones de polimerización continúan con el tiempo, formando compuestos tales como  $Al_6(OH)_{15}^{3-}$ ,  $Al_8(OH)_{20}^{4+}$  y, finalmente,  $Al(OH)_3(H_2O)_3$  ó  $[Al(OH)_4]^-$  según el pH.

Tanto los iones de aluminio hidratados como los compuestos poliméricos pueden ser adsorbidos rápidamente por las partículas del agua, produciendo su desestabilización. Los hidróxidos de aluminio son, en cambio, menos efectivos como coagulantes<sup>50</sup>.

<sup>49</sup> ARBOLEDA, Op. cit., p. 51-52.

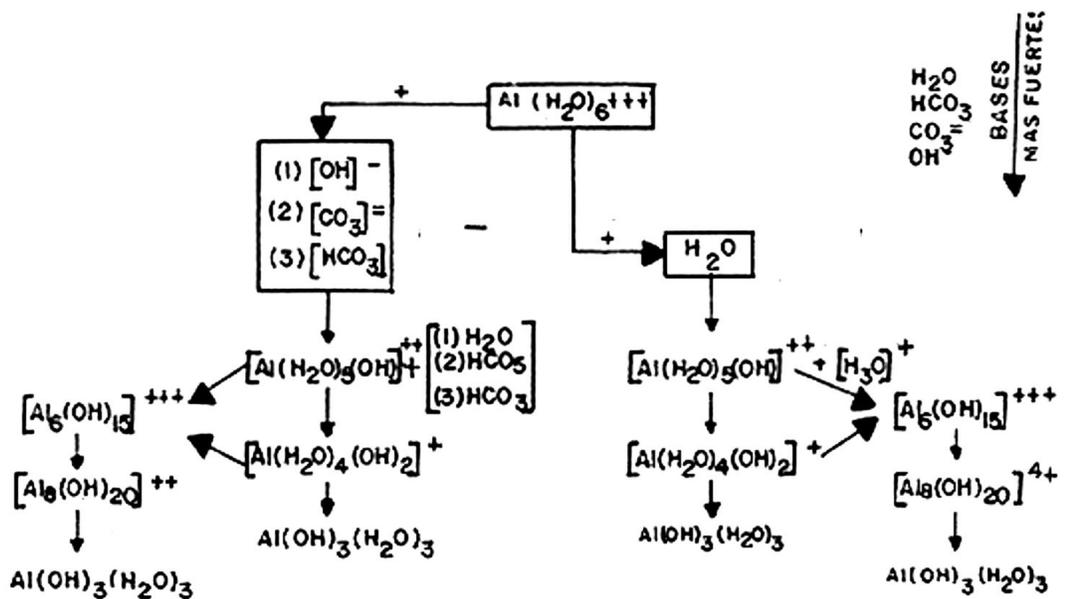
<sup>50</sup> *Ibíd.*, p. 52.

- **Reacciones con la agua.** Cuando toda la alcalinidad se consume (si se consume), el ión de aluminio hidratado reacciona con el agua, que es una base débil:



Como en el caso anterior  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})]^{++}$  es considerado como un compuesto transitorio, que se hidroliza para producir hidróxidos de aluminio, y que se combina para producir compuestos poliméricos hasta llegar al  $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_3$  neutro o  $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$  negativo. (Ver Figura 8) <sup>51</sup>.

**Figura 8. Productos de hidrólisis formados por la reacción del ion de aluminio con el agua y la alcalinidad**



Fuente: ARBOLEDA, Jorge, 2000. p. 53.

**1.4.5 Evaluación de coagulantes mediante el Ensayo de Jarras.** El Ensayo de Jarras se efectúa para determinar los productos químicos, las dosificaciones, y las condiciones requeridas para lograr resultados óptimos. Entre las variables principales por investigar utilizando el procedimiento recomendado están: Aditivos químicos, pH, Temperatura, y Orden de adición y condiciones de mezcla <sup>52</sup>.

<sup>51</sup> *Ibíd.*, p. 52.

<sup>52</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Gestión ambiental. Agua. Procedimiento para el método de jarras en la coagulación-floculación del agua. NTC 3903. Bogotá D.C.: El instituto, 2001. 9 p.

## **2. MATERIALES Y METODOS**

El desarrollo de este trabajo se efectuó en tres etapas, primero, una fase de campo que tiene que ver con la obtención del coagulante a emplear en el tratamiento, donde se realizó la compra y caracterización de la materia prima, Maíz blanco (*Zea mays* L), en la zona de comercialización de granos al sur de la Ciudad Pasto, esta materia prima se sometió a un proceso Químico para la extracción del Almidón y empleando un método de gelatinización se logró producir el coagulante natural; la segunda fase tiene que ver con la toma de muestras y la caracterización físico-química y microbiológica del agua tomada de la Quebrada Vuelta Larga, ubicada en el kilómetro cinco de la vía que comunica a la ciudad de San Juan de Pasto con el corregimiento de Genoy; por último, se realizó una fase de laboratorio donde se desarrollaron una serie de experimentos con el fin de estudiar y evaluar al Almidón de Maíz en el proceso de coagulación; así mismo, se utilizó el Sulfato de Aluminio como coagulante convencional, con el fin de comparar la eficiencia en la remoción de color y turbiedad entre estos dos coagulantes.

### **2.1 OBTENCIÓN Y VALORACIÓN DEL COAGULANTE NATURAL A PARTIR DEL ALMIDÓN DE MAÍZ**

**2.1.1 Compra y caracterización del maíz blanco.** En el desarrollo de este estudio se identificaron zonas comercializadoras de Maíz blanco en la ciudad de Pasto. Para la selección de este sitio se tuvieron en cuenta parámetros como calidad y costo de adquisición. De esta manera se compraron 3kg de Maíz por un costo de \$1500 por kilogramo, en la zona de comercialización de granos al sur de la ciudad, en el Barrio las Lunas; este grano tiene procedencia del sur del Departamento de Nariño, de municipios como Iles, Ospina y Tuquerres. Se tomaron 300 gramos de la muestra para su posterior caracterización cualitativa en la Asociación para el Desarrollo campesino ADC de San Juan de Pasto, utilizando un indicador de muestras de maíces criollos cultivados en diferentes regiones del departamento. (Ver Figura 9).

**Figura 9. Indicador, para determinar visualmente la variedad del maíz**



Foto: Jiménez, D y Piscal, B. Fuente: Asociación para el Desarrollo campesino (ADC)

Por otra parte, se tomó 800 gramos de harina de Maíz obtenida por un proceso de molienda, esta muestra se envió a los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño, para determinar la composición química del este grano, por medio de estudios bromatológicos.

**2.1.2 Extracción del almidón de maíz.** Para la extracción del Almidón de Maíz se aplicó el protocolo de L, Wang y YJ, Wang (2001)<sup>53</sup>, modificando la cantidad de harina de Maíz, de reactivos y las revoluciones de centrifugación de la siguiente manera: inicialmente, para eliminar restos del pericarpio, es decir, residuos de la capa exterior dura y fibrosa que encierra al grano, presentes en la harina de Maíz, ésta se tamizo por la malla 100 (0.150mm), hasta obtener 500 gramos; esta cantidad se remojó en 1000 ml de NaOH al 0.1% durante 24 h. Después de este tiempo la harina húmeda se molió en una licuadora casera a máxima velocidad por 2 minutos. La suspensión se tamizó en mallas 100 (0.150mm) y 200 (0.075mm) U.S., los residuos se lavaron con agua destilada hasta que el líquido obtenido presentó un color transparente, es decir hasta que el líquido de salida no presentaba aparentemente residuos de Almidón. La suspensión obtenida se centrifugó en una ultracentrífuga Universal 320 a 7000 rpm por 20 minutos y se descartó el sobrenadante en cada uno de los tubos de centrifuga donde fue visible la formación dos fases sólidas, la superior de color gris (compuesta por proteína,

<sup>53</sup> L, Wang y YJ, Wang. Comparison of protease digestion at neutral pH with alkaline steeping method for rice starch isolation. *Cereal Chem* 78: 690-692. 2001. Citado por TOVAR, Op. cit., p. 38-39.

lípidos y gránulos de Almidón pequeños que no alcanzaron a separarse) y la inferior de color blanco (Almidón), la cual se re suspendió en agua destilada.

El Almidón obtenido en medio acuoso, presentó un pH de 7.77 y una temperatura de 19.3°C; fue necesario su neutralización con HCl a 1.0 M hasta alcanzar un pH final de 6.5; para ello se gastó 5.62 ml de HCl. El Almidón neutralizado se lavó con agua destilada tres veces y nuevamente se centrifugó bajo las condiciones ya mencionadas. Finalmente, el Almidón se secó en una estufa con recirculación de aire a 40-43 °C por 24 h, para su posterior pesaje y almacenamiento en un frasco hermético.

Se determinó el porcentaje de rendimiento obtenido de Almidón, según la expresión:

$$\%Rendimiento = \frac{P_{am}}{P_{hm}} * 100 \quad (1)$$

Dónde:

*P<sub>hm</sub>*: Peso de la harina de Maíz (gr)

*P<sub>am</sub>*: Peso del Almidón de Maíz obtenido Experimentalmente (gr)

El rendimiento obtenido en el proceso se verificó con los resultados obtenidos en el estudio bromatológico.

**2.1.2.1 Reconocimiento del almidón de maíz como carbohidrato, con la prueba de Molish y Lugol.** Para garantizar que el Almidón obtenido es un carbohidrato de buena calidad, éste se sometió a la prueba de Molish y Lugol.

La prueba de Molish se llevó a cabo de la siguiente manera: se preparó una disolución en un tubo de ensayo agregando 1 gramo del Almidón en un mililitro de agua destilada; seguidamente, se agregó 3 gotas del reactivo de Molish y se agitó, luego de esto, se adicionó 1 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> donde se observó la formación de un anillo color violeta.

La prueba de Lugol se realizó en un tubo de ensayo, en el cual, se agregó 1 gramo del Almidón en un mililitro de agua destilada para preparar la solución, posteriormente, se adicionó 2 gotas del reactivo de Lugol y se agitó. En este proceso, se observó la formación de una coloración azul oscura. (Ver Anexo fotográfico 1.1).

**2.1.3 Preparación de la suspensión de Almidón a emplear en el proceso de coagulación.** Para el desarrollo de ésta actividad se preparó una concentración al 2% que es la cantidad estándar a que se emplea el Sulfato de Aluminio en el tratamiento de agua cruda, esto con el fin de hacer una correcta comparación entre estos dos coagulantes en el proceso de coagulación.

Para preparar la suspensión de Almidón, se aplicó el protocolo de Jose Roberto y Luiz Di Bernardo<sup>54</sup>, donde se describen dos métodos para gelatinizar el Almidón, estos son la gelatinización con soda cáustica en frío y la gelatinización en caliente; en esta investigación se empleó la gelatinización con soda cáustica en frío, por el hecho de no exigir sistema especial de calentamiento.

**2.1.3.1 Preparación de la suspensión de almidón en frío.** El Almidón obtenido según el ítem 2.1.2, se sometió a un procedimiento de gelatinización en frío, donde se agregó 2000mg de éste, en un beaker de 250 ml. Posteriormente, se adicionó cerca de 10 a 20 ml de agua destilada para inducir la disolución del Almidón; se agregó lentamente 400mg de soda cáustica (NaOH) (previamente diluida en 4 a 8 ml de agua destilada) y se efectuó la mezcla mediante agitación con una varilla de vidrio, hasta obtener una perfecta homogenización tras sucesivos lavados del beaker con agua destilada. Se vertió la suspensión preparada a un balón volumétrico, que permitió completar con precisión un volumen de 100ml, con el fin de establecer una concentración de 20000 ppm (2%). Esta solución se dejó en reposo por cerca de una hora para completar la disolución. (Ver Anexo fotográfico 1.2).

## **2.2 TOMA DE MUESTRAS Y CARACTERIZACION DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA A TRATAR**

Para el desarrollo de este estudio se tomó como fuente a tratar, el agua cruda de la Quebrada Vuelta Larga en la Ciudad de San Juan de Pasto, teniendo en cuenta consideraciones como el grado de contaminación y en especial la facilidad de acceso a la misma para la toma de muestras. La figura 10, muestra la ubicación de esta fuente.

---

<sup>54</sup> CAMPOS, Roberto José y DI BERNARDO, Luiz. El Almidón como auxiliar. En: Uso de Polímeros Naturales en el Tratamiento de Agua para Abastecimiento. [s.n.] Cali: CINARA, 1991. p. 40-41.

**Figura 10. Ubicación de la quebrada Vuelta Larga**



Fuente (a): Coorponariño (Subdirección para la intervención de la sostenibilidad ambiental-SISA).  
Foto (b): Jiménez, D y Piscal, B.

Aunque existe poca información de esta fuente, la Quebrada Vuelta Larga, se ubica en las coordenadas 1° 14' 50,7'' N y 77° 19' 16,7'' W, tiene una longitud a aproximada de 5.37 km y es un afluente del río Pasto. Se la puede considerar como microcuenca de segundo orden<sup>55</sup>.

La toma de muestras para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, se realizó aproximadamente a 1.5 metros de la orilla, teniendo en cuenta los protocolos establecidos por laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.

**2.2.1 Toma de muestras para análisis microbiológico.** La toma de muestras para análisis microbiológico se realizó colectando la muestra en un frasco de vidrio esterilizado sumergiéndolo en posición invertida, destapándolo en el fondo y dándole la vuelta en sentido contrario a la corriente del río. (Ver Anexo fotográfico 1.3.1).

**2.2.2 Toma de muestras para análisis fisicoquímicos.** Esta toma de muestras se realizó llenando 2 frascos plásticos de 2 litros previamente purgados 3 veces con el agua de la quebrada. Esta toma de muestras se hace a 5 cm de profundidad. (Ver Anexo fotográfico 1.3.2).

**2.2.3 Toma de muestras para análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).** La toma de muestras para análisis de oxígeno disuelto se realizó sumergiendo un winkler de 300ml, dejando que se llene totalmente y evitando que la muestra entre de manera brusca para impedir alteraciones de la presencia del oxígeno disuelto. A la muestra recolectada, se le adicionó un reactivo uno, y luego agregar el reactivo 2, con el fin de mantener buenas condiciones de almacenamiento de la misma. (Ver Anexo fotográfico 1.3.3).

Las muestras anteriormente mencionadas se refrigeraron a 4 °C en una nevera portátil y se llevaron a la dependencia de análisis de aguas de los laboratorios especializados en la Universidad de Nariño en un tiempo no mayor a 60 minutos para su posterior análisis.

**2.2.4 Toma de muestras de la fuente para el Ensayo de Jarras.** Para el Ensayo de Jarras, la toma de muestras se realizó en el mismo punto de muestreo, recolectando 105 litros de agua en 3 garrafones de 35 litros cada uno, asegurando la homogeneidad de muestras en todos los recipientes. Posteriormente, se llevaron al laboratorio de Hidráulica de la Universidad de

---

<sup>55</sup> CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO. CORPONARIÑO. Subdirección para la intervención de la sostenibilidad ambiental-SISA. San Juan de Pasto.

Nariño para determinar parámetros físicos como color y turbiedad y parámetros químicos como p H y alcalinidad. (Ver Anexo fotográfico 1.3.4).

## **2.3 DESARROLLO DE PRUEBAS DE TRATABILIDAD – ENSAYO DE JARRAS EMPLEANDO EL ALMIDÓN DE MAÍZ COMO COAGULANTE NATURAL Y EL SULFATO DE ALUMINIO $Al_2(SO_4)_3$ COMO COAGULANTE CONVENCIONAL.**

**2.3.1 Procedimiento de laboratorio y toma de datos.** Para el desarrollo de este proceso, se utilizó el protocolo descrito en la Guía experimental “Determinación de la dosis óptima de coagulante” del laboratorio de hidráulica de la Universidad de Nariño<sup>56</sup> de la siguiente manera: inicialmente, las muestras de agua a tratar se homogenizaron en un tanque de 100 Litros, con el fin de que la turbiedad y el color no se alteren y se mantengan constantes; posteriormente, se determinó los parámetros iniciales de la muestra de agua, como turbiedad, color aparente, alcalinidad total, pH y temperatura; valores que corresponden a  $30 \pm 5$  NTU,  $95 \pm 5$  UPC,  $25 \pm 2$  mg/l de  $CaCO_3$ ,  $8 \pm 1$  y  $17 \pm 1$  °C, respectivamente. Se verificó que el pH y la alcalinidad estén dentro de los valores necesarios para un tratamiento óptimo, en este caso, el valor de la alcalinidad es suficiente para efectos de neutralización del Sulfato de Aluminio. El Almidón de Maíz, al no tener un patrón de comparación relacionado con la alcalinidad, indica que no es necesario realizar ajustes a estos parámetros.

De la suspensión de Almidón preparada según lo descrito en el ítem 2.1.3, se seleccionó un rango de dosis aproximadas según el Protocolo de Rodríguez *et al.*<sup>57</sup>, que corresponden a 5, 10, 20, 30, 40, 50 mg/l. La transformación a volumen de dichas dosis se calculó aplicando la siguiente Fórmula:

$$V1 = \frac{C2*V2}{C1} \quad (2)$$

Dónde:

C1: Concentración inicial o de la muestra patrón 20000 (mg/l)

C2: Concentración final o de las respectivas dosis a emplear (mg/l)

V1: Volumen inicial correspondiente a la dosis a aplicar (mg/l)

V2: Volumen final correspondiente al volumen de la jarra donde se diluyen las dosis 2000 (ml).

Para medir y manipular fácilmente estas dosis, se utilizó 6 jeringas comerciales de diferentes capacidades y escalas.

---

<sup>56</sup> UNIVERSIDAD DE NARIÑO. Guía: Ensayo de prueba de Jarras. Determinación de dosis óptima de coagulante, 2014.

<sup>57</sup> RODRIGUEZ et al. Op. cit. p. 12.

Se procedió a preparar el Equipo de Jarras Y-FL6, que tiene las siguientes características: Dimensiones: 1.03 metros de largo, 37 cm de alto y 25 cm de ancho; altura libre para vasos de prueba de 22 cm; control digital por teclado, con pantalla numérica LCD; varillas agitadoras de acero inoxidable, con especificaciones AISI 304 y un sistema de iluminación fluorescente. Dicho equipo se muestra en la fotografía 9 del Anexo 1.4.

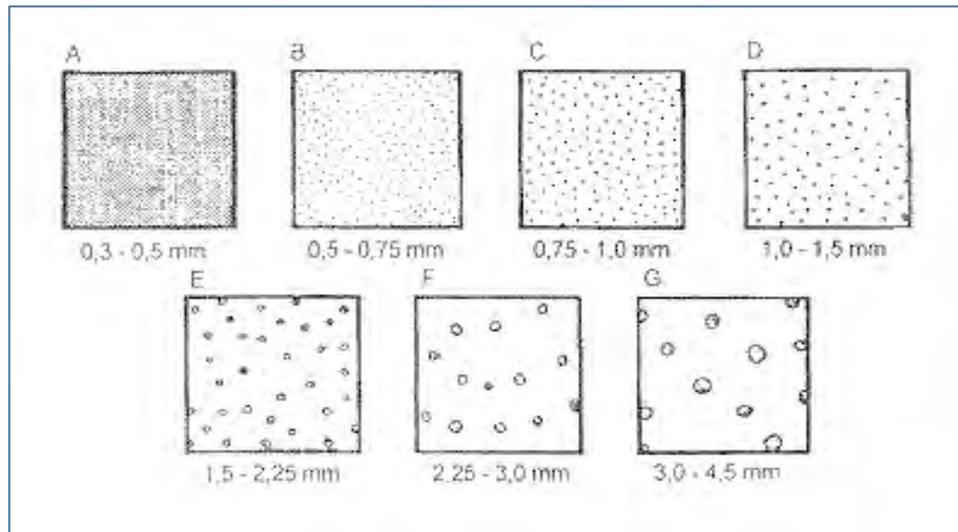
Se colocó en cada uno de los seis vasos 2 litros exactos de la muestra de agua, aforados con una probeta graduada. Este montaje se complementó bajando las aspás del equipo de tal manera que estas queden centradas en las respectivas jarras, con el fin de garantizar una mezcla homogénea, finalmente se programó el tiempo y revoluciones para mezcla rápida de 30 segundos y 300 rpm; para mezcla lenta de 20 minutos y 24 rpm; para la sedimentación se tomó un tiempo de 30 min, valores óptimos que garantizan la formación estable de los flocs, en base a un ensayo previo, y según el protocolo de Rodríguez *et al.* Con las revoluciones óptimas y la temperatura del agua, se procedió a calcular los gradientes de velocidad (en  $\text{seg}^{-1}$ ) para mezcla rápida y mezcla lenta, según el gráfico de gradientes, que está en función de las características mecánicas del Equipo de Jarras. Se programó los tiempos y revoluciones, digitando los respectivos valores en el tablero numérico. Posteriormente, se inyectaron las diferentes dosis en cada jarra, asegurando que el tiempo de aplicación sea el mismo para cada una de ellas, con el fin de garantizar que el proceso cumpla con las condiciones establecidas; aplicadas las dosis, se procedió a hacer una observación cualitativa en los dos procesos registrando el tiempo de formación del floc, tamaño y calidad del mismo, según el índice de floculación de Willcomb (Ver Tabla 2) y el comparador de Water Research Institute de Inglaterra (Ver Figura 11). (Ver tabla 2.)

**Tabla 2. Índice de floculación de Willcomb**

Número del Índice	Descripción	Observación
0	No visible	Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación
2	Visible	Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador entrenado
4	Disperso	Floc bien formado pero uniformemente distribuido, sedimenta muy lentamente o no sedimenta
6	Claro	Floc de tamaño relativamente grande, precipita con lentitud
8	Bueno	Floc bueno, que se deposita fácil pero no completamente
10	Excelente	Floc muy bueno, se deposita totalmente, dejando el agua cristalina

Fuente: Guía de Laboratorio, Ensayo Prueba de Jarras, 2014

**Figura 11. Comparador para estimar el tamaño del floculo producido en la coagulación según WaterResearchInstitute de Inglaterra**



Fuente: Guía de Laboratorio, Ensayo Prueba de Jarras, 2014

Al finalizar las etapas de coagulación y floculación, se dio inicio al proceso de sedimentación por 30 minutos, para finalmente extraer 200 ml de la muestra en recipientes plásticos, por medio de una manguera (previamente purgada) a 5 cm debajo del nivel del agua; teniendo cuidado de no resuspender las partículas del sedimento. Se describió visualmente el sobrenadante, en base a la tabla 3. (Ver tabla 3.)

**Tabla 3. Descripción del sobrenadante**

Número	Observación
2	Poco claro con flóculos en la solución. No separación
3	Medio claro
4	Muy claro y pocos flóculos en la solución (claros)
5	Muy claro, ligeramente más flóculos en la solución
1	Transparente, sedimenta rápido al inicio; estable

Fuente: Guía del Laboratorio, Ensayo Prueba de Jarras, 2014

Realizado el procedimiento se tomó los valores finales de pH, alcalinidad, temperatura, color y turbiedad residual, medidos después de tratar el agua.

Por último, las muestras extraídas, en los respectivos recipientes plásticos, se filtraron por medio de embudos de vidrio en los cuales se colocó círculos de papel filtro grado 391, marca Munktell. Las muestras de agua filtrada se recolectaron en Erlenmeyers de 250 ml, para la posterior medición de color y turbiedad residuales (filtrado).

El procedimiento anterior se lo repitió variando los rangos de las dosis aplicadas, en base a la dosis que presentó los mejores resultados de remoción de color y turbiedad; con esto se llegó a un rango óptimo de dosis, descrito en el ítem 2.3.3. Rango con el cuál se obtienen parámetros fisicoquímicos, que se acerquen a los valores máximos aceptados por la norma colombiana de calidad de agua potable según el Decreto 1575/2007 (Ver Tabla 4).

En el Anexo 1.4, se muestra el registro fotográfico referente a la parte experimental con el Ensayo de Jarras. (Ver tabla 4.)

**Tabla 4. Valores máximos admisibles de los parámetros de calidad de agua estudiados**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor máximo admisible</b>
Alcalinidad tota (ml de CaCO <sub>3</sub> )	200
Color (UPC)	15
pH	6.5 - 9
Turbiedad (NTU)	2

Fuente: Norma colombiana de calidad de agua potable, Decreto 1575/2007

### **2.3.2 Determinación de parámetros físicos y químicos**

**2.3.2.1 Turbiedad.** La determinación de la turbiedad inicial de la muestra previamente homogenizada, se hizo tomando 20ml de la misma en una celda de vidrio, que posteriormente se colocó en el turbidímetro, previamente calibrado con un blanco a 0,02 NTU. Este equipo tiene las siguientes características. Marca: Hf, Scientific, Inc. Modelo: Turbidímetro DTR 100B y Serie: 19798. Así mismo, se determinó la turbiedad residual, finalizado el proceso de tratabilidad, tomando 20 ml de cada una de las jarras.

En la fotografía 4 (c) en el Anexo 1.4, se muestra el equipo empleado en el ensayo.

El cálculo del porcentaje de remoción de turbiedad se determina mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez Final}}{\text{Turbidez Inicial}} * 100 \quad (3)$$

Dónde:

*Turbidez Inicial*: Es la turbiedad residual y filtrada de la muestra homogenizada (NTU).

*Turbidez Final*: Es la turbiedad residual y filtrada, medida después de someterse al proceso de coagulación y filtración, respectivamente (NTU).

**2.3.2.2 Color.** La determinación del color aparente y Verdadero de la muestra previamente homogenizada se hizo, tomando 10ml de la misma en una celda de vidrio, la cual se llevó al colorímetro, previamente calibrado. Este equipo tiene las siguientes características: Marca: HACH. Modelo: Colorímetro DR/700. Serie: 18073.

La calibración del equipo se hizo con un blanco de 0.000 Abs, determinando así 5 absorbancias y sacando un promedio de las mismas (PromAbs).

Para determinar el valor resultante de color en UPC, según la siguiente expresión:

$$\text{Color} = -0.476 + (1835.65 * \text{PromAbs}) \quad (4)$$

Dónde:

*PromAbs*: Es la Absorbancia promedio.

Se determinó el color residual una vez finalizado el proceso de tratabilidad (coagulación, floculación y sedimentación), tomando 20 ml de cada una de las jarras, en las celdas de vidrio; y el color residual filtrado, que corresponde a la medición del mismo, después del proceso de filtración.

En la fotografía 4 (a) en el Anexo 1.4, se muestra el equipo empleado en el laboratorio.

El cálculo del porcentaje de remoción de color se determina mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{\text{Color inicial} - \text{Color Final}}{\text{Color Inicial}} * 100 \quad (5)$$

Dónde:

*Color Inicial:* Es el color residual y filtrado de la muestra homogenizada (UPC)

*Color Final:* Es el color residual y filtrado, después de someterse al proceso de coagulación y filtración, respectivamente (UPC).

**2.3.2.3 Alcalinidad.** Se determinó la alcalinidad inicial de la muestra previamente homogenizada, tomando 50 ml de la misma en un Erlenmeyer de 250 ml, posteriormente, se agregó 3 gotas de fenolftaleína a pH 8,3 y 3 gotas de indicador mixto de tashiro a pH 3,7 agitando la muestra levemente, formándose de esta manera una coloración azul clara en la misma. Se procedió a titular con ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 0,02 N, por medio de un equipo de titulación, que consta de una bureta de 10 ml con una precisión de 0.05 ml, hasta observar el cambio de coloración de la muestra inmediatamente a un color pardo rojizo translucido. Se procedió a registrar la cantidad de ácido requerida, con el cual se determina la alcalinidad total del agua en mg/l de CaCO<sub>3</sub>, mediante la siguiente expresión:

$$\text{Alcalinidad}(\text{mg CaCO}_3/\text{L}) = \frac{\text{mL de H}_2\text{SO}_4 * \text{N} * 50000}{\text{mL de muestra utilizada}} \quad (5)$$

Dónde:

*N:* Es la normalidad del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para este caso de 0.02 (N).

La Alcalinidad también se determinó para el agua tratada.

En la fotografía 8 del Anexo 1.4, se muestra la medición de dicho parámetro en el laboratorio.

**2.3.2.4 pH y temperatura.** La determinación de estos parámetros se realizó a la muestra de agua cruda antes de someterla al proceso de jarras, y al agua tratada, extrayendo 250 ml de cada jarra en 6 recipientes plásticos previamente numerados de 1 a 6, según el orden de las jarras. Estas muestras se llevaron al pHmetro, que tiene las siguientes características: Marca: JENWAY. Modelo: 3020 pH meter. Serie: 19788. Este equipo mide el pH y la temperatura del agua por medio de 2 electrodos adaptados al mismo.

En la fotografía 4 (b) del Anexo 1.4, se muestra el equipo empleado en esta medición.

**2.3.3 Determinación del rango óptimo del proceso de tratabilidad por medio del Ensayo de Jarras.** Se obtuvo un rango óptimo comprendido por las dosis de 5, 6, 7, 8, 9 y 10 mg/l, cada una de ellas, aplicada en su respectiva jarra. Estas dosis, presentaron los mejores resultados en la remoción de color y turbiedad. Con este rango, se realizó 2 ensayos adicionales, para tener así un total de 3 corridas, con el fin de realizar un correcto análisis estadístico; así mismo, se lo empleó como base en la aplicación y evaluación del Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  como coagulante convencional, preparado a la misma concentración que el Almidón (2% o 20000mg/l); con el fin de hacer una comparación válida entre los dos coagulantes.

**2.3.4 Determinación de la dosis óptima del proceso de tratabilidad por medio de curvas esquemáticas de remoción de color y turbiedad.** Con los valores de color y turbiedad, obtenidos después del proceso de tratamiento en la prueba de jarras, expresados en porcentaje de remoción como en sus respectivas unidades, del rango óptimo; se procedió a realizar un análisis de resultados, por medio de un diseño experimental Multifactorial categórico, descrito en el ítem 2.4, y con ello graficar las curvas esquemáticas de remoción en función de las dosis correspondientes, con fin de realizar un análisis detallado a cada una de ellas y así determinar la dosis óptima del proceso, es decir, la dosis que produce los mejores resultados de remoción de color y turbiedad.

## **2.4 MÉTODO ESTADÍSTICO**

Para evaluar la eficiencia en la remoción de color y turbiedad entre el Almidón de Maíz y el Sulfato de Aluminio, se aplicó el Diseño experimental Multifactorial Categórico, que consta de 2 factores experimentales. El Factor 1 corresponde a los coagulantes a emplear, compuesto por 2 niveles que son el Almidón de Maíz y el Sulfato de Aluminio; y el Factor 2 corresponde a las dosis de coagulante, conformado por 6 niveles que hacen referencia a las dosis de 5, 6, 7, 8, 9, 10 mg/l del rango óptimo, encontrado según el ítem 2.3.3, en el laboratorio. Para el procesamiento de datos y análisis de resultados, se utilizó el software *Statgraphics Centurion Versión XVI.I*. Como variables de respuesta se tuvo en cuenta, para el color: el valor de color residual (UPC), el porcentaje de remoción de color residual (%), el valor del color residual filtrado (UPC) y el porcentaje de remoción de color residual filtrado (%). Para la turbiedad: el valor de turbiedad residual (NTU), el porcentaje de remoción de turbiedad residual (%), el valor de turbiedad residual filtrada (NTU) y el porcentaje de remoción de turbiedad residual filtrada (%).

De acuerdo con lo anterior y con los gráficos de iteraciones, obtenidos en el Software *Statgraphics Centurion Versión XVI.I*, se determinó si existen diferencias estadísticamente significativas en la remoción de color y turbiedad para los dos coagulantes.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 ALMIDÓN EXTRAÍDO DEL MAÍZ COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

**3.1.1 Caracterización y composición química del Maíz.** El Maíz utilizado como fuente de obtención de Almidón. (Ver Figura 12), se caracterizó por tener una consistencia dura y una textura suave. Una inspección visual del pericarpio, que es la capa exterior dura y fibrosa que encierra el grano, muestra un Maíz libre de hongos y bacterias, así como de fracturas. El grano muestra una coloración blanca y un tamaño aproximado de 0.5 cm. El indicador visual, que muestra algunas variedades de maíces criollos en el departamento de Nariño, indica que la variedad de este grano corresponde a Granizo blanco, cultivado a una altura de 2000 msnm a temperaturas promedio de 15°C. En la tabla 5, se indican sus características.

**Figura 12. Maíz granizo blanco**



Foto: Jiménez, D y Piscal, B. Fuente: Esta investigación

**Tabla 5. Caracterización del maíz**

<b>Orden del grano:</b>	Poales
<b>Familia:</b>	Poaceae
<b>Genero:</b>	Zea
<b>Especie:</b>	Zea mays
<b>Nombre científico:</b>	Zea mays L
<b>Variedad:</b>	Maíz Granizo Blanco
<b>Zona de cultivo:</b>	Sur del Departamento de Nariño en alturas mayores a 2000 msnm con temperatura promedio de 10 a 15 °C

La tabla 6, muestra los resultados del estudio bromatológico realizado a 800 gramos de harina de Maíz, en base húmeda, así como los respectivos métodos y técnicas empleados en el ensayo.

**Tabla 6. Caracterización del maíz**

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Técnica</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Base Húmeda</b>
Humedad	Secado estufa	Gravimétrica	g/100g	12,1
Materia seca	Secado estufa	Gravimétrica	g/100g	87,9
Ceniza	Incineración mufla	Gravimétrica	g/100g	1,33
Extracto etéreo	Extracción Soxhlet	Gravimétrica	g/100g	5,2
Fibra cruda	Digestión ácida-básica. Bolsas Ankom	Gravimétrica	g/100g	0
Proteína	Kjeldahl (N*6,25)	Titulométrica	g/100g	9,36
Extracto No Nitrogenado	Cálculo matemático	Cálculo matemático	g/100g	72,3
Almidón	Precipitación con Etanol	Gravimétrica	g/100g	46,7

Fuente: Laboratorio de Bromatología - Abonos Orgánicos. Universidad de Nariño

Los resultados anteriores, muestran que el grano de Maíz tiene una buena composición de Almidón (46.7%), valor que se verifica con el cálculo matemático de extracto no nitrogenado (72.3%), que pretende estimar el contenido de Almidón, azúcares solubles, pectinas y otros compuestos orgánicos, como un complemento del 100% de la sumatoria de contenido de humedad, ceniza, extracto etéreo y proteínas.

Es necesario considerar el parámetro de fibra cruda, su inexistencia (0%) se debe a que en proceso de tamizado en la malla No 100, indispensable para garantizar un eficiencia en la obtención de Almidón, se eliminó gran cantidad de pericarpio, es decir, los trozos de la capa externa del Maíz, constituidos en su gran mayoría de fibra.

Los resultados obtenidos se pueden corroborar con los de SA, Watson (1987)<sup>58</sup>, quien determinó la composición química entre las principales partes del grano de Maíz, obteniendo, un valor total de cenizas del 1.42%, lípidos del 4.78%, proteínas del 9.91%, y extracto no Nitrogenado del 71.5%. Valores similares a los obtenidos en el Laboratorio de Bromatología, cabe mencionar, que en la comparación de los resultados, no se tiene en cuenta la variedad y tipo de Maíz utilizado.

<sup>58</sup> SA, Watson. Structure and composition com, chemistry and technology. AACC. 53-82. 1987. Citado por TOVAR, Op. cit., p. 11.

**3.1.2 Obtención del almidón de maíz como coagulante natural y preparación de la suspensión en frío.** El procedimiento de obtención de Almidón de Maíz, descrito en el ítem 2.1.2, dio como resultado 215 gramos de Almidón a partir de 500 gramos de harina de Maíz. El rendimiento de producción, se calculó de con la ecuación (1), de la siguiente manera:

Peso harina de Maíz inicial (Phm):	500 gr
Peso Almidón de Maíz Experimental (Pam):	215 gr
Peso lípidos, proteínas y grasas (Plpg):	285 gr

De la ecuación (1), se tiene:

$$\%Rendimiento = \frac{215gr}{500gr} * 100 = 43\%$$

El resultado anterior indica que el porcentaje de Almidón o rendimiento que se obtiene a partir de 500 gr de harina de Maíz es del 43%. Esto indica que un 57 % (285 gramos) de la muestra, corresponde a otros componentes presentes en la harina de Maíz como lípidos, proteínas, grasas y alguna mínima cantidad de Almidón que no alcanzo a separarse o se desechó en el proceso de extracción.

El resultado anterior, es comparable con el obtenido en el laboratorio de Bromatología (Ver Tabla 6), presentando una diferencia del 3.7%, que pudo haberse dado, por el distinto modo de extracción de Almidón empleado.

Según el procedimiento descrito en el ítem 2.1.2.1, la prueba de Molish y Lugol, garantizó la calidad del Almidón obtenido. En la fotografía 16 del el Anexo 1.1, se muestra los resultados de esta prueba.

## **3.2 CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS Y MICROBIOLOGICAS DE LA FUENTE**

Los estudios fisicoquímicos y microbiológicos, realizados a esta fuente, se presentan en la tabla 7.

**Tabla 7. Características fisicoquímicas y microbiológicas de la fuente**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Valor</b>
Color aparente	UPC	94.60
Turbiedad	NTU	30.3
pH	-	7.93
Temperatura	°C	17.15
Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /L	24
Conductividad	us/cm	505
Solidos totales	ml	456
Solidos suspendidos	ml	30.8
Acidez	mg C aCO <sub>3</sub> / L	5.04
Dureza total	mg C aCO <sub>3</sub> / L	204
Dureza calcio	mg C aCO <sub>3</sub> / L	168
Cloruros	mg C l/ L	6.41
Fosfatos	mg P-PO <sub>4</sub> / L	<0.1
Nitritos	mg N-NO <sub>2</sub> / L	<0.005
Nitratos	mg N-NO <sub>3</sub> / L	<0.2
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> / L	215.3
Manganeso	mg Mn / L	0,03
Hierro	mg F e+3 / L	0.46
Oxígeno disuelto	mg O <sub>2</sub> / L	7.09
Demanda bioquímica de oxígeno	mg O <sub>2</sub> / L	<2
Coliformes totales	UFC /100ml	1000
Echerichia coli	UFC /100ml	900
Amonio titulometrico	mg N-NH <sub>3</sub> / L	0.11

Fuente: Laboratorio de análisis químico y aguas. Universidad de Nariño

Teniendo en cuenta la tabla C.2.1. (Título C)<sup>59</sup> del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000, y la resolución 2115 de 2007<sup>60</sup>, la calidad de esta fuente se muestra en la tabla 8.

<sup>59</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. RAS. Título C. Sistemas de potabilización. Bogotá D.C. 2000. p. C.20.

<sup>60</sup> MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 (22, Junio, 2007). Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá, D. C.: El Ministerio, 2007. 23 p.

**Tabla 8. Calidad de la fuente (quebrada Vuelta Larga)**

Parámetro	UNIDAD	VALOR	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (RESOLUCIÓN 2115 DE 2007)	CRITERIO DE EVALUACION (Tabla C.2.1. RAS)	NIVEL DE CALIDAD DE LA FUENTE
Color aparente	UPC	94.60	15	-	
Color verdadero (UPC)	UPC	47	-	Aceptable: <10	Muy deficiente
				Regular: 10-20	
				Deficiente: 20-40	
				Muy deficiente: ≥ 40	
Turbiedad	NTU	30.3	2 NTU	Aceptable: <2	Regular
				Regular: 2-40	
				Deficiente: 40-150	
				Muy deficiente: ≥ 150	
pH	-	7.93	Entre 6.5 y 9.0	Aceptable: 6.0 - 8.5	Aceptable
				Regular: 5.0 - 9.0	
				Deficiente: 3.8 - 10.5	
				Muy deficiente: -	
Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /L	24	200 mg CaCO <sub>3</sub> /L	-	
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	204	300 mg CaCO <sub>3</sub> /L	-	
Cloruros	mg Cl/L	6.41	250 mg Cl / L	Aceptable: < 50	Aceptable
				Regular: 50 - 150	
				Deficiente: 150 - 200	
				Muy deficiente: 300	
Fosfatos	mg P-PO <sub>4</sub> /L	<0.1	0.5mg P-PO <sub>4</sub> /L	-	
Nitritos	mg N-NO <sub>2</sub> /L	<0.005	0.1mg N-NO <sub>2</sub> /L	-	
Nitratos	mg N-NO <sub>3</sub> /L	<0.2	10mg N-NO <sub>3</sub> /L	-	
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> /L	215.3	250mg SO <sub>4</sub> /L	-	
Manganeso	mg Mn / L	0,03	0.1mg Mn / L	-	
Hierro	mg Fe+3 / L	0.46	0.3mg Fe+3 / L	-	
Oxígeno disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	7.09	-	Aceptable: ≥ 4	Aceptable
				Regular: ≥ 4	
				Deficiente: ≥ 4	
				Muy deficiente: < 4	
Demanda bioquímica de oxígeno	mg O <sub>2</sub> /L	<2	-	Aceptable: ≤ 1.5	Regular
				Regular: 1.5 - 2.5	
				Deficiente: 2.5 - 4	
				Muy deficiente: >4	
Coliformes totales	UFC/100ml	1000	0	Aceptable: 0 – 50	Deficiente
				Regular: 50 - 500	
				Deficiente: 500 - 5000	
				Muy deficiente: >5000	
Echerichia coli	UFC/100ml	900	0	-	

A partir de los parámetros de calidad expuestos en la tabla 8, se observa que la fuente de abastecimiento presenta un elevado contenido de color, en este caso, un valor de color aparente de 94.60 UPC, y un color verdadero de 47 UPC, que según la Tabla C.2.1. (Título C) del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000, corresponde a un nivel de calidad MUY DEFICIENTE en cuanto a color. El valor de turbiedad es de 30.3 NTU, que sobrepasa al valor máximo aceptable, por lo tanto, el nivel de calidad de la fuente es regular en cuanto a turbiedad. La contaminación por coliformes es considerable, lo que indica una calidad deficiente de la fuente, identificando, principalmente, el echerichia coli, indicador que permite suponer que la fuente presenta contaminación de origen fecal, proveniente de excretas humanas o animales aguas arriba<sup>61</sup>.

### 3.3 PRUEBA DE JARRAS APLICANDO ALMIDON DE MAÍZ Y SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTES, DETERMINACION DEL RANGO ÓPTIMO Y LA DÓSIS ÓPTIMA POR MEDIO DE CURVAS ESQUEMATICAS DE REMOCIÓN DE COLOR Y TURBIEDAD

**3.3.1 Resultados del ensayo empleando almidón de maíz.** Los parámetros iniciales de la muestra, se presentan en la tabla 9.

**Tabla 9. Parámetros iniciales de la muestra**

Turbiedad inicial (NTU)	Alcalinidad total (mg/l)		Color Aparente (UPC)					pH	Temp. (°C)	
	Gasto (ml)	Alcalinidad	ABS	0,054	0,046	0,043	0,062			0,059
29,7	1,25	25	Promedio ABS	0,0528					7,84	17,4
			Color resultante:	96,44632						

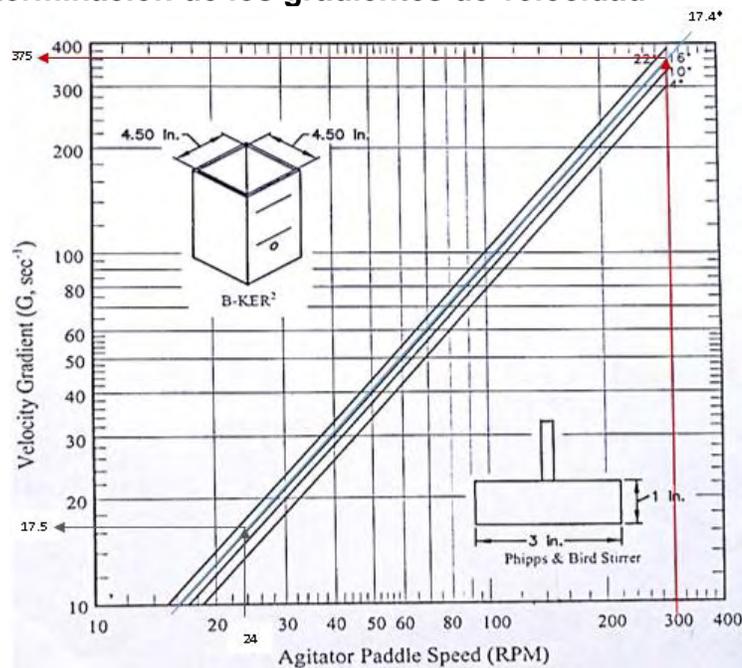
En la tabla anterior, la turbiedad inicial, determinada según el ítem 2.3.2.1, presentó un valor de 29.7 NTU. Para la alcalinidad, según lo descrito en el ítem 2.3.2.3, se obtuvo un gasto de 1.25 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 0,02 N, y según la ecuación (5), corresponde a un valor de 25 mg/l de CaCO<sub>3</sub>. Debido a que se desconoce la relación que tiene el Almidón de Maíz con la alcalinidad, se optó por trabajar con este valor, considerando además, su efecto frente al coagulante convencional, el

<sup>61</sup> W. Adam Sigler and BAUDER, Jim. UNIVERSIDAD ESTATAL DE MONTANA. Programa de Extensión en Calidad de Agua. Departamento de Recursos en la Tierra y Ciencias Ambientales. ColiformeTotal y la Bacteria E. coli. [On line] <[http://region8water.colostate.edu/PDFs/we\\_espanol/Coliform\\_Ecoli\\_Bacteria%202012-11-15-SP.pdf](http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Coliform_Ecoli_Bacteria%202012-11-15-SP.pdf)>

Sulfato de Aluminio, donde se conoce, que por cada parte de este coagulante, aplicada al agua, se consume aproximadamente 0.5 partes de la alcalinidad, es decir, que 1 mg/l reacciona con 0.5 mg/l de alcalinidad natural del agua, expresada como  $\text{CaCO}_3$ <sup>62</sup>. Por lo tanto, la cantidad de alcalinidad presente en el agua (25 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ ), es suficiente para reaccionar con el Sulfato de Aluminio. Por tal razón, no fue necesario aumentar dicho parámetro donde se utiliza soda caustica o carbonato de sodio puro con 98% pureza, así como cal viva comercial 90% pureza en mg/l. La tabla 9, también muestra el valor del color medido inicialmente (aparente), con sus respectivas absorbancias, valor cercano a los 100 UPC. Este parámetro, fue determinado, con la ecuación (4). El valor de pH se encuentra en un rango aceptable, según las normas de calidad y la temperatura corresponde a la ambiente, estos dos últimos parámetros, determinados según el ítem 2.3.2.4.

**3.3.1.1 Gradientes de velocidad de la mezcla rápida y la mezcla lenta.** Para la mezcla rápida a 300 rpm y para mezcla lenta a 24 rpm, considerando la temperatura del agua de 17.4°C, aproximadamente. La determinación los gradientes de velocidad de mezcla, se determinan según la figura 13.

**Figura 13. Determinación de los gradientes de velocidad**



Fuente: Guía de Laboratorio, Ensayo Prueba de Jarras, 2014

<sup>62</sup> EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI EMCALI. E.I.C.E. E.S.P. Prueba de jarras. Manual Jarras y Pruebas. Ing. María Faride Restrepo T. [Online] <<https://es.scribd.com/doc/39353489/Manual-Jarras-y-Pruebas>>

Según la figura 13, el gradiente de velocidad de mezcla rápida y mezcla lenta corresponden a  $375 \text{ seg}^{-1}$  y  $17.5 \text{ seg}^{-1}$ , respectivamente.

Estos valores, y los tiempos empleados en este ensayo para cada proceso, se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10. Parámetros de mezcla rápida, mezcla lenta y sedimentación**

Mezcla rápida			Mezcla lenta			Sedimentación
G ( $\text{Seg}^{-1}$ )	rpm	Tiempo (seg)	G ( $\text{seg}^{-1}$ )	rpm	Tiempo (min)	Tiempo (min)
375	300	30	17.5	24	20	30

**3.3.1.2 Resultados del Ensayo 1.** Partiendo de las dosis de 5, 10, 20, 30, 40, 50 mg/l, tomadas de la solución patrón (20000 ppm - 2%), es necesario, expresarlas volumétricamente, mediante la ecuación (2), para su fácil aplicación mediante jeringas comerciales, en las respectivas jarras. Para la dosis de 5 mg/l (ppm), el procedimiento matemático es el siguiente:

$$V1 = \frac{C2 * V2}{C1} = \frac{5 \frac{mg}{L} * 2000mL}{20000 \frac{mg}{L}} = 0.5 mL$$

Las variables, V1, C1, C2 y V2, se describen en el ítem 2.3.1, ecuación (2).

Las dosis de 10, 20, 30, 40, 50 mg/l, fueron calculadas de la misma manera. Los resultados, se indican en la Tabla 11.

**Tabla 11. Equivalencia de las respectivas dosis en ml a aplicar (Ensayo 1)**

Dosis (mg/l)	Equivalencia en mililitros (ml)
5	0.5
10	1.0
20	2.0
30	3.0
40	4.0
50	5.0

Aplicando las respectivas dosis en cada una de las jarras y siguiendo el procedimiento de laboratorio (ítem 2.3.1), los resultados del proceso, se muestran en la Tabla 12.

**Tabla 12. Parámetros obtenidos y porcentaje de remoción (ensayo 1)**

Vaso	Dosis (mg/l)	Observación visual			Parámetros Físicoquímicos							%Remoción turbiedad		%Remoción color	
		Formación floc (min)	Calidad del proceso		Turbiedad residual (NTU)	Turbiedad residual Filtrada (NTU)	Color residual (UPC)	Color residual Filtrado (UPC)	Alcalinidad (mgCaO3/l)	pH	Temp. (°C)	Residual	Residual Filtrada	Residual	Residual Filtrado
			Floc (Tabla 2) y tamaño aprox	Sobrenadante (Tabla 3)											
1	5	6	4, C	4,5	5,44	0,35	37,71	5,77	23,00	7,83	18,30	81,68	98,82	60,91	94,02
2	10	7	4, C	4,5	5,06	0,70	40,64	8,34	25,50	8,17	18,50	82,96	97,64	57,86	91,36
3	20	7	4, C	4,5	5,15	0,55	50,56	1,36	28,00	8,45	18,40	82,66	98,15	47,58	98,59
4	30	7	4, C	4,5	5,95	0,86	70,38	20,45	31,00	8,84	18,50	79,97	97,10	27,03	78,80
5	40	10	4, C	4,5	5,81	0,47	70,01	14,58	33,00	9,10	18,60	80,44	98,42	27,41	84,89
6	50	10	4, B	4,5	6,49	0,86	83,23	18,25	33,50	9,11	18,60	78,15	97,10	13,70	81,08

**Observaciones:** A los 7 minutos, aproximadamente, en la etapa de floculación, se observó la primera formación de flocs, en las jarras 2 a 4. En las jarras 5 y 6, los flocs formados fueron más finos aproximadamente de un tamaño 0.5 a 0.75mm, del tipo B, según el comparador de estimación de tamaños de flocs (Figura 13). A los 11 minutos de la etapa, el tamaño de los flocs fue aproximadamente de 0.7 a 1.0mm (C), la cantidad de flocs formados fue mayor, observando cadenas poliméricas, que se iban incrementando lentamente, debido al movimiento de las paletas, dichas formaciones (flocs), describían un movimiento circular turbulento alrededor del eje de rotación de las paletas. Con respecto al índice de Willcom (Tabla 2), se formaron flocs uniformemente distribuidos que sedimentaban muy lentamente y otros no sedimentaban que corresponde a un número del índice de Willcom de 4.

En la etapa de sedimentación, gran cantidad de flocs como de partículas coloidales, permanecieron en suspensión, sin embargo, presentaba un color claro a la vista (Numero 4 y 5, según la Tabla 3).

La tabla 12, muestra mejores resultados en remoción de turbiedad que de color, considerando que el color, es más difícil remover, debido a que las partículas que lo originan (coloidales) se encuentran en solución. Sin embargo, con las dosis de 5, 10, 20 mg/l, se obtienen los mejores resultados de remoción para este parámetro que corresponden al 60.91%, 57.86% y 47.58%, respectivamente, donde el valor mínimo de color residual, alcanzado fue de 37.71 UPC, aplicando la dosis de 5mg/l. Después de la filtración, los resultados son satisfactorios en la remoción de estos dos parámetros, debido a que se logra cumplir con los requisitos del Decreto 1575/2007 (Ver Tabla 4), que exigen un valor máximo de 2 NTU para turbiedad y 15 UPC para color.

Se observó un aumento de la alcalinidad a medida en que se incrementa las dosis, incluso el valor del pH sobrepaso el límite máximo exigido por el Decreto 1575, aplicando las dosis de 40 y 50 mg/l. La razón del aumento de la alcalinidad y pH, se debe a la preparación de la suspensión (ítem 2.1.3.1), donde el empleo de soda caustica granulada para producir la gelatinización, por su carácter básico, hace que se incrementen dichos parámetros, en relación directa con el aumento de las dosis de coagulante a aplicar.

**3.3.1.3 Resultados del ensayo 2.** Con base en los resultados obtenidos en el ensayo 1, fue necesario realizar otra prueba, tomando como referencia las dosis de 5, 10 y 20 mg/l, con las que se obtuvo los mejores resultados de remoción de color y turbiedad, y de esta manera, continuar con la evaluación del coagulante. Por lo tanto, se determinó un rango, conformado por las siguientes dosis: 3, 5, 8, 10, 13 y 15 mg/l. La equivalencia en volumen de dichas dosis, se presenta en la tabla 13.

**Tabla 13. Equivalencia de las respectivas dosis en ml a aplicar (ensayo 2)**

<b>Dosis (mg/l)</b>	<b>Equivalencia en mililitros (ml)</b>
3	0.3
5	0.5
8	0.8
10	1
13	1.3
15	1.5

Aplicando las respectivas dosis en cada una de las jarras y siguiendo el procedimiento de laboratorio (ítem 2.3.1), los resultados del proceso, se muestran en la tabla 14.

**Tabla 14. Parámetros obtenidos y porcentaje de remoción (ensayo 2)**

Vaso	Dosis (mg/l)	Observación visual			Parámetros Físicoquímicos							%Remoción turbiedad		%Remoción color	
		Formación floc (min)	Calidad del proceso		Turbiedad residual (NTU)	Turbiedad residual Filtrada (NTU)	Color residual (UPC)	Color residual Filtrado (UPC)	Alcalinidad (mgCaO3/l)	pH	Temp. (°C)	Residual	Residual Filtrada	Residual	Residual Filtrado
			Floc (Tabla 2) y tamaño aprox	Sobrenadante (Tabla 3)											
	3	2	2, C	2	4,54	0,41	48,35	3,56	24	8,31	18,1	84,71	98,64	49,87	96,31
2	5	2	4,C	2	4,63	0,65	45,05	6,13	24	8,3	18	84,41	97,81	53,29	93,64
3	8	2	4, C,D	4	4,46	0,5	45,05	1,36	25	8,23	18	84,98	98,32	53,29	98,59
4	10	2	4,C,D	2	4,43	0,61	63,77	16,41	26	8,27	18,1	85,08	97,95	33,88	82,98
5	13	2	4,C,D	3	4,38	0,41	56,80	7,23	26	8,47	18,1	85,25	98,62	41,11	92,50
6	15	2	4,C,D	3	3,92	0,65	48,35	11,64	26,5	8,5	18,1	86,80	97,81	49,87	87,93

**Observaciones:** A los 2 minutos, aproximadamente, en la etapa de floculación, se observó la formación de flocs, generalmente de 0.5 a 0.75 mm, (Según el comparador de la Figura 13); las jarras 3 a 4 se presentaron formación de escasas cadenas poliméricas, el movimiento turbulento continuaba presentándose, debido al movimiento giratorio de las paletas, que generaba una leve resuspensión de los flocs, que se caracterizaban por ser resistentes a la agitación. Al finalizar esta etapa, los flocs, adquirieron un tamaño aproximado de 0.75 a 1.0mm y de 1.0 a 1.5mm, se caracterizaban por presentar un número del índice de Willcom de 4, es decir, la formación de flocs bien formados y uniformemente distribuidos, que sedimentan lentamente, aunque la cantidad fue mínima, debido a que presentaban un color translucido, observado gracias al sistema de iluminación fluorescente del equipo. El sobrenadante se caracterizó por ser poco claro con flóculos en la solución (Numero 4 y 5, según la tabla 3).

Los resultados muestran, que con las dosis aplicadas del coagulante, la efectividad de remoción de turbiedad alcanza valores del 80% de remoción de turbiedad y del 53% de remoción de color. Además, se muestra que el pH se mantiene constante, debido a las bajas dosis del coagulante aplicado, en comparación con el Ensayo 1. Los mejores porcentajes de remoción de color, se consiguieron con las dosis de 3, 5 y 8mg/l. Por lo tanto, se las tomó como referencia para evaluar otras dosis.

En el Anexo 2.1, se presentan los reportes detallados de datos y resultados de los Ensayos 1 y 2.

**3.3.1.4 Resultados del ensayo 3.** Fue necesario realizar otra prueba, con el fin de observar si los parámetros de turbiedad y color se pueden remover en un mayor porcentaje, tomando como referencia las dosis de 3, 5, 8, y 10 mg/l, del Ensayo 2. Determinando un rango, conformado por las siguientes dosis: 5, 6, 7, 8, 9 y 10 mg/l.

La equivalencia en volumen de dichas dosis, se presenta en la tabla 15.

**Tabla 15. Equivalencia de las respectivas dosis en ml a aplicar (ensayo 3)**

Dosis (mg/l)	Equivalencia en mililitros (ml)
5	0.5
6	0.6
7	0.7
8	0.8
9	0.9
10	1.0

Es necesario, mencionar, que el color inicial de la muestra, presento un valor de 92.77 UPC, disminuyendo 3 UPC, en relación a los Ensayos 1 y 2, alteración fisicoquímica, que pudo haber ocurrido por pequeñas variaciones en la homogenización de la muestra, y en la precisión del colorímetro.

Aplicando las respectivas dosis en cada una de las jarras y siguiendo el procedimiento de laboratorio (ítem s.3.1), los resultados del proceso, se muestran en la Tabla 16.

**Tabla 16. Parámetros obtenidos y porcentaje de remoción (ensayo 3)**

Vaso	Dosis (mg/l)	Observación visual			Parámetros Físicoquímicos							%Remoción turbiedad		%Remoción color	
		Formación floc (min)	Calidad del proceso		Turbiedad residual (NTU)	Turbiedad residual Filtrada (NTU)	Color residual (UPC)	Color residual Filtrado (UPC)	Alcalinidad (mgCaO3/l)	pH	Temp. (°C)	Residual	Residual Filtrada	Residual	Residual Filtrado
			Floc (Tabla 2) y tamaño aprox	Sobrenadante (Tabla 3)											
1	5	5	4,D	4	4,08	0,46	43,58	5,77	24	8,35	17,9	86,12	98,44	53,03	93,79
2	6	5	4,D	4	3,7	0,60	42,48	10,91	25	8,42	17,9	87,41	97,96	54,21	88,25
3	7	5	4,D	4	3,91	0,45	38,44	9,07	25	8,51	18	86,70	98,47	58,57	90,22
4	8	7	4,E	4	4,11	0,36	42,11	10,17	25	8,49	17,7	86,02	98,78	54,61	89,04
5	9	7	4,E	4	4,16	0,35	44,31	16,04	24	8,45	17,9	85,85	98,81	52,24	82,71
6	10	7	4,E	4	3,95	0,44	59,00	29,26	25	8,6	17,9	86,56	98,50	36,41	68,46

**Observaciones:** Se observó la formación de flocs, a los 5min y a los 7min, en la etapa de floculación, la calidad del floc fue buena, aunque escasa, indicando un índice de Willcom de 4; el floc se caracterizó por tener un tamaño aproximado de 1.0 a1.5mm y 1.5 a 2.25 mm según el comparador de la Figura 11. Se observó mayor cantidad de flocs translucidos identificados gracias a la iluminación fluorescente en la base del equipo. La decantación fue lenta, debido al bajo peso específico del floc formado, así mismo, se observaron partículas suspendidas de aproximadamente 0.7 a 0.75mm. Fue difícil, realizar observaciones minuciosas en cada jarra, debido a que las características del proceso presentaban las mismas cualidades, en las distintas jarras. El sobrenadante, se caracterizó por ser claro y con pocos flóculos en la solución (translúcidos), que corresponde al número 4 de la tabla 3.

Los resultados muestran, que la remoción de turbiedad, presentó mejores resultados, a los obtenidos con los Ensayos 1 y 2, indicando eficiencias de remoción mayores al 86%, con las dosis de 5,6 y 7 mg/l. Sin embargo, la remoción de color, en el mejor de los casos, corresponde a un 58%, aplicando la dosis de 7mg/l; valores similares a los obtenidos en el Ensayo 1. Por lo tanto, se podría tener una apreciación, que la dosis de 7 mg/l corresponde a la óptima, valor a ser comprobado con el análisis estadístico.

Los valores residuales de turbiedad y color después de la etapa de filtración, mostraron resultados satisfactorios. Aplicando las dosis de 5, 6 y 7mg/l, se alcanzó porcentajes de remoción mayores al 96% para turbiedad, que equivale a un valor de 0.93 NTU; y mayores al 87 % para color, que equivalen a 12 UPC. Los valores de pH se mantuvieron en un intervalo de 8.3 a 8.6, considerando que el pH de 8.6, se da con la dosis más alta (10mg/l). La alcalinidad tuvo un promedio de 24.6 mg/l de CaCO<sub>3</sub>. Con lo anterior se da cumplimiento con el Decreto 1575/2007.

Por lo anterior y en comparación con los resultados obtenidos con los Ensayos 1 y 2, se optó por definir el rango conformado por las dosis de 5, 6, 7, 8, 9 y 10 mg/l, como el óptimo.

Los resultados con este rango, corrido por duplicado, se presenta en las Tablas (b), de los Anexos 2.2.2 y 2.2.3, que corresponden al Ensayo 4 y Ensayo 5, respectivamente; que junto con el Ensayo 3 (Tabla 16) conforman 3 repeticiones, datos necesarios para el análisis estadístico de los resultados.

**3.3.2 Resultados del ensayo empleando sulfato de aluminio.** Los resultados empleando Sulfato de Aluminio, se presenta en la tabla 17, que corresponde al Ensayo 6.

Cabe mencionar, que el valor del color inicial de la muestra antes de iniciar los Ensayos, aumentó 2 UPC, en relación al presentado en los Ensayos 3, 4 y 5; situación que pudo deberse a condiciones de homogenización de la muestra así como al tiempo de almacenamiento de la misma.  
( ver tabla 17.)

**Tabla 17. Parámetros obtenidos y porcentaje de remoción (ensayo 6)**

Vaso	Dosis (mg/l)	Observación visual			Parámetros Físicoquímicos							%Remoción turbiedad		%Remoción color	
		Formación floc (min)	Calidad del proceso		Turbiedad residual (NTU)	Turbiedad residual Filtrada (NTU)	Color residual (UPC)	Color residual Filtrado (UPC)	Alcalinidad (mgCaO3/l)	pH	Temp. (°C)	Residual	Residual Filtrada	Residual	Residual Filtrado
			Floc (Tabla 2) y tamaño aprox	Sobrenadante (Tabla 3)											
1	5	3	4,D,E	4	5,82	0,68	54,23	9,44	23	8,18	18,8	81,81	97,88	42,68	90,03
2	6	3	4,D,E	4	5,55	1,23	42,11	3,93	24	8,03	18,9	82,66	96,16	55,49	95,85
3	7	3	4,E	4	5,65	0,62	51,29	15,68	23	7,89	18,9	82,34	98,06	45,79	83,43
4	8	3	4,E	4	6,01	0,46	60,47	12,37	22	7,9	18,9	81,22	98,56	36,09	86,92
5	9	3	4,E	4	5,63	0,58	70,75	32,20	23	7,82	18,9	82,41	98,19	25,22	65,97
6	10	3	4,E	4	5,41	0,31	62,30	11,27	22	7,79	18,9	83,09	99,03	34,15	88,09

**Observaciones:** La formación del floculo se presentó aproximadamente a los 3 minutos de la etapa de floculación, se observó la presencia de flocs esponjosos translucidos. En la jarra dos donde se aplicó la dosis de 6 ppm, el tamaño de los flocs fue de 1.5 a 2.25 mm, tamaño E, generalmente, según el comparador de la Figura 11. En el proceso de sedimentación los flocs se precipitan lentamente, aproximadamente 1 cm en 4 seg, es decir, que el floc presentó un peso específico bajo, se observó escasa presencia de flocs irregulares, en forma de cadenas poliméricas, en comparación con las producidas por el Almidón de Maíz. Así mismo, se presentaron partículas suspendidas, después del proceso de sedimentación, que presentaron un tamaño aproximado de 0.5 a 0.75mm, (tamaño B, según el indicador de la figura 11). El sobrenadante, se caracterizó por ser claro y con pocos flóculos en la solución (translucidos), que corresponde al número 4 de la tabla 3.

Los resultados empleando el Sulfato de Aluminio como coagulante convencional, indican que los valores óptimos de remoción de turbiedad, se presentó con las dosis de 5, 6 y 7 mg/l, con las cuales se obtuvieron valores de 6.02, 5.9 y 5.79 NTU, respectivamente. Y para color de 60.10, 54.47 y 59.36 UPC, para las mismas dosis. Valores que indican, un efecto en la remoción cercano al obtenido empleando el Almidón de Maíz como coagulante natural. Situación que se comprueba con el análisis estadístico y con las gráficas de remoción, presentadas en el ítem 3.3.3.

Los valores residuales de color y turbiedad, después de la filtración, mostraron resultados satisfactorios. Aplicando las mismas dosis del rango óptimo, se alcanzó porcentajes de remoción mayores al 96% que equivale a un valor de 1.23 NTU, para turbiedad y mayores al 90% para color, que equivalen a 9.44 UPC. Resultados que dan cumplimiento Decreto 1575/2007.

El pH se mantuvo de  $8 \pm 0.5$ , y la Alcalinidad de  $24 \pm 1$  mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , estos valores no presentaron variaciones significativas después de proceso con respecto a los datos iniciales.

Los resultados con este rango, corrido por duplicado, se presenta en las Tablas (b), de los Anexos 2.3.2 y 2.3.3, que corresponden al Ensayo 7 y Ensayo 8, respectivamente; y junto con el Ensayo 6 (Tabla 17) conforman 3 repeticiones, datos necesarios para el análisis estadístico de los resultados.

### **3.3.3 Efecto del almidón de maíz y el sulfato de aluminio en la remoción de Color:**

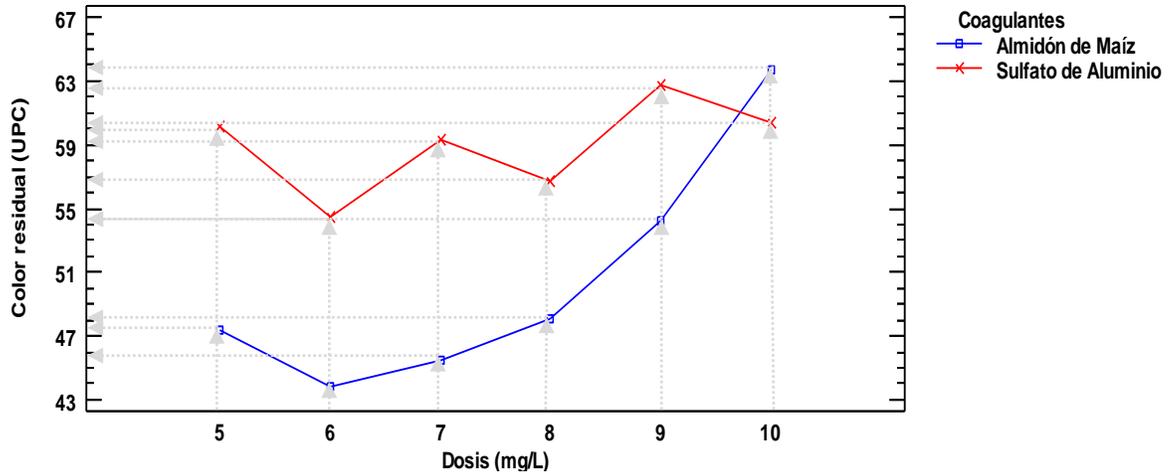
**3.3.3.1 Color residual (UPC).** Para el color residual, El análisis estadístico, muestra un valor de  $P = 0.0023$ . Esto indica que existe una diferencia significativa entre los dos coagulantes en la remoción de color con un 95% de nivel de confianza, puesto que el valor de  $P$  es menor que 0.05.

En el Anexo 2.4.1, se muestra los resultados detallados del análisis estadístico.

Para el caso del Almidón de Maíz y el Sulfato de Aluminio, el gráfico de interacciones, muestra la relación entre el color residual en UPC y las dosis en mg/l de coagulante aplicadas, referentes al rango óptimo. Los valores de color residual, son las medias de los datos registrados en las 3 repeticiones del ensayo, para cada dosis aplicada.

En la gráfica 1, se muestra los resultados del análisis para color residual.

**Gráfica 1. Color residual en función de las dosis para los respectivos coagulantes**

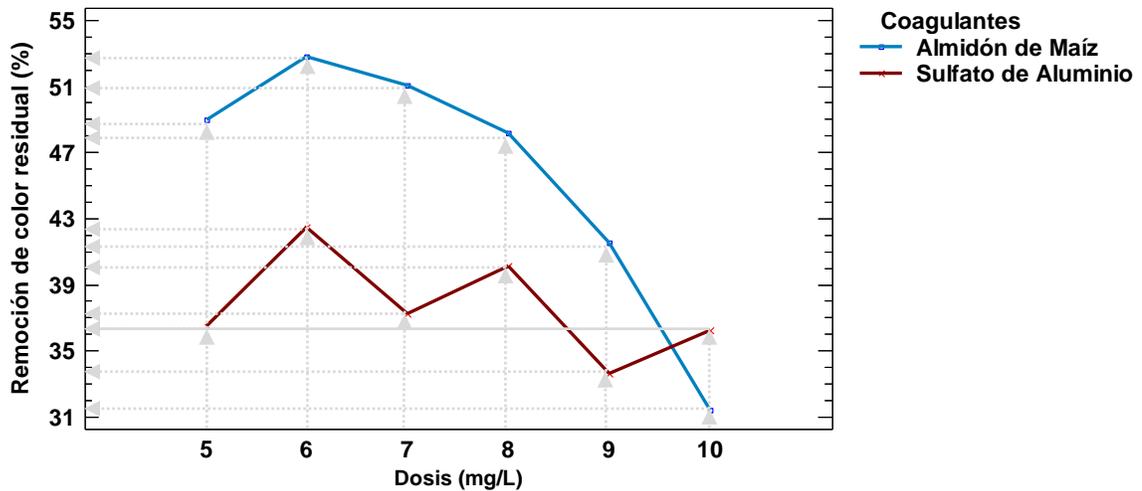


La gráfica 1, muestra que para el Almidón de Maíz la dosis óptima corresponde a 6 mg/l, con la que se obtuvo un valor del color residual de 43.82 UPC; a partir de ahí, el valor de este parámetro aumenta directamente con las dosis aplicadas, hasta obtener un máximo de 63.64 UPC, con la dosis de 10 mg/l. De la misma manera, para el Sulfato de Aluminio, los mejores resultados, se obtienen con la dosis de 6mg/l, con la cual, el valor de color residual corresponde a 54.47 UPC.

Según el Decreto 1575/2007 el valor de color máximo admisible para agua potable es de 15 UPC. Esto indica que los resultados obtenidos para los dos coagulantes no son los mejores en remoción de color. Por lo tanto, se hace necesario observar la remoción de este parámetro, después de la filtración, considerando una buena eficiencia en el proceso al pasar el agua por el papel filtro, resultados que se muestran en el ítem 3.3.3.3

**3.3.3.2 Eficiencia del proceso de remoción de color residual (%).** La eficiencia del proceso fue determinada mediante el porcentaje de remoción de color, expresado como remoción de color residual (%), que está en función de las dosis aplicadas. Los resultados se muestran en la gráfica 2.

**Gráfica 2. Porcentaje de remoción de color residual en función de las dosis para los respectivos coagulantes**

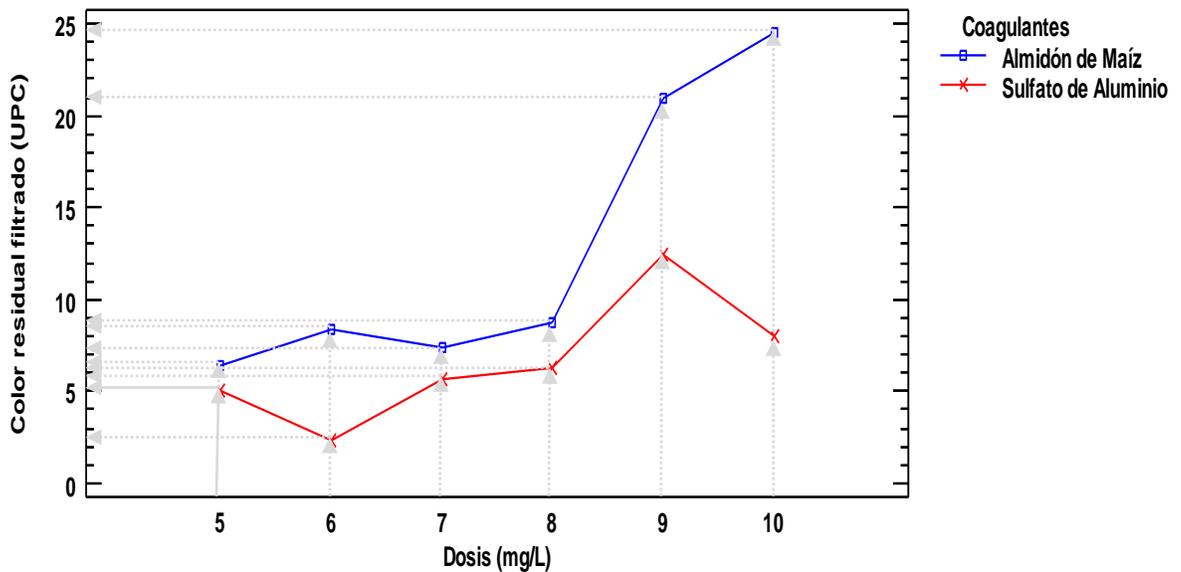


En la gráfica 2, se muestra el porcentaje de eficiencia correspondiente a la dosis óptima de 6 mg/l, que para este parámetro es la misma para los dos coagulantes; sin embargo, el Almidón de Maíz, con esta dosis logra un porcentaje de remoción del 52.76%, y el Sulfato de Aluminio un porcentaje de remoción del 42,42%. Que indica una ventaja aproximada del 10% para el Almidón de Maíz.

**3.3.3.3 Color residual filtrado (UPC).** El análisis estadístico para los valores de color residual filtrado, mostró un valor de  $P = 0.0230$ , para el factor coagulantes, que indica que existe una diferencia significativa entre los dos, en la remoción de color residual filtrado (después de la filtración); y otro valor de  $P=0.0284$ , para el factor dosis, que indica que existe un efecto estadístico significativo en las mismas en la remoción de dicho parámetro, puesto que estos valores son menores de 0.05.

En el Anexo 2.4.2, se muestra los resultados del análisis estadístico.

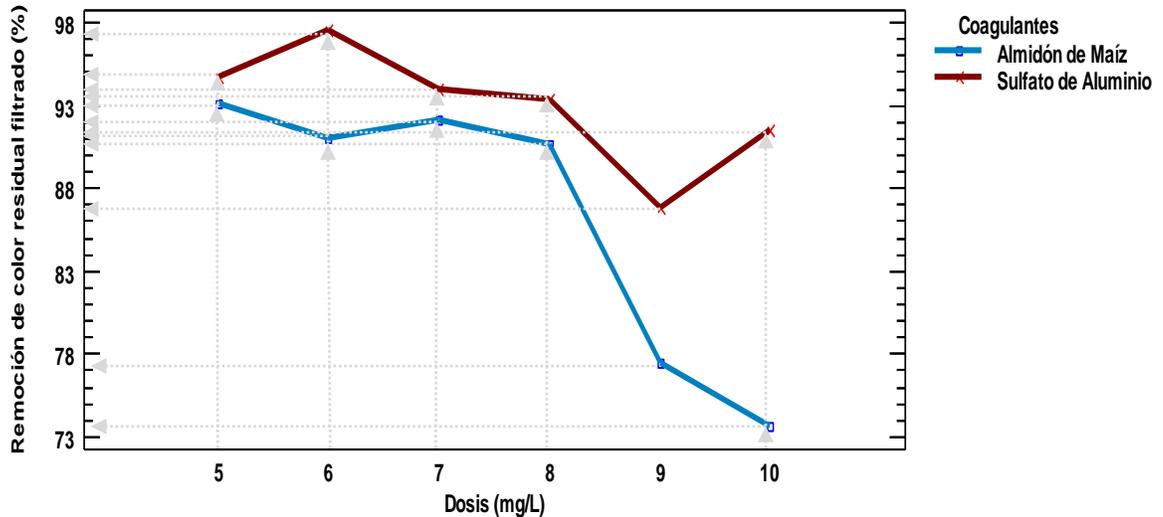
**Gráfica 3. Color residual filtrado en función de las dosis para los respectivos coagulantes**



La gráfica 3, muestra que empleando el Almidón de Maíz se reducen los valores del color residual filtrado a 6.38 UPC, 8.33 UPC, 7.35 UPC, 8.70 UPC, 20.93 UPC y 24.49 UPC, con las dosis de 5 mg/l, 6 mg/l, 7 mg/l y 8 mg/l, 9 mg/l y 10 mg/l, respectivamente. Para el Sulfato de Aluminio, los valores del color residual filtrado, corresponden a 5.03 UPC, 2.34 UPC, 5.71 UPC, 6.25 UPC, 12.49 UPC y 8.04 UPC, para las diferentes dosis. Se observa una variabilidad de los resultados, en comparación con los obtenidos en la gráfica 1, debido a errores que pudieron deberse a un desgaste del papel filtro o en la manipulación de instrumentos de laboratorio; sin embargo, los valores de color, dan cumplimiento con las normas de calidad de agua para consumo humano que exigen un valor máximo admisible de 15 UPC.

**3.3.3.4 Eficiencia del proceso de remoción de color residual filtrado (%).** La gráfica 4, muestra la eficiencia en el proceso de remoción de color residual filtrado.

**Gráfica 4. Porcentaje de remoción de color residual filtrado en función de las dosis para los respectivos coagulantes**



La gráfica 4, indica una eficiencia de remoción para cada dosis de 93,12 %, 91.01%, 92.06%, 90.62%, 77.43% y 73.63% en el caso del Almidón de Maíz, siendo los valores menos efectivos los correspondientes a las dosis de 9 mg/l y 10 mg/l. Para el Sulfato de Aluminio estos valores corresponden a 94.68%, 97.52%, 93.95%, 93.38%, 86.79% y 91.5%, respectivamente.

Los resultados son satisfactorios durante el proceso, indican un comportamiento similar en la remoción de color para ambos coagulantes.

### **3.3.4 Efecto del almidón de maíz y el sulfato de aluminio en la remoción de turbiedad:**

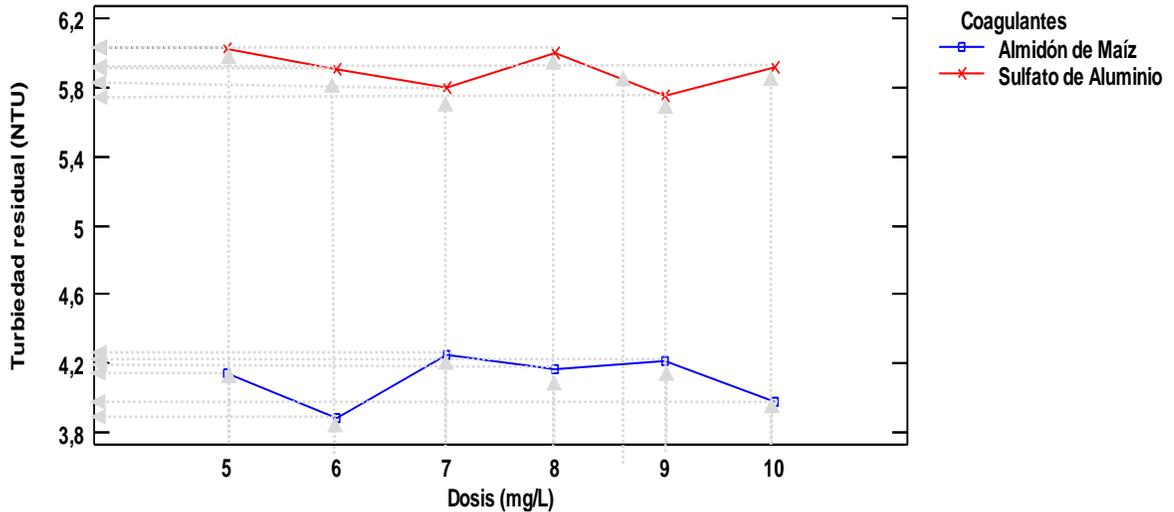
**3.3.4.1 Turbiedad residual (NTU).** Para la turbiedad residual. El análisis estadístico, muestra un valor de  $P = 0.0000$ . Esto indica que existe una diferencia significativa entre los dos coagulantes en la remoción de turbiedad con un 95% de nivel de confianza, puesto que el valor de  $P$  es menor que 0.05.

En el Anexo 2.4.3, se muestra los resultados del análisis estadístico.

Para el caso del Almidón de Maíz y el Sulfato de Aluminio, el gráfico de interacciones, muestra la relación entre la turbiedad residual en NTU y las dosis en mg/l de coagulante aplicadas, referentes al rango óptimo. Los valores de turbiedad residual, son las medias de los datos registrados en las 3 repeticiones

del ensayo, para cada dosis aplicada. En la gráfica 5, se muestra los resultados del análisis para turbiedad residual.

**Gráfica 5. Turbiedad residual en función de las dosis para los respectivos coagulantes**



En la gráfica 5, se observa que para el Almidón de Maíz, los menores valores de turbiedad residual alcanzados se presentan aplicando una dosis de 6 mg/l (ppm). En este punto la turbiedad es de 3.88 NTU. A partir de esta dosis, el valor de la turbiedad aumenta hasta llega a un máximo de 4.25 NTU que corresponde a la dosis de 7 mg/l, valor que varía hasta la dosis de 10mg/l.

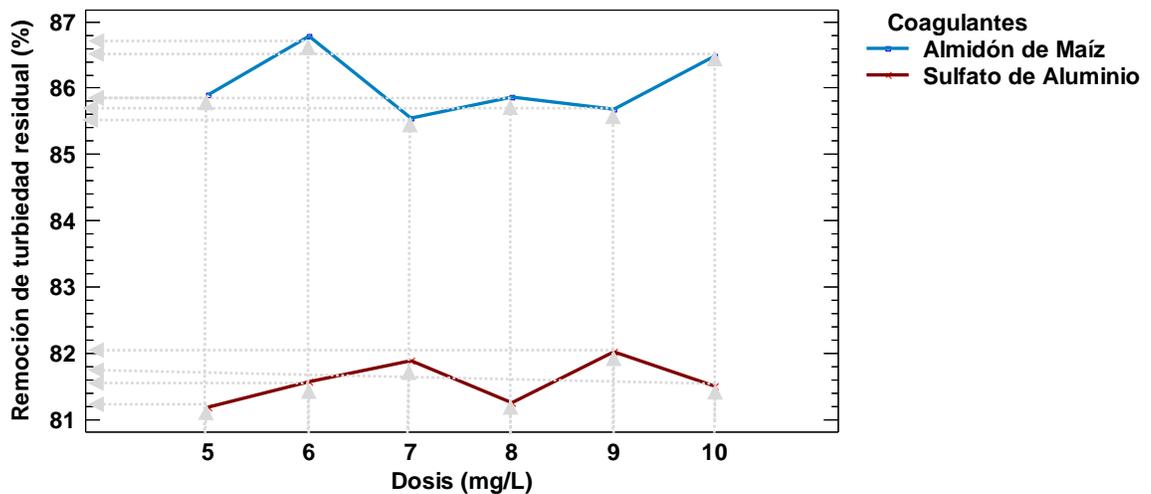
El Sulfato de Aluminio presentó un comportamiento distinto en la remoción de turbiedad, se observa que los valores mínimos corresponden a 5.79 NTU y 5.75 NTU, alcanzados con las dosis de 7 mg/l y 9 mg/l respectivamente. Con las demás dosis, la turbiedad varió hasta llegar a un máximo de 6 NTU, correspondiente a la dosis de 8 mg/l.

Por lo tanto, se puede considerar, que las dosis óptimas para la remoción de turbiedad, corresponden a 6mg/l para el Almidón de Maíz y de 9mg/l para el Sulfato de Aluminio.

Según el Decreto 1575/2007 el valor de turbiedad máximo admisible para agua potable es de 2 NTU. A pesar que el valor obtenido con la dosis de 6mg/l empleando Almidón de Maíz, es la más eficaz en el proceso (3.88 NTU), no logra cumplir con este requisito; por lo tanto, se hace necesario observar el efecto de las dosis para los respectivos coagulantes después del proceso de filtración, en la remoción de la turbiedad, los resultados se presentan en el ítem 3.3.4.3.

**3.3.4.2 Eficiencia del proceso de remoción de turbiedad residual (%).** La eficiencia del proceso fue determinada mediante el porcentaje de remoción de turbidez, expresada como remoción de turbiedad residual (%), que está en función de las dosis aplicadas. Los resultados se muestran en la gráfica 6.

**Gráfica 6. Porcentaje de remoción de turbiedad residual en función de las dosis para los respectivos coagulantes**



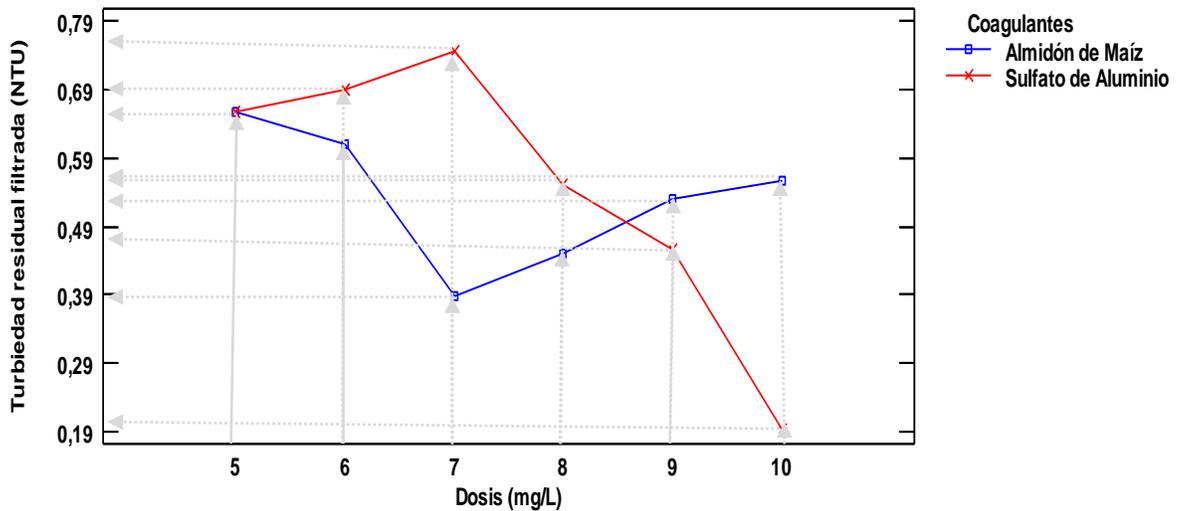
La gráfica 6, indica que la eficiencia en la remoción de turbiedad residual para las dosis de 6mg/l empleando Almidón de Maíz y de 9mg/l empleando Sulfato de Aluminio, es de 86.77% y de 82.01%, respectivamente, por lo tanto, existe una ventaja en el tratamiento del coagulante natural frente al convencional.

**3.3.4.3 Turbiedad residual filtrada (NTU).** El análisis estadístico para los valores de turbiedad residual filtrada expresada en NTU, mostró un valor de  $P = 0.8284$ . Lo que indica que no existe una diferencia significativa entre los dos coagulantes en la remoción de este parámetro, puesto que este valor es menor que 0.05.

En el Anexo 2.4.4, se muestra los resultados del análisis estadístico.

En la gráfica 7, se muestra la relación entre la turbiedad residual filtrada y las dosis de coagulante aplicadas, referentes al rango óptimo.

**Gráfica 7. Turbiedad residual filtrada en función de las dosis para los respectivos coagulantes**

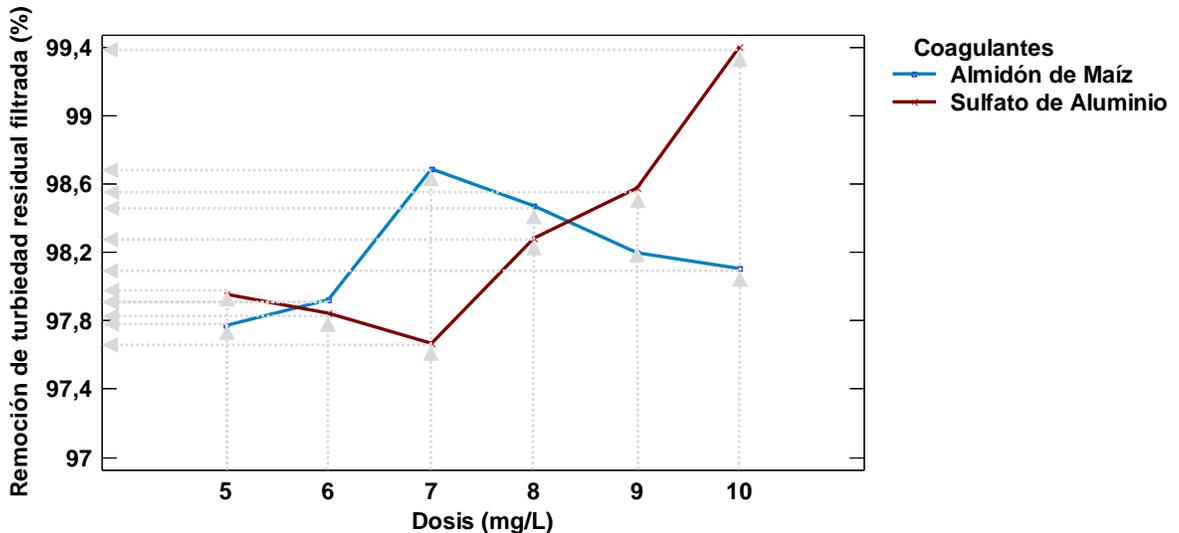


La gráfica 7, muestra una correlación inversa en la remoción de turbiedad filtrada entre los dos coagulantes, es decir, un comportamiento diferente en función de las dosis. Por una parte, para el Almidón de Maíz, a partir de la dosis de 5 mg/l, las unidades de turbiedad disminuyen de 0.65 NTU hasta llegar un valor de 0.38 NTU, correspondiente a la dosis de 7 mg/l. A partir de esa dosis las unidades de turbiedad residual filtrada vuelven a aumentar. Comportamiento contrario se presenta con el Sulfato de Aluminio, donde la mínima unidad de turbiedad correspondiente a 0.19 NTU, se obtuvo con una dosis de 10 mg/l. esta variación es insignificante, debido a que los resultados obtenidos en este proceso son satisfactorios (turbiedades menores a 1 NTU) que dan cumplimiento a las normas de calidad de agua para consumo humano que exigen un valor máximo admisible de 2 NTU.

#### **3.3.4.4 Eficiencia del proceso de remoción de turbiedad residual filtrada (%).**

La gráfica 8, muestra la eficiencia en el proceso de remoción de turbiedad residual filtrada.

**Gráfica 8. Porcentaje de remoción de turbiedad residual filtrada en función de las dosis para los respectivos coagulantes**



La gráfica anterior, muestra que la eficiencia de remoción de turbiedad residual filtrada, se da en un rango de 97.77% (0.65 NTU) a 98.68% (0.38 NTU) para el Almidón de Maíz y de 97.66% (0.74 NTU) a 99.39% (0.19 NTU) para el Sulfato de Aluminio, resultados satisfactorios para los dos coagulantes.

**3.3.5 Dosis óptima de almidón de maíz y sulfato de aluminio en la remoción de color y turbiedad.** Considerando el comportamiento de los coagulantes a emplear y su efecto en la remoción de color y turbiedad antes del paso por el papel filtro, según los datos y resultados registrados en los ítems 3.3.1 y 3.3.2.; se determinó el color como parámetro de respuesta para definir la dosis óptima, debido a la dificultad de remoción que presenta este parámetro en comparación con la turbiedad en el tratamiento de aguas.

Empleando una dosis de 6 mg/l de Almidón de Maíz, se logran valores de color residual de 43.82 UPC (52.76%) y turbiedad residual de 3.88 NTU (86.77%), siendo los mejores resultados en este proceso. Para el Sulfato de Aluminio, los mejores resultados, en remoción de turbiedad, se obtienen aplicando una dosis de 9 mg/l, donde se logran valores de 5.75 NTU (82.01%); sin embargo, el valor óptimo de remoción para ambos parámetros, se da con la 6 mg/l, donde se obtiene valores de color de 54.47UPC (42.42%) y de turbiedad de 5.9 NTU (81.56%), siendo el primer parámetro, el determinante para seleccionar esta dosis como la óptima para los dos coagulantes.

Los resultados obtenidos en esta investigación, se pueden corroborar con los estudios realizados por Rodríguez *et al* (2007) que evalúa la utilización de Almidón de yuca y Maíz como coagulantes alternativos frente a los coagulantes utilizados convencionalmente (Sulfato de Aluminio tipo B y polielectrolito), en el proceso de coagulación de una agua superficial (Quebrada Las Delicias en Bogotá D.C-Colombia), manteniendo una turbiedad promedio de  $175 \pm 5$  NTU, Color  $70 \pm 5$  UPC y pH de  $5.4 \pm 0.5$ . Los resultados son favorables para el Almidón de Maíz; con una dosis óptima de  $20 \text{ mg/l}$  los valores de turbiedad, color y pH, se encuentran por debajo de 1.0 NTU, 25 UPC y 5.38 respectivamente.

Aunque los parámetros fisicoquímicos de la fuente en el presente estudio son distintos (turbiedad promedio  $30 \pm 5$  NTU, color  $95 \pm 5$  UPC,  $25 \pm$  y pH  $8 \pm 2$ ), los resultados obtenidos indican que el Almidón de Maíz tiene una ventaja sobre el Sulfato de Aluminio del 10.34% en la remoción del color y del 5.21% en remoción de turbiedad, para estas características fisicoquímicas del agua cruda.

Para el Almidón de Maíz, con la dosis óptima de  $6 \text{ mg/l}$ , se obtienen valores de turbiedad residual de 3.88 NTU (86.77%), color residual de 43.82 UPC (52.76%), alcalinidad de 24.7 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  y un pH promedio de 8.42. Se podría decir que el porcentaje de remoción de color del 53% aproximadamente, se vio afectado por la baja turbiedad de la fuente (30 NTU), considerando que valores altos de turbiedad, ayudan a la polimerización del coagulante, adhiriendo más eficientemente partículas coloidales, que originan el color, para así formar flóculos más densos que precipitan más fácilmente, y por ende el proceso de coagulación es más efectivo; por ello, se puede decir, que el uso del Almidón de Maíz como coagulante, resulta favorable en la remoción de turbiedad, mas no para color; resultados soportados según Rodríguez *et al*.

#### 4. CONCLUSIONES

Con el empleo del Almidón de Maíz como coagulante natural, a una concentración patrón de 20000mg/l (2%), aplicando la dosis óptima de 6mg/l, obtenida con el análisis estadístico de los datos de laboratorio. Se logró una remoción de turbiedad del 86.77 % (3.88 NTU), y de color (color aparente) del 52.76% (43.82 UPC); partiendo de un valor de color inicial de la fuente de estudio de  $95 \pm 5$  UPC, y de turbiedad de  $30 \pm 5$  NTU. Resultados que indican una deficiencia de este coagulante en la remoción de color; por lo tanto, se hace necesario implementar un proceso de filtración eficiente, que garantice la remoción de este parámetro. Una aproximación de esta etapa en el laboratorio, empleando papel filtro, muestra una disminución de turbiedad del 97.92%, que equivale a 0.61 NTU; y de color (color verdadero) del 91.01%, que equivale 8.33 UPC; valores que dan cumplimiento con las normas de calidad del agua para consumo humano (Decreto 1575 de 2007). Cabe mencionar, que esta eficiencia no es representativa a la de un filtro convencional.

Los resultados obtenidos empleando el Sulfato de Aluminio como coagulante convencional, preparado a la misma concentración que el Almidón (2%), muestran que al aplicar la respectiva dosis óptima de 6mg/l, la remoción de turbiedad fue del 81.56% (5.9 NTU) y de color del 42.42% (54.47 UPC). Resultados que al compararlos con los obtenidos con el Almidón de Maíz, indican una deficiencia de remoción del 10% y del 5% para los parámetros de color y turbiedad, respectivamente. Esto muestra, que el Almidón de Maíz es efectivo en comparación con el Sulfato de Aluminio. Los valores de pH y Alcalinidad, no variaron considerablemente, manteniéndose en un rango de  $8 \pm 1$  y  $25 \pm 2$  mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , respectivamente. Cabe mencionar que, el Almidón de Maíz, no reacciona con la alcalinidad del agua, lo que si ocurre con el Sulfato de Aluminio, que tiene relación directa con este parámetro para su efectividad en el proceso de coagulación. Situación que indica una ventaja a favor del coagulante Natural, por la disminución de costos de tratamiento, debido a que no es necesario aumentar la alcalinidad con reactivos alcalinos.

Una cuestión importante a resaltar, es la producción limpia de lodos. A pesar de que los lodos residuales en este estudio, presentaron valores bajos en nutrientes (Ver Anexo 2.6), existe la alternativa de utilizarlos como materia prima para compostaje, y de esta manera producir abono orgánico, incrementando nutrientes como el carbono y el nitrógeno, en los mismos. Además la nula toxicidad de lodos, disminuye costo de operación, en el tratamiento del agua para consumo humano. Para un tratamiento eficiente, el Almidón de Maíz, puede ser aplicado como auxiliar de coagulación, es decir, en combinación con el Sulfato de Aluminio, esto garantizaría una reducción de costos, por la disminución de cantidad del coagulante químico.

## 5. RECOMENDACIONES

Evaluar el uso del Almidón de Maíz como coagulante natural en el tratamiento de aguas con diferentes características fisicoquímicas, en especial en lo relacionado a color y turbiedad, y de esta manera ampliar su alcance, para garantizar su efectividad como solución sin riesgo para el Medio ambiente.

Estudiar al Almidón de Maíz como auxiliar de floculación, una vez terminado el proceso de coagulación con coagulantes metálicos, con el fin de reforzar las uniones de los núcleos que integran los flocs, y así garantizar procesos de potabilización eficientes.

Experimentar la preparación de la suspensión de Almidón en caliente, y evaluar su efectividad frente a los resultados obtenidos en esta investigación, donde se utilizó la técnica de gelatinización con hidróxido de sodio.

Ensayar con otras concentraciones de Almidón, su poder coagulante; así mismo, determinar los parámetros óptimos de Mezcla rápida y lenta, y así realizar un protocolo más completo del empleo de este coagulante.

Estudiar químicamente el comportamiento del Almidón de Maíz en el proceso de coagulación, para así conocer el mecanismo con que funciona en el tratamiento de clarificación de agua.

Realizar un análisis de costos de aplicabilidad de este producto en el tratamiento de aguas para consumo humano, con el fin de impulsar su uso a gran escala. De la misma manera estudiar el manejo que se le puede dar a los residuos, en la extracción del Almidón.

## BIBLIOGRAFIA

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría de la coagulación del agua. En: Teoría y práctica de la purificación del agua. 3ed. Bogotá: Mc Graw Hill y ACODAL, 2000. p. 21-84.

CAMPOS, Roberto José y DI BERNARDO, Luiz. El Almidón como auxiliar. En: Uso de Polímeros Naturales en el Tratamiento de Agua para Abastecimiento. [s.n.] Cali: CINARA, 1991. p. 40-41.

CÁRDENAS, Yolanda Andía. Tratamiento de agua: coagulación floculación. En: Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico. Lima: SEDEPAL, 2000. Curso Técnico. p. 9.

CEPIS. Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación. Lima: cepis, 1975. Serie documentos técnicos 2. p. 2.

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO. CORPONARIÑO. Subdirección para la intervención de la sostenibilidad ambiental-SISA. San Juan de Pasto.

EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI EMCALI. E.I.C.E. E.S.P. Prueba de jarras. Manual Jarras y Pruebas. Ing. María Faride Restrepo T. [Online] <<https://es.scribd.com/doc/39353489/Manual-Jarras-y-Pruebas>>.

GARCÍA FAYOS, Beatriz. Metodología de extracciones in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo. Tesis de Maestría en Seguridad industrial y Medioambiente. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2007. p 11.

GÓMEZ PUENTES, Néstor Alejandro. Remoción de materia orgánica por coagulación – floculación. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Departamento de Ingeniería Química, 2005. p.24.

GUZMÁN, Luis, *et al.* Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. En: U.D.C.A Act. & Div. Cient, 2013, no 16(1), p. 254.

HAAROFF, J y CLEASBY, J. Comparing aluminum and iron coagulants for in line filtration of cold waters. 1988. Citado por: GUZMÁN, Luis, *et al.* Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. En: U.D.C.A Act. & Div. Cient, 2013, no 16(1), p. 253-262.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Gestión ambiental. Agua. Procedimiento para el método de jarras en la coagulación-floculación del agua. NTC 3903. Bogotá D.C.: El instituto, 2001. 9 p.

J, Walter y JR, Weber. Coagulación y Floculación. En: Control de la Calidad del agua Procesos fisicoquímicos. 1 ed. Barcelona: REVERTÉ, S. A., 1979. p. 64-112.

L, Wang y YJ, Wang. Comparison of protease digestion at neutral pH with alkaline steeping method for rice starch isolation. *Cereal Chem* 78: 690-692. 2001. Citado por TOVAR, Op. cit., p. 38-39.

LA MER, *et al.* Adsorption-flocculation reactions of macromolecules at the solid-liquid interface. *Rev. Pure and Appl. Chem.*, 13:112-132. 1963. Citado por CEPIS, Op. cit., p. 5.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. RAS. Título C. Sistemas de potabilización. Bogotá D.C. 2000. p. C.20.

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 (22, Junio, 2007). Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá, D. C.: El Ministerio, 2007. 23 p.

MINTZ, E, *et al.* Not just a drop in the bucket: expanding access to point-of-use water treatment systems. GARCÍA FAYOS, Beatriz. Op. Cit., p. 17.

OPS/CEPIS/PUB/. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Tomo I. Lima, 2004. p. 175-175.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (Ginebra). Guías para la calidad del agua potable, 1995, Vol. 1, 2 ed. p.2-3. ISBN 92 4 353360 8.

PICADO BLANCO, Luis. Aplicación de polímeros naturales al tratamiento de potabilización del agua, Informe del Proyecto Final de Graduación, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 1984. Citado por QUIRÓS BUSTOS, Noemi, *et al.* Op. cit., p. 4.

QUIRÓS BUSTOS, Noemi, *et al.* Desarrollo de coagulantes y floculantes para la remoción del color en aguas de consumo humano; el Rio Humo, reserva forestal Rio Macho. Informe final de proyecto. Costa Rica: Instituto tecnológico de Costa Rica, 2010. p. 2.

Rc, Honseney y JM, Faubion. Physucal properties of cereal grains. In: Sauer DB editor. Storge of cereal grains and their products. St. Paul MN, USA: Am. Assoc. Cereal Chem. p. 1-38. Citado por TOVAR, Op. cit., p. 7.

RED DE GUARDIANES DE SEMILLAS DE VIDA (Pasto). Diagnóstico de maíces criollos de Colombia Región Andina: Cauca y Nariño, 2013. p. 19. ISBN: 978-958-57546-0-7.

RESTREPO OSORNO, Hernán Alonso. Evaluación del Proceso de Coagulación – Floculación de una Planta de Tratamiento de Agua Potable. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Minas. Departamento de Ingeniería Química, 2009. p. 8-9.

RF, Tester y J, Karkalas. Stach. In: Steinbuchel, A. (Series Ed) Vandamme, E.J., De Baets, S., Steinbuchel, A. (vol. Eds), Biopolymers, vol. 6. Polysaccharides. II. Polysaccharides from Eukaryotes, Wiley-VCH, Weinheim. 381-438 pp. Citado por RODRIGUEZ et al. Op. cit. p. 12.

RODRIGUEZ, M, *et al.* Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora. En: Evaluación del proceso de coagulación. Universidad Manuela Beltrán, Bogotá D.C Colombia, Umbral científico, 2007, p.16. SA, Watson. Structure and composition com, chemistry and technology. AACC. 53-82. 1987. Citado por TOVAR, Op. cit., p. 11.

SALAZAR CANO, Roberto. Características físico-químicas y microbiológicas de las aguas. En: Plantas de Potabilización de agua. [s.n.]. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, 2012. p. 15-35.

SPINNELI, V. Quitosana, polielectrolito natural para o tratamiento de agua potable, 2001. Citado por QUIRÓS BUSTOS, Noemi *et al.* Desarrollo de coagulantes y floculantes para la remoción del color en aguas de consumo humano; el Rio Humo, reserva forestal Rio Macho. Informe final de proyecto. Costa Rica: Instituto tecnológico de Costa Rica, 2010. p 2.

TOVAR BENÍTEZ, Tomas. Caracterización Morfológica y Térmica del Almidón de Maíz (*Zea mays* L) Obtenido por Diferentes Métodos de Aislamiento. Trabajo de grado Licenciado en Química de Alimentos. Pachuca de Soto, Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de ciencias básicas e ingeniería, 2008. p. 5.

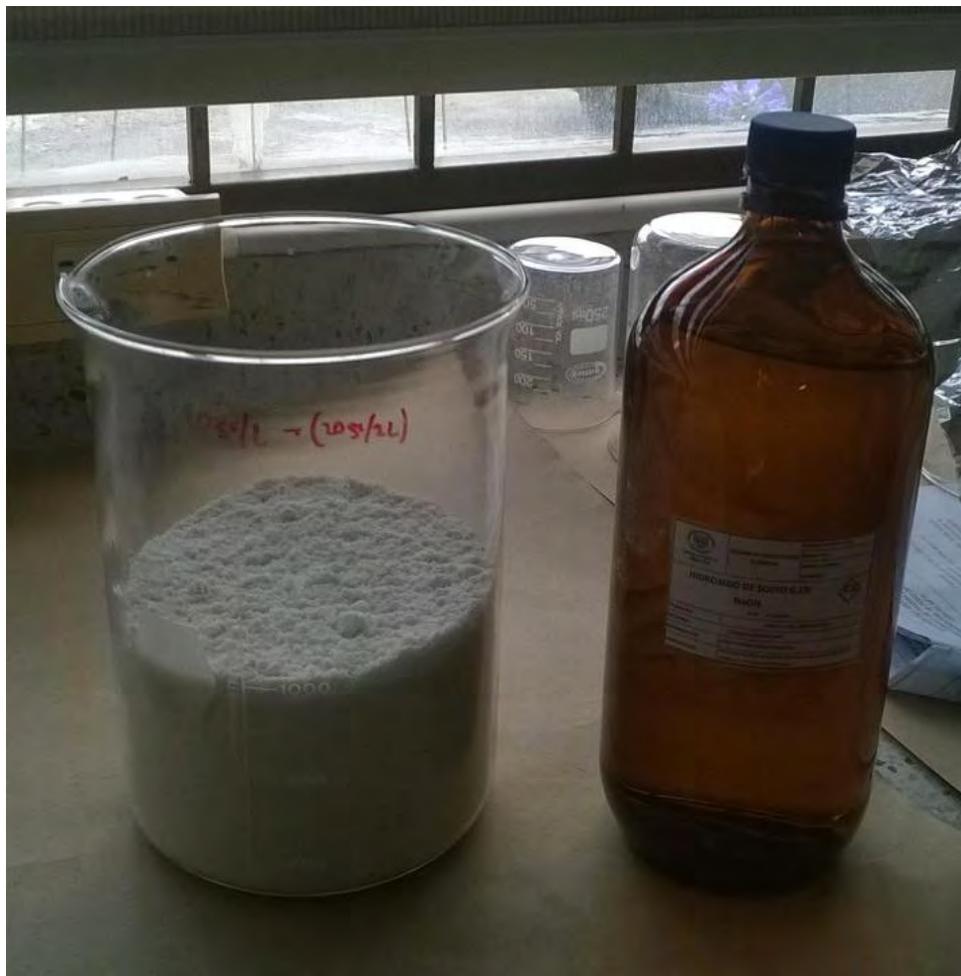
UNDA OPAZO, Francisco y SALINAS CORDERO, Sergio. Cantidad y calidad del agua. En: Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento a salud pública. 1 ed. Mexico.D.F: UTHEAS, 1969. p. 89-117.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1. REGISTRO FOTOGRÁFICO

### Anexo 1.1 Extracción del almidón de maíz

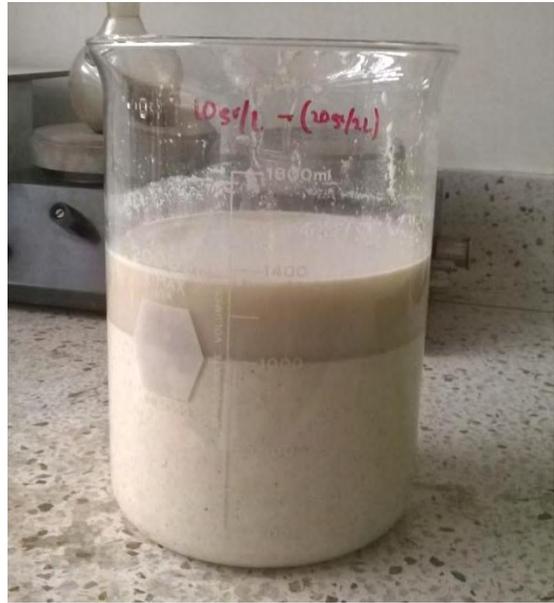
**Fotografía 1.** Harina (500 gramos) obtenida de la molienda del Maíz granizo blanco y reactivo (NaOH al 0,1%) para garantizar la eliminación de impurezas, hongos y bacterias.



**Fotografía 2.** Mezcla de la harina de Maíz con el Hidróxido de sodio (NaOH) al 0,1%



**a.** Inicio del proceso de mezclado del hidróxido de sodio con la harina de Maíz.



**b.** Observación de la acción del hidróxido de sodio una vez culminada la etapa de mezclado durante 24 horas. En la parte superior se observa los componentes eliminados como lípidos, grasas y minerales.

**Fotografía 3.** Proceso de licuado de la harina de Maíz mezclada con NaOH



**a.** Proceso de licuado de la harina de Maíz mezclada con hidróxido de sodio



**b.** Harina de Maíz con hidróxido de sodio una vez finalizado el proceso de licuado.

**Fotografía 4.** Proceso de tamizado de la suspensión de harina de Maíz con hidróxido de sodio empleando la malla N° 100 (0.150mm).



**a.** Vaciado de la suspensión en el tamiz N° 100    **b.** Proceso de tamizado de la suspensión.



**c.** Residuos retenidos en la malla N° 100

**Fotografía 5.** Proceso de tamizado de la suspensión de harina de Maíz con hidróxido de sodio empleando la malla N° 200 (0.075mm).



**a.** Vaciado de la suspensión en el tamiz N° 200

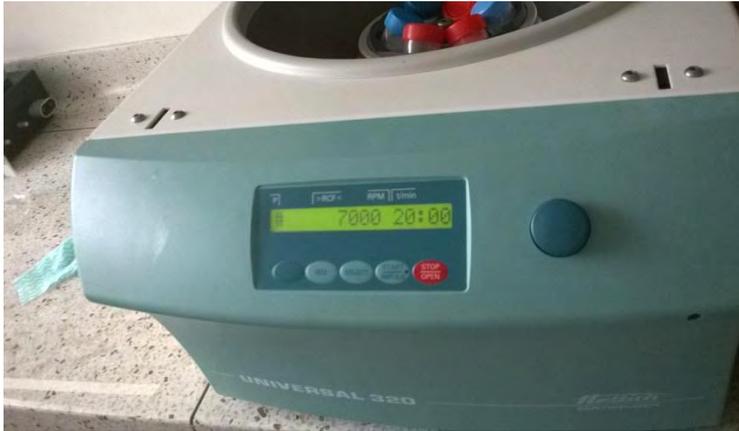


**b.** Proceso de tamizado de la suspensión.



**c.** Residuos retenidos en la malla N° 200

**Fotografía 6.** Proceso de centrifugación de la suspensión una vez tamizada a través de las mallas 100 y 200.



**a.** Programación de la ultracentrífuga universal 320 a 7000 RPM durante 20 minutos



**b.** Tubos de centrifuga colocados en el equipo, para iniciar el proceso de centrifugación.

**Fotografía 7.** Extracción de los tubos de centrifuga una vez terminado el proceso de centrifugación, donde fue visible la formación de dos fases solidas la superior de color gris y la inferior de color blanco.



**Fotografía 8.** Retiro del sobrenadante y la fase solida superior de color gris compuesta por proteína, lípidos y pequeños gránulos de Almidón que no alcanzaron a separarse.



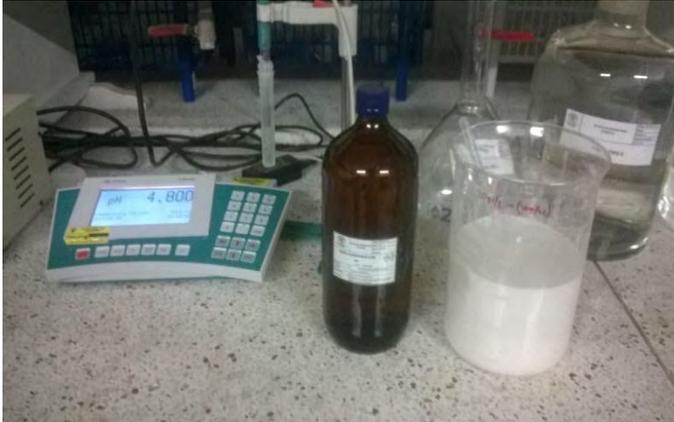
**a.** Retiro del sobrenadante contenido en los tubos de centrifuga.

**b.** Fase superior solida de color gris.

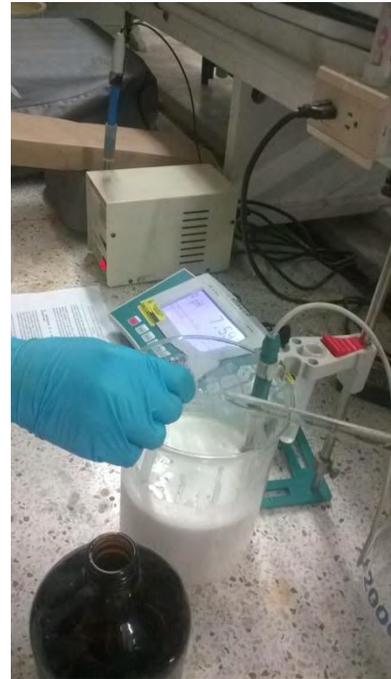
**Fotografía 9.** Fase solida inferior de color blanco (Almidón) la cual se re suspendió en agua destilada.



**Fotografía 10.** Proceso de neutralización de la suspensión de Almidón y agua destilada con ácido clorhídrico (HCl) al 1.0 M.



**a.** Equipo necesario para el proceso de neutralización de pH.



**b.** Proceso de titulación con HCl a 1.0M hasta alcanzar un pH final de 6,5.

**Fotografía 11.** Lavado con agua destilada de la suspensión de Almidón neutralizada.



**Fotografía 12.** Centrifugado final de la suspensión de Almidón previamente lavada con agua destilada.



**Fotografía 13.** Extracción del Almidón de Maíz después del proceso de centrifugado final.



**Fotografía 14.** Proceso de secado en horno con recirculación de aire a 40-44 °C



**Fotografía 15.** Procesos finales molida, pesaje y almacenamiento.



**a.** Almidón de Maíz después del proceso de secado y de molienda.



**b.** Toma del peso final de Almidón de Maíz obtenido.



**c.** Almacenamiento en un frasco de vidrio

**Fotografía 16.** Reconocimiento del Almidón de Maíz como carbohidrato, con la prueba de Molish y Lugol.



**a.** Tubo de ensayo con la disolución de 1 gramo de Almidón en 1 ml de agua destilada.



**b.** Prueba de Molish, donde se puede observar la formación de un anillo color violeta



**c.** Prueba de Lugol, donde se observó la formación de una coloración azul oscura.

## Anexo 1.2 Preparación de la suspensión en el laboratorio

**Fotografía 1.** Equipo necesario para preparar la suspensión de Almidón.



**Fotografía 2.** Mezcla de 2000mg de Almidón con cerca de 10 a 20 ml de agua destilada para inducir la disolución del Almidón.



**Fotografía 3.** Dilución de la soda caustica en 4 a 8 ml de agua destilada.



**Fotografía 4.** Proceso de agitación de la mezcla con una varilla de vidrio.



**Fotografía 6.** Transferencia de la

**Fotografía 5.** Homogenización de la suspensión, se puede visualizar la gelatinización de esta. permite completar con precisión un volumen de 100ml



**Fotografía 7.** Proceso de reposo de la suspensión de 20000 ppm de concentración.



### Anexo 1.3 toma de muestras de agua

**Fotografía 1.** Fuente de abastecimiento quebrada Vueltalarga del corregimiento de Genoy



**Fotografía 2.** Recipientes para el llenado de las diferentes muestras, se observa la nevera y el thermo gel que hacen las veces de medio de refrigeración.



### Anexo 1.3.1 Toma de muestras para análisis microbiológico

**Fotografía 1.** Toma de muestra para análisis microbiológico, colectando la muestra en un frasco de vidrio esterilizado sumergido en posición invertida.



### Anexo 1.3.2 Toma de muestras para análisis fisicoquímicos

**Fotografía 1.** Toma de muestras para análisis fisicoquímicos, llenado del primer frasco de 2 litros previamente purgado.



**Fotografía 2.** Toma de muestras para análisis fisicoquímicos, llenado del segundo frasco plástico de 2 litros previamente purgado a una profundidad aproximada de 5cm.

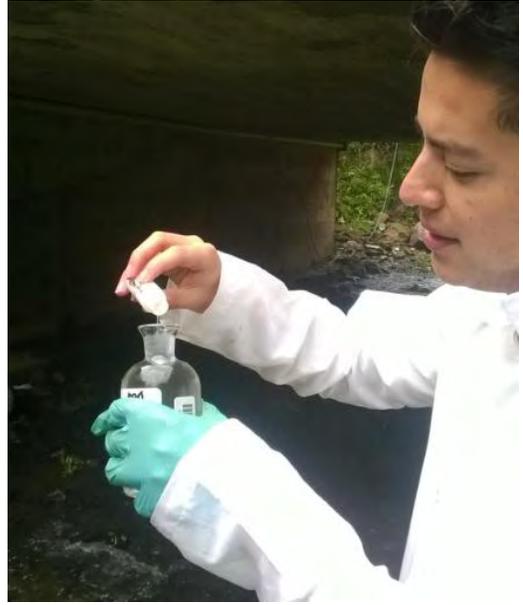


### Anexo 1.3.3 Toma de muestras para análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

**Fotografía 1.** Toma de muestras para análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>).



**Fotografía 2.** Adición del reactivo 1 para el análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)



**Fotografía 3.** Adición del reactivo 2 para el análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)



**Fotografía 4.** Proceso de Agitación con el fin de mantener las mejores condiciones iniciales en la muestra para el análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)



#### Anexo 1.3.4 Toma de muestras de la fuente para el ensayo de jarras

**Fotografía 1.** Toma de muestras para Ensayo de Jarras punto 1 de la quebrada, se muestra claramente el llenado y toma de observaciones del primer galón.



**Fotografía 2.** Toma de muestras para Ensayo de Jarras punto 2 de la quebrada, se muestra el llenado del segundo galón y toma de observaciones.



## Anexo 1.4 Ensayo - prueba de jarras

**Fotografía 1.** Vaciado y mezcla de las muestras de agua en un recipiente de 100 litros de capacidad.



**Fotografía 2.** Homogenización de la muestra de agua con el fin de mantener un color y una turbiedad constante.



**Fotografía 3.** Toma de una pequeña muestra del tanque que contiene el agua previamente homogenizada para la determinación de color, turbiedad, pH y temperatura iniciales.



**Fotografía 4.** Equipo utilizado en la determinación de color, turbiedad, pH y temperatura.



**a.** Colorímetro HACH  
DR/700



**b.** pHmetro JENWAY 3020 pH Yeter



**c.** Turbidímetro Hf, Scientific, Inc

**Fotografía 5.** Determinación de la turbiedad inicial de la muestra previamente homogenizada.



**Fotografía 6.** Determinación del color inicial a través de la absorbancia medida por el colorímetro.



**Fotografía 7.** Determinación del pH inicial y la temperatura inicial de la muestra de agua.



### Fotografía 8. Determinación de la alcalinidad.



**a.** Toma de 50 ml de la muestra en un Erlenmeyer de 250ml.



**b.** Adición de 3 gotas de fenolftaleína a pH 8,3 y 3 gotas de indicador mixto, produciendo una coloración azul.



**c.** Procedimiento de titulación con  $H_2SO_4$  al 0,02 N.



**d.** Cambio de coloración de azul a pardo rojizo después de la titulación.

**Fotografía 9.** Equipo de prueba de tratabilidad – Ensayo de Jarras



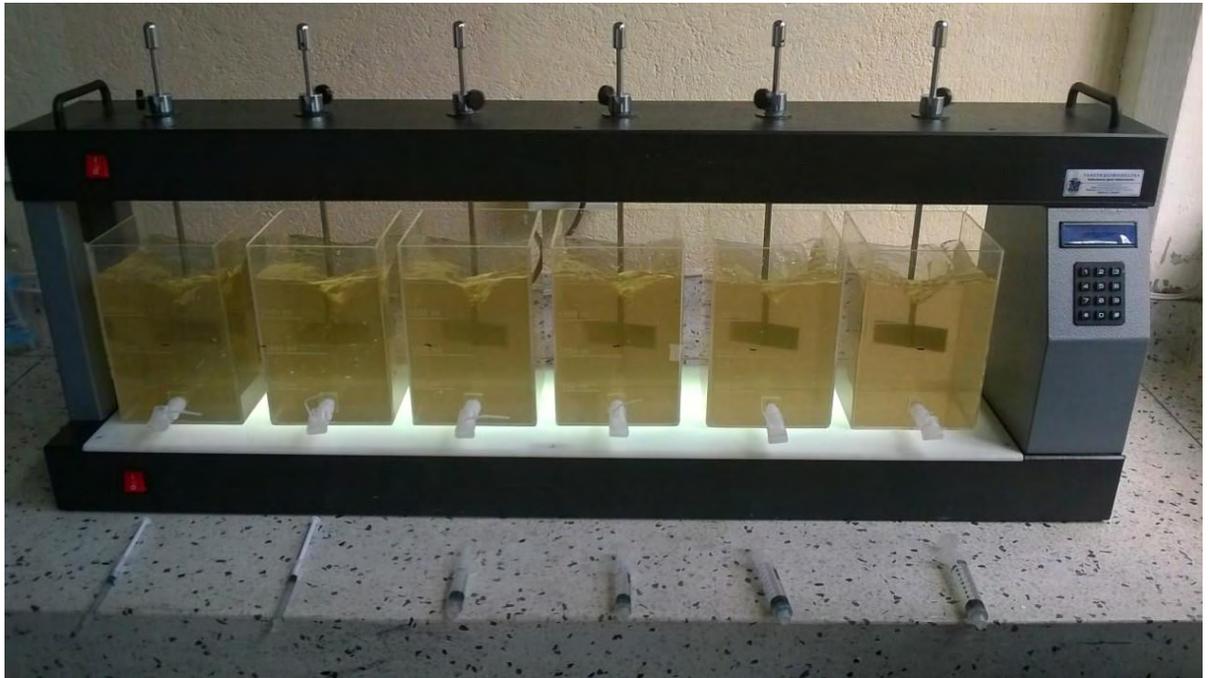
**Fotografía 10.** Ensayo preliminar hecho a la quebrada Sena.



**a.** Llenado de las jarras con la muestra a tratar y colocación de esta en la equipo.



**b.** Programación del equipo a 300 rpm por 3 min para mezcla rápida y 40 rpm por 30 min para mezcla lenta.



**c.** Proceso de inyección del coagulante Almidón de Maíz, las dosis van de menor a mayor de izquierda a derecha respectivamente.



**d.** Toma de muestras de cada una de las jarras para realizar la determinación de color, turbiedad, pH, temperatura y alcalinidad una vez terminado el Ensayo de Jarras.

**Fotografías 11.** Desarrollo de prueba de tratabilidad- Ensayo de Jarras de la quebrada Vuelta Larga empleando Almidón de Maíz.



**a.** Medición del volumen en cada una de las jarra (2 litros) aforados con una probeta graduada.



**b.** colocación de las jarras en el equipo, complementado posteriormente con la ubicación de las aspas.



**c.** Programación del equipo a 300 rpm durante 1 min para mezcla rápida y 24 rpm durante 20 min para mezcla lenta, también se observa las jeringas con las diferentes dosis de menor a mayor, de izquierda a derecha, respectivamente.



**d.** Tama de observaciones como tiempo de formación del floc, tipo de floc y del comportamiento que presenta la muestra durante el proceso de tratamiento.



**e.** Tama de muestras de cada una de las jarras para la determinación de parámetros físicos y químicos.



**f.** Partículas sedimentadas después de finalizado el Ensayo de Jarras.



**g.** Lodos residuales finales del proceso de sedimentación.



**h.** Comparación entre la muestra sin tratar (izquierda) y la muestra tratada (derecha) una vez terminado todo el procedimiento.



i. Proceso para la determinación de la alcalinidad, se presenta coloración azul tras agregarle a cada muestra 3 gotas de fenolftaleína y 3 gotas de indicador mixto

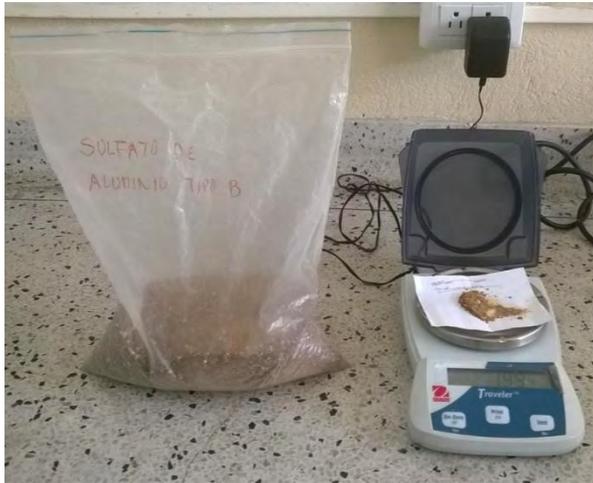


j. Proceso para la determinación de la alcalinidad, después de la titulación con HCl, presentando una coloración parda rojiza.



k. Proceso de filtración de muestras de cada una de las jarras, con el fin de determinar el color verdadero o real.

**Fotografías 12.** Desarrollo de prueba de tratabilidad- Ensayo de Jarras de la quebrada Vuelta Larga empleando Sulfato de Aluminio.



**a.** Pesaje del Sulfato de Aluminio (2000mg) para preparar la suspensión a 200000 ppm de concentración.



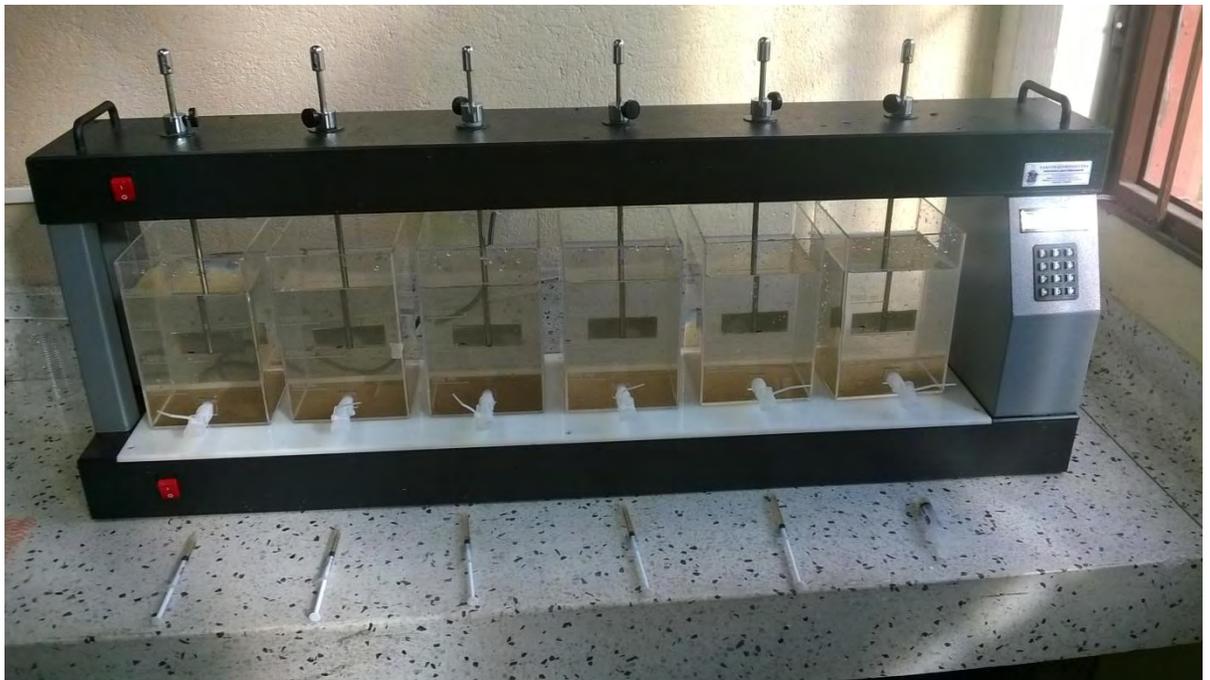
**b.** Dilución del Sulfato de Aluminio con agua destilada en un balón volumétrico de 100ml.



**c.** Comparación entre Sulfato de Aluminio como coagulante convencional y el Almidón de Maíz como alternativa natural.



**d.** Dosis de Sulfato de Aluminio dadas por el rango óptimo.



**e.** Programación del equipo de jarras y ubicación de menor a mayor de las dosis a emplear en el tratamiento.



**f.** Inyección de las diferentes dosis en cada una de las jarras, aproximadamente las 6 inyecciones al mismo tiempo.



**g.** Toma de apuntes de observaciones como formación del floc, tamaño del floc y del comportamiento que sufre la muestra durante el proceso.



**h.** Lodo residual contaminado con Sulfato de Aluminio



**i.** Partículas sedimentadas una vez terminado el tratamiento de la fuente.

## ANEXO 2. REPORTE DE DATOS Y RESULTADOS

**Anexo 2.1 Reporte de datos y resultados del Ensayo 1 y el Ensayo 2, empleando Almidón de Maíz como coagulante natural**

**Tabla a. Parámetros iniciales de la muestra Ensayo 1 y 2**

Ensayo #	Fecha Ensayo	Origen muestreo	Fecha muestreo	Turbiedad inicial (NTU)	Alcalinidad total (mg/l)		Color Aparente (UPC)					pH	Temp. (°C)	
					Gasto (ml)	Alcalinidad	ABS	0,054	0,046	0,043	0,062			0,059
1,2	02/10/2014	Quebrada Genoy	30/09/2014	29,7	1,25	25	ABS	0,054	0,046	0,043	0,062	0,059	7,84	17,4
							Promedio ABS	0,0528						
							Color resultante:	96,44632						

**Tabla b. Parámetros de mezcla en el equipo**

MEZCLA RAPIDA			MEZCLA LENTA			SEDIMENTACION
G (S <sup>-1</sup> )	r.p.m	Tiempo (seg)	G (S <sup>-1</sup> )	r.p.m	Tiempo (min)	Tiempo (min)
375	300	30	17.5	24	20	30

**Anexo 2.1.1 Reporte de datos y resultados ensayo 1 empleando almidón de maíz como coagulante natural**

**Tabla a. Valores de Absorbancia para determinar color y gasto de Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para determinar alcalinidad total del Ensayo 1**

Vaso	Gasto H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)	Abs Color residual (1)		Abs Color residual después de filtrar (2)			Promedio	
1	1,15	1	0,020	0,021	0,021	0,021	0,021	0,0208
		2	0,005	0,004	0,002	0,003	0,003	0,0034
2	1,275	1	0,022	0,022	0,022	0,023	0,023	0,0224
		2	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006	0,0048
3	1,4	1	0,027	0,028	0,028	0,028	0,028	0,0278
		2	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0010
4	1,55	1	0,039	0,037	0,039	0,040	0,038	0,0386
		2	0,011	0,011	0,011	0,012	0,012	0,0114
5	1,65	1	0,038	0,038	0,039	0,039	0,038	0,0384
		2	0,007	0,008	0,009	0,009	0,008	0,0082
6	1,675	1	0,046	0,045	0,045	0,045	0,047	0,0456
		2	0,009	0,009	0,011	0,011	0,011	0,0102
FORMULAS	Color = -0,475+(1835,65*Abs)		Alcalinidad = ml de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> *N*50000/ml muestra utilizada					

**Tabla b. Registro de parámetros obtenidos y porcentaje de remoción del Ensayo 1**

Vaso	Dosis (mg/l)	Observación visual			Parámetros Físicoquímicos							% Remoción turbiedad		%Remoción color	
		Formación floc (min)	Calidad del proceso		Turbiedad residual (NTU)	Turbiedad residual Filtrada (NTU)	Color Residual (UPC)	Color Residual Filtrado (UPC)	Alcalinidad (mgCaO3/l)	pH	Temp. (°C)	Residual	Residual Filtrada	Residual	Residual Filtrado
			Floc (Tabla 2) y tamaño aprox	Sobrenadante (Tabla 3)											
1	5	6	4, C	4,5	5,44	0,35	37,71	5,77	23	7,83	18,3	81,68	98,82	60,91	94,02
2	10	7	4,C	4,5	5,06	0,7	40,64	8,34	25,5	8,17	18,5	82,96	97,64	57,86	91,36
3	20	7	4,C	4,5	5,15	0,55	50,56	1,36	28	8,45	18,4	82,66	98,15	47,58	98,59
4	30	7	4,C	4,5	5,95	0,86	70,38	20,45	31	8,84	18,5	79,97	97,1	27,03	78,8
5	40	10	4,C	4,5	5,81	0,47	70,01	14,58	33	9,1	18,6	80,44	98,42	27,41	84,89
6	50	10	4,B	4,5	6,49	0,86	83,23	18,25	33,5	9,11	18,6	78,15	97,1	13,7	81,08

**Anexo 2.1.2 Reporte de datos y resultados Ensayo 2 empleando Almidón de Maíz como coagulante natural**

**Tabla a. Valores de Absorbancia para determinar color y gasto de Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para determinar alcalinidad total del Ensayo 2**

Vaso	Gasto H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)	Abs Color residual (1)		Abs Color residual después de filtrar (2)				Promedio
1	1,2	1	0,026	0,026	0,027	0,027	0,027	0,0266
		2	0,001	0,002	0,002	0,002	0,004	0,0022
2	1,2	1	0,024	0,025	0,025	0,024	0,026	0,0248
		2	0,002	0,003	0,003	0,005	0,005	0,0036
3	1,25	1	0,024	0,025	0,025	0,025	0,025	0,0248
		2	0,001	0,002	0,002	0,000	0,000	0,0010
4	1,3	1	0,036	0,034	0,035	0,035	0,035	0,0350
		2	0,007	0,009	0,010	0,010	0,010	0,0092
5	1,3	1	0,030	0,031	0,031	0,033	0,031	0,0312
		2	0,002	0,004	0,005	0,005	0,005	0,0042
6	1,325	1	0,027	0,025	0,027	0,027	0,027	0,0266
		2	0,005	0,007	0,007	0,007	0,007	0,0066
FORMULAS	Color = $-0,475+(1835,65 \cdot \text{Abs})$			Alcalinidad = ml de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> *N*50000/ml muestra utilizada				

**Tabla b. Registro de parámetros obtenidos y porcentaje de remoción del Ensayo 2**

Vaso	Dosis (mg/l)	Observación visual			Parámetros Fisicoquímicos							% Remoción turbiedad		%Remoción color	
		Formación floc (min)	Calidad del proceso		Turbiedad Residual (NTU)	Turbiedad Residual Filtrada (NTU)	Color Residual (UPC)	Color residual Filtrado (UPC)	Alcalinidad (mgCaO3/l)	pH	Temp. (°C)	Residual	Residual Filtrada	Residual	Residual Filtrado
			Floc (Tabla 2) y tamaño aprox	Sobrenadante (Tabla 3)											
1	3	2	2, C	2	4,54	0,41	48,35	3,56	24	8,31	18,1	84,71	98,64	49,87	96,31
2	5	2	4,C	2	4,63	0,65	45,05	6,13	24	8,3	18	84,41	97,81	53,29	93,64
3	8	2	4, C,D	4	4,46	0,5	45,05	1,36	25	8,23	18	84,98	98,32	53,29	98,59
4	10	2	4,C,D	2	4,43	0,61	63,77	16,41	26	8,27	18,1	85,08	97,95	33,88	82,98
5	13	2	4,C	3	4,38	0,41	56,80	7,23	26	8,47	18,1	85,25	98,62	41,11	92,50
6	15	2	4,C,D	3	3,92	0,65	48,35	11,64	26,5	8,5	18,1	86,80	97,81	49,87	87,93

**Anexo 2.2 Reporte de datos y resultados de los Ensayos 3, 4 y 5, empleando Almidón de Maíz como coagulante natural**

**Tabla a. Parámetros iniciales de la muestra Ensayo 3, 4 y 5**

Ensayo #	Fecha Ensayo	Origen muestreo	Fecha muestreo	Turbiedad Inicial (NTU)	Alcalinidad Total (mg/l)		Color Aparente (UPC)					pH	Temp. (°C)	
					Gasto (ml)	Alcalinidad	ABS	0,067	0,048	0,048	0,046			0,045
3,4,5	03/10/2014	Quebrada Genoy	30/09/2014	29,4	1,15	23	ABS	0,067	0,048	0,048	0,046	0,045	8,03	16,9
							Promedio ABS	0,0508						
							Color resultante:	92,77502						

**Tabla b. Parámetros de mezcla en el equipo**

MEZCLA RAPIDA			MEZCLA LENTA			SEDIMENTACION
G (S <sup>-1</sup> )	r.p.m	Tiempo (seg)	G (S <sup>-1</sup> )	r.p.m	Tiempo (min)	Tiempo (min)
375	300	30	17.5	24	20	30

**Anexo 2.2.1 Reporte de datos y resultados del Ensayo 3 empleando Almidón de Maíz como coagulante natural**

**Tabla a. Valores de Absorbancia para determinar color y gasto de Ácido Sulfúrico (H2SO4) para determinar alcalinidad total del Ensayo 3**

Vaso	Gasto H2SO4 (ml)	Abs Color residual (1)		Abs Color residual después de filtrar (2)			Promedio	
1	1,2	1	0,023	0,023	0,025	0,024	0,025	0,0240
		2	0,002	0,002	0,003	0,004	0,006	0,0034
2	1,25	1	0,025	0,022	0,023	0,023	0,024	0,0234
		2	0,005	0,006	0,006	0,007	0,007	0,0062
3	1,25	1	0,022	0,021	0,021	0,021	0,021	0,0212
		2	0,004	0,005	0,005	0,006	0,006	0,0052
4	1,25	1	0,023	0,025	0,023	0,023	0,022	0,0232
		2	0,005	0,006	0,005	0,007	0,006	0,0058
5	1,2	1	0,024	0,025	0,025	0,024	0,024	0,0244
		2	0,008	0,008	0,009	0,010	0,010	0,0090
6	1,25	1	0,032	0,032	0,032	0,033	0,033	0,0324
		2	0,015	0,015	0,017	0,017	0,017	0,0162
FORMULAS	Color = -0,475+(1835,65*Abs)			Alcalinidad = ml de H2SO4*N*50000/ml muestra utilizada				

**Tabla b. Registro de parámetros obtenidos y porcentaje de remoción del Ensayo 3**

Vaso	Dosis (mg/l)	Observación visual			Parámetros Físicoquímicos							% Remoción turbiedad		%Remoción color	
		Formación floc (min)	Calidad del proceso		Turbiedad Residual (NTU)	Turbiedad Residual Filtrada (NTU)	Color Residual (UPC)	Color residual Filtrado (UPC)	Alcalinidad (mgCaO3/l)	pH	Temp. (°C)	Residual	Residual Filtrada	Residual	Residual Filtrado
			Floc (Tabla 2) y tamaño aprox	Sobrenadante (Tabla 3)											
1	5	10	4,D	4	4,08	0,46	43,58	5,77	24	8,35	17,9	86,12	98,44	53,03	93,79
2	6	10	4,D	4	3,7	0,6	42,48	10,91	25	8,42	17,9	87,41	97,96	54,21	88,25
3	7	10	6,D	4	3,91	0,45	38,44	9,07	25	8,51	18	86,7	98,47	58,57	90,22
4	8	7	8,E	4	4,11	0,36	42,11	10,17	25	8,49	17,7	86,02	98,78	54,61	89,04
5	9	7	4,E	4	4,16	0,35	44,31	16,04	24	8,45	17,9	85,85	98,81	52,24	82,71
6	10	7	4,E	4	3,95	0,44	59	29,26	25	8,6	17,9	86,56	98,5	36,41	68,46

**Anexo 2.2.2 Reporte de datos y resultados Ensayo 4 empleando Almidón de Maíz como coagulante natural**

**Tabla a. Valores de Absorbancia para determinar color y gasto de Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para determinar alcalinidad total del Ensayo 4**

Vaso	Gasto H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)	Abs Color residual (1)		Abs Color residual después de filtrar (2)			Promedio	
1	1,17	1	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,0260
		2	0,001	0,001	0,002	0,003	0,005	0,0024
2	1,23	1	0,021	0,021	0,021	0,022	0,021	0,0212
		2	0,006	0,007	0,008	0,007	0,006	0,0068
3	1,25	1	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,0254
		2	0,004	0,005	0,006	0,005	0,006	0,0052
4	1,2	1	0,028	0,029	0,027	0,029	0,028	0,0282
		2	0,004	0,005	0,005	0,005	0,007	0,0052
5	1,17	1	0,026	0,028	0,028	0,027	0,029	0,0276
		2	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009	0,0086
6	1,25	1	0,036	0,034	0,034	0,035	0,035	0,0348
		2	0,016	0,016	0,017	0,017	0,017	0,0166
FORMULAS	Color = -0,475+(1835,65*Abs)		Alcalinidad = ml de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> *N*50000/ml muestra utilizada					

**Tabla b. Registro de parámetros obtenidos y porcentaje de remoción del Ensayo 4**

Vaso	Dosis (mg/l)	Observación visual			Parámetros Físicoquímicos							% Remoción turbiedad		%Remoción color	
		Formación floc (min)	Calidad del proceso		Turbiedad Residual (NTU)	Turbiedad Residual Filtrada (NTU)	Color Residual (UPC)	Color residual Filtrado (UPC)	Alcalinidad (mgCaO3/l)	pH	Temp. (°C)	Residual	Residual Filtrada	Residual	Residual Filtrado
			Floc (Tabla 2) y tamaño aprox	Sobrenadante (Tabla 3)											
1	5	4	4,D	4	4,3	0,93	47,25	3,93	23,4	8,35	18,9	85,37	96,84	49,07	95,76
2	6	4	4,D	4	4	0,47	38,44	12,01	24,6	8,41	18,8	86,39	98,40	58,57	87,06
3	7	4	4,D	4	4,34	0,35	46,15	9,07	25	8,43	18,4	85,24	98,81	50,26	90,22
4	8	4	4,D	4	4,22	0,36	51,29	9,07	24	8,52	18,4	85,65	98,78	44,72	90,22
5	9	4	4,D,E	4	4,15	0,3	50,19	15,31	23,4	8,54	18,6	85,88	98,98	45,90	83,50
6	10	4	4,E	4	3,67	0,43	63,40	30,00	25	8,57	18,6	87,52	98,54	31,66	67,67

### Anexo 2.2.3 Reporte de resultados Ensayo 5 empleando Almidón de Maíz como coagulante natural

#### Tabla a. Valores de Absorbancia para determinar color y gasto de Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para determinar alcalinidad total del Ensayo 5

Vaso	Gasto H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)	Abs Color residual (1)		Abs Color residual después de filtrar (2)			Promedio	
1	1,25	1	0,027	0,027	0,028	0,029	0,030	0,0282
		2	0,004	0,004	0,006	0,006	0,007	0,0054
2	1,225	1	0,027	0,027	0,027	0,029	0,029	0,0278
		2	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,0014
3	1,275	1	0,028	0,028	0,028	0,030	0,028	0,0284
		2	0,001	0,003	0,002	0,002	0,004	0,0024
4	1,175	1	0,027	0,027	0,029	0,028	0,029	0,0280
		2	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,0040
5	1,25	1	0,038	0,038	0,036	0,037	0,038	0,0374
		2	0,017	0,018	0,018	0,018	0,016	0,0174
6	1,25	1	0,037	0,038	0,038	0,038	0,037	0,0376
		2	0,008	0,007	0,008	0,008	0,009	0,0080
FORMULAS	Color = $-0,475+(1835,65 \cdot \text{Abs})$		Alcalinidad = ml de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> *N*50000/ml muestra utilizada					

**Tabla b. Registro de parámetros obtenidos y porcentaje de remoción del Ensayo 5**

Vaso	Dosis (mg/l)	Observación visual			Parámetros Fisicoquímicos							% Remoción turbiedad		%Remoción color	
		Formación floc (min)	Calidad del proceso		Turbiedad Residual (NTU)	Turbiedad Residual Filtrada (NTU)	Color Residual (UPC)	Color residual Filtrado (UPC)	Alcalinidad (mgCaO3/l)	pH	Temp. (°C)	Residual	Residual Filtrada	Residual	Residual Filtrado
			Floc (Tabla 2) y tamaño aprox	Sobrenadante (Tabla 3)											
1	5	3	4,D,E	5,4	4,06	0,58	51,29	9,44	25	8,39	19,1	86,19	98,03	44,72	89,83
2	6	3	4,D,E	5,4	3,96	0,76	50,56	2,09	24,5	8,44	19,7	86,53	97,41	45,51	97,74
3	7	3	4,D	5,4	4,5	0,36	51,66	3,93	25,5	8,48	18,8	84,69	98,78	44,32	95,76
4	8	3	4,D	5,4	4,15	0,63	50,92	6,87	23,5	8,49	18,7	85,88	97,86	45,11	92,60
5	9	3	4,D	5,4	4,33	0,94	68,18	31,46	25	8,53	19,9	85,27	96,80	26,51	66,09
6	10	3	4,D	5,4	4,3	0,8	68,54	14,21	25	8,59	19,3	85,37	97,28	26,12	84,68

**Anexo 2.3 Reporte de datos y resultados de los Ensayos 6, 7 y 8 de laboratorio empleando Sulfato de Aluminio como coagulante convencional**

**Tabla a. Parámetros iniciales de la muestra Ensayos 6, 7 y 8**

Ensayo #	Fecha Ensayo	Origen muestreo	Fecha muestreo	Turbiedad inicial (NTU)	Alcalinidad total (ml)		Color Aparente (UPC)						pH	Temp. (°C)	
					Gasto (ml)	Alcalinidad	ABS	0,058	0,053	0,051	0,049	0,048			
6,7,8	03/10/2014	Quebrada Genoy	30/09/2014	32	1,20	24	ABS	0,058	0,053	0,051	0,049	0,048	8,03	16,9	
							Promedio ABS	0,0518							
							Color resultante:	94,61067							

**Tabla b. Parámetros de mezcla en el equipo**

MEZCLA RAPIDA			MEZCLA LENTA			SEDIMENTACION
G (S <sup>-1</sup> )	r.p.m	Tiempo (seg)	G (S <sup>-1</sup> )	r.p.m	Tiempo (min)	Tiempo (min)
375	300	30	17.5	24	20	30

**Anexo 2.3.1 Reporte de datos y resultados Ensayo 6 empleando Sulfato de Aluminio como coagulante convencional.**

**Tabla a. Valores de Absorbancia para determinar color y gasto de Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para determinar alcalinidad total del Ensayo 6**

Vaso	Gasto H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)	Abs Color residual (1)		Abs Color residual después de filtrar (2)			Promedio	
1	1,15	1	0,028	0,028	0,029	0,031	0,033	0,0298
		2	0,003	0,005	0,006	0,007	0,006	0,0054
2	1,2	1	0,022	0,022	0,023	0,024	0,025	0,0232
		2	0,001	0,002	0,002	0,003	0,004	0,0024
3	1,15	1	0,027	0,029	0,029	0,028	0,028	0,0282
		2	0,007	0,009	0,009	0,009	0,010	0,0088
4	1,1	1	0,032	0,033	0,034	0,034	0,033	0,0332
		2	0,005	0,006	0,008	0,008	0,008	0,0070
5	1,15	1	0,035	0,039	0,040	0,040	0,040	0,0388
		2	0,015	0,018	0,018	0,019	0,019	0,0178
6	1,1	1	0,033	0,034	0,035	0,035	0,034	0,0342
		2	0,005	0,006	0,006	0,008	0,007	0,0064
FORMULAS	Color = $-0,475+(1835,65 \cdot \text{Abs})$		Alcalinidad = ml de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> *N*50000/ml muestra utilizada					

**Tabla b. Registro de parámetros obtenidos y porcentaje de remoción del Ensayo 6**

Vaso	Dosis (mg/l)	Observación visual			Parámetros Físicoquímicos							% Remoción turbiedad		%Remoción color	
		Formación floc (min)	Calidad del proceso		Turbiedad Residual (NTU)	Turbiedad Residual Filtrada (NTU)	Color Residual (UPC)	Color residual Filtrado (UPC)	Alcalinidad (mgCaO3/l)	pH	Temp. (°C)	Residual	Residual Filtrada	Residual	Residual Filtrado
			Floc (Tabla 2) y tamaño aprox	Sobrenadante (Tabla 3)											
1	5	3	4,D,E	4	5,82	0,68	54,23	9,44	23	8,18	18,8	81,81	97,88	42,68	90,03
2	6	3	4,D,E	4	5,55	1,23	42,11	3,93	24	8,03	18,9	82,66	96,16	55,49	95,85
3	7	3	4,E	4	5,65	0,62	51,29	15,68	23	7,89	18,9	82,34	98,06	45,79	83,43
4	8	3	4,E	4	6,01	0,46	60,47	12,37	22	7,9	18,9	81,22	98,56	36,09	86,92
5	9	3	4,E	4	5,63	0,58	70,75	32,20	23	7,82	18,9	82,41	98,19	25,22	65,97
6	10	3	4,E	4	5,41	0,31	62,30	11,27	22	7,79	18,9	83,09	99,03	34,15	88,09

**Anexo 2.3.2 Reporte de resultados Ensayo 7 empleando Sulfato de Aluminio como coagulante convencional**

**Tabla a. Valores de Absorbancia para determinar color y gasto de Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para determinar alcalinidad total del Ensayo 7**

Vaso	Gasto H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)	Abs Color residual (1)		Abs Color residual después de filtrar (2)			Promedio	
1	1,45	1	0,034	0,032	0,034	0,033	0,033	0,0332
		2	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,0020
2	1,3	1	0,033	0,033	0,032	0,035	0,034	0,0334
		2	0,000	0,002	0,002	0,000	0,002	0,0012
3	1,2	1	0,029	0,030	0,030	0,030	0,033	0,0304
		2	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0002
4	1,15	1	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,0270
		2	0,001	0,001	0,003	0,003	0,003	0,0022
5	1,1	1	0,026	0,031	0,031	0,031	0,033	0,0304
		2	0,000	0,002	0,002	0,002	0,001	0,0014
6	1	1	0,030	0,034	0,034	0,037	0,034	0,0338
		2	0,006	0,006	0,008	0,008	0,008	0,0072
FORMULAS	Color = -0,475+(1835,65*Abs)		Alcalinidad = ml de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> *N*50000/ml muestra utilizada					

**Tabla b. Registro de parámetros obtenidos y porcentaje de remoción del Ensayo 7**

Vaso	Dosis (mg/l)	Observación visual			Parámetros Físicoquímicos							% Remoción turbiedad		%Remoción color	
		Formación floc (min)	Calidad del proceso		Turbiedad Residual (NTU)	Turbiedad Residual Filtrada (NTU)	Color Residual (UPC)	Color residual Filtrado (UPC)	Alcalinidad (mgCaO3/l)	pH	Temp. (°C)	Residual	Residual Filtrada	Residual	Residual Filtrado
			Floc (Tabla 2) y tamaño aprox	Sobrenadante (Tabla 3)											
1	5	2	4,D,E	4	5,12	0,97	60,47	3,20	29	8,09	18,5	84,00	96,97	36,09	96,62
2	6	2	4,D,E	4	5,6	0,47	60,83	1,73	26	8,06	18,3	82,50	98,53	35,70	98,17
3	7	2	4,E	4	5,03	0,72	55,33	0,11	24	8,03	18,3	84,28	97,75	41,52	99,88
4	8	2	4,E	4	4,97	0,7	49,09	3,56	23	7,95	18,3	84,47	97,81	48,12	96,23
5	9	2	4,E	4	5,14	0,36	55,33	2,09	22	7,88	18,3	83,94	98,88	41,52	97,79
6	10	2	4,E	4	5,43	0,15	61,57	12,74	20	7,81	18,6	83,03	99,53	34,92	86,53

**Anexo 2.3.3 Reporte de resultados Ensayo 8 empleando Sulfato de Aluminio como coagulante convencional**

**Tabla a. Valores de Absorbancia para determinar color y gasto de Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para determinar alcalinidad total del Ensayo 8**

Vaso	Gasto H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)	Abs Color residual (1)		Abs Color residual después de filtrar (2)			Promedio	
1	1,15	1	0,035	0,036	0,039	0,035	0,035	0,0360
		2	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,0016
2	1,15	1	0,033	0,033	0,034	0,032	0,034	0,0332
		2	0,001	0,001	0,002	0,000	0,001	0,0010
3	1,1	1	0,039	0,039	0,040	0,038	0,040	0,0392
		2	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0010
4	1,1	1	0,032	0,034	0,032	0,035	0,033	0,0332
		2	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,0018
5	1,1	1	0,035	0,035	0,033	0,034	0,034	0,0342
		2	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,0020
6	1	1	0,031	0,031	0,031	0,032	0,032	0,0314
		2	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0002
FORMULAS	Color = -0,475+(1835,65*Abs)		Alcalinidad = ml de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> *N*50000/ml muestra utilizada					

**Tabla b. Registro de parámetros obtenidos y porcentaje de remoción del Ensayo 8**

Vaso	Dosis (mg/l)	Observación visual			Parámetros Físicoquímicos							% Remoción turbiedad		%Remoción color	
		Formación floc (min)	Calidad del proceso		Turbiedad Residual (NTU)	Turbiedad Residual Filtrada (NTU)	Color Residual (UPC)	Color residual Filtrado (UPC)	Alcalinidad (mgCaO3/l)	pH	Temp. (°C)	Residual	Residual Filtrada	Residual	Residual Filtrado
			Floc (Tabla 2) y tamaño aprox	Sobrenadante (Tabla 3)											
1	5	3	4,D,E	4,5	7,13	0,32	65,61	2,46	23	8,03	18,4	77,72	99,00	30,66	97,40
2	6	3	4,D,E	4,5	6,55	0,37	60,47	1,36	23	8,07	18,6	79,53	98,84	36,09	98,56
3	7	3	4,E	4,5	6,71	0,9	71,48	1,36	22	7,87	18,5	79,03	97,19	24,45	98,56
4	8	3	4,E	4,5	7,02	0,49	60,47	2,83	22	7,98	18,5	78,06	98,47	36,09	97,01
5	9	3	4,E	4,5	6,5	0,43	62,30	3,20	22	8,02	18,5	79,69	98,66	34,15	96,62
6	10	3	4,E	4,5	6,92	0,12	57,16	0,11	20	7,98	18,4	78,38	99,63	39,58	99,88

## Anexo 2.4 Reporte del análisis estadístico (Tablas de análisis estadístico obtenidas en el software Statgraphics Centurion XVI-I)

### Atributos del Diseño Multi-factor Categórico

Clase de diseño: Multi-factor Categórico

Nombre del archivo: C:\Users\David\Desktop\TESIS\TESIS ALMIDON DE MAÍZ\ELABORACION TESIS 2014\DISEÑO ESTADISTICO FINAL\RESULTADOS EN UNIDADES\Resultados inicial y filtrado en unidades.sfx

Comentario: C:\Users\David\Desktop\Resultados inicial y filtrado

#### **Diseño Base**

Número de factores experimentales: 2

Número de respuestas: 4

Número de corridas: 36

Grados de libertad para el error: 24

Aleatorizar: No

<i>Factores</i>	<i>Niveles</i>	<i>Unidades</i>
Coagulantes	2	
Dosis	6	

<i>Respuestas</i>	<i>Unidades</i>
Color residual (UPC)	
Color residual filtrado (UPC)	
Turbiedad residual (NTU)	
Turbiedad residual filtrada (NTU)	

<i>Respuestas</i>	<i>Unidades</i>
Remoción de color residual (%)	
Remoción de color residual filtrado (%)	
Remoción de turbiedad residual (%)	
Remoción de turbiedad residual filtrada (%)	

#### **El StatAdvisor**

Usted ha creado un diseño experimental el cual estimará los efectos de 2 factores categóricos. El diseño es un factorial estándar que consiste en todas las combinaciones de los niveles de los factores. Hay un total de 36 corridas en el diseño.

## Anexo 2.4.1 Resultado color residual (UPC)

### Análisis de Varianza para Color residual (UPC) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Coagulantes	654,251	1	654,251	11,66	0,0023
B:Dosis	660,814	5	132,163	2,36	0,0711
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	287,27	5	57,454	1,02	0,4257
RESIDUOS	1346,53	24	56,1054		
TOTAL (CORREGIDO)	2948,86	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### El StatAdvisor

La Tabla ANOVA descompone la variabilidad de Color residual (UPC) en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Color residual (UPC) con un 95,0% de nivel de confianza.

#### Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Color residual (UPC) con intervalos de confianza del 95,0%

			Error	Límite	Límite
Nivel	Casos	Media	Est.	Inferior	Superior
MEDIA GLOBAL	36	54,6958			
Coagulantes					
Almidón de Maíz	18	4	1,76549	46,789	54,0766
Sulfato de Aluminio	18	58,9589	1,76549	55,3151	62,6027
Dosis					
5	6	53,7383	3,05792	47,4271	60,0496
6	6	49,1483	3,05792	42,8371	55,4596
7	6	52,3917	3,05792	46,0804	58,7029
8	6	52,3917	3,05792	46,0804	58,7029
9	6	58,51	3,05792	52,1987	64,8213
10	6	61,995	3,05792	55,6837	68,3063
Coagulantes por Dosis					
Almidón de Maíz,5	3	47,3733	4,32456	38,4479	56,2988
Almidón de Maíz,6	3	43,8267	4,32456	34,9012	52,7521
Almidón de Maíz,7	3	45,4167	4,32456	36,4912	54,3421
Almidón de Maíz,8	3	48,1067	4,32456	39,1812	57,0321
Almidón de Maíz,9	3	54,2267	4,32456	45,3012	63,1521
Almidón de Maíz,10	3	63,6467	4,32456	54,7212	72,5721
Sulfato de Aluminio,5	3	60,1033	4,32456	51,1779	69,0288
Sulfato de Aluminio,6	3	54,47	4,32456	45,5445	63,3955
Sulfato de Aluminio,7	3	59,3667	4,32456	50,4412	68,2921
Sulfato de Aluminio,8	3	56,6767	4,32456	47,7512	65,6021
Sulfato de Aluminio,9	3	62,7933	4,32456	53,8679	71,7188
Sulfato de Aluminio,10	3	60,3433	4,32456	51,4179	69,2688

#### El StatAdvisor

Esta Tabla muestra la media de Color residual (UPC) para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionado Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Color residual (UPC) por Coagulantes

Método: 95,0 porcentaje LSD

Coagulantes	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Almidón de Maíz	18	50,4328	1,76549	X
Sulfato de Aluminio	18	58,9589	1,76549	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Almidón de Maíz - Sulfato de Aluminio	*	-8,52611	5,15312

\* indica una diferencia significativa.

#### El StatAdvisor

Esta Tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco jNTUo a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

### Resultados porcentaje de remoción de color residual (%)

#### Análisis de Varianza para Remoción de color residual (%) -Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Coagulantes	569,856	1	569,856	8,93	0,0064
B:Dosis	761,036	5	152,207	2,39	0,0683
INTERACCIONES					
AB	334,999	5	66,9998	1,05	0,4118
RESIDUOS	1531,14	24	63,7976		
TOTAL (CORREGIDO)	3197,03	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### El StatAdvisor

La Tabla ANOVA descompone la variabilidad de Remoción de color residual (%) en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Remoción de color residual (%) con un 95,0% de nivel de confianza.

**Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Remoción de color residual (%) con intervalos de confianza del 95,0%**

			<i>Error</i>	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>
<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Est.</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
MEDIA GLOBAL	36	41,6625			
Coagulantes					
Almidón de Maíz	18	45,6411	1,88263	41,7555	49,5267
Sulfato de Aluminio	18	37,6839	1,88263	33,7983	41,5695
Dosis					
5	6	42,7083	3,26082	35,9783	49,4383
6	6	47,595	3,26082	40,865	54,325
7	6	44,1517	3,26082	37,4217	50,8817
8	6	44,1233	3,26082	37,3933	50,8533
9	6	37,59	3,26082	30,86	44,32
10	6	33,8067	3,26082	27,0767	40,5367
Coagulantes por Dosis					
Almidón de Maíz,5	3	48,94	4,61149	39,4223	58,4577
Almidón de Maíz,6	3	52,7633	4,61149	43,2457	62,281
Almidón de Maíz,7	3	51,05	4,61149	41,5323	60,5677
Almidón de Maíz,8	3	48,1467	4,61149	38,629	57,6643
Almidón de Maíz,9	3	41,55	4,61149	32,0323	51,0677
Almidón de Maíz,10	3	31,3967	4,61149	21,879	40,9143
Sulfato de Aluminio,5	3	36,4767	4,61149	26,959	45,9943
Sulfato de Aluminio,6	3	42,4267	4,61149	32,909	51,9443
Sulfato de Alminiou,7	3	37,2533	4,61149	27,7357	46,771
Sulfato de Aluminio,8	3	40,1	4,61149	30,5823	49,6177
Sulfato de Aluminio,9	3	33,63	4,61149	24,1123	43,1477
Sulfato de Aluminio,10	3	36,2167	4,61149	26,699	45,7343

#### El StatAdvisor

Esta Tabla muestra la media de Remoción de color residual (%) para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionado Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Remoción de color residual (%) por Coagulantes

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Coagulantes</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Sulfato de Aluminio	18	37,6839	1,88263	X
Almidón de Maíz	18	45,6411	1,88263	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Almidón de Maíz - Sulfato de Aluminio	*	7,95722	5,49503

\* indica una diferencia significativa.

#### El StatAdvisor

Esta Tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco jNTUo a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

## Anexo 2.4.2 Resultado color residual filtrado (UPC)

### Análisis de Varianza para Color residual filtrado (UPC) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Coagulantes	329,846	1	329,846	5,90	0,0230
B:Dosis	853,452	5	170,69	3,05	0,0284
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	252,606	5	50,5213	0,90	0,4946
RESIDUOS	1340,99	24	55,8746		
TOTAL (CORREGIDO)	2776,9	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### El StatAdvisor

La Tabla ANOVA descompone la variabilidad de Color residual filtrado (UPC) en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Color residual filtrado (UPC) con un 95,0% de nivel de confianza.

#### Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Color residual filtrado (UPC) con intervalos de confianza del 95,0%

Nivel	Casos	Media	Error Est.	Límite Inferior	Límite Superior
MEDIA GLOBAL	36	9,67361			
Coagulantes					
Almidón de Maíz	18	12,7006	1,76186	9,06425	16,3369
Sulfato de Aluminio	18	6,64667	1,76186	3,01036	10,283
Dosis					
5	6	5,70667	3,05163	-0,591599	12,0049
6	6	5,33833	3,05163	-0,959933	11,6366
7	6	6,53667	3,05163	0,238401	12,8349
8	6	7,47833	3,05163	1,18007	13,7766
9	6	16,7167	3,05163	10,4184	23,0149
10	6	16,265	3,05163	9,96673	22,5633
Coagulantes por Dosis					
Almidón de Maíz,5	3	6,38	4,31566	-2,52709	15,2871
Almidón de Maíz,6	3	8,33667	4,31566	-0,570426	17,2438
Almidón de Maíz,7	3	7,35667	4,31566	-1,55043	16,2638
Almidón de Maíz,8	3	8,70333	4,31566	-0,20376	17,6104
Almidón de Maíz,9	3	20,9367	4,31566	12,0296	29,8438
Almidón de Maíz,10	3	24,49	4,31566	15,5829	33,3971
Sulfato de Aluminio,5	3	5,03333	4,31566	-3,87376	13,9404
Sulfato de Aluminio,6	3	2,34	4,31566	-6,56709	11,2471
Sulfato de Aluminio,7	3	5,71667	4,31566	-3,19043	14,6238
Sulfato de Aluminio,8	3	6,25333	4,31566	-2,65376	15,1604
Sulfato de Aluminio,9	3	12,4967	4,31566	3,58957	21,4038
Sulfato de Aluminio,10	3	8,04	4,31566	-0,867093	16,9471

#### El StatAdvisor

Esta Tabla muestra la media de Color residual filtrado (UPC) para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionando Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Color residual filtrado (UPC) por Coagulantes

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Coagulantes</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Sulfato de Aluminio	18	6,64667	1,76186	X
Almidón de Maíz	18	12,7006	1,76186	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Almidón de Maíz - Sulfato de Aluminio	*	6,05389	5,14251

\* indica una diferencia significativa.

#### El StatAdvisor

Esta Tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco jNTUo a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

## Resultados porcentaje de remoción de color residual filtrado (%)

### Análisis de Varianza para Remoción de color residual filtrado (%) - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Coagulantes	399,6	1	399,6	6,32	0,0190
B:Dosis	980,947	5	196,189	3,11	0,0266
INTERACCIONES					
AB	296,295	5	59,259	0,94	0,4744
RESIDUOS	1516,31	24	63,1797		
TOTAL (CORREGIDO)	3193,16	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### El StatAdvisor

La Tabla ANOVA descompone la variabilidad de Remoción de color residual filtrado (%) en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Remoción de color residual filtrado (%) con un 95,0% de nivel de confianza.

**Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Remoción de color residual filtrado (%) con intervalos de confianza del 95,0%**

			<i>Error</i>	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>
<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Est.</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
MEDIA GLOBAL	36	89,6428			
Coagulantes					
Almidón de Maíz	18	86,3111	1,8735	82,4444	90,1778
Sulfato de Aluminio	18	92,9744	1,8735	89,1077	96,8412
Dosis					
5	6	93,905	3,24499	87,2077	100,602
6	6	94,2717	3,24499	87,5743	100,969
7	6	93,0117	3,24499	86,3143	99,709
8	6	92,0033	3,24499	85,306	98,7007
9	6	82,1133	3,24499	75,416	88,8107
10	6	82,5517	3,24499	75,8543	89,249
Coagulantes por Dosis					
Almidón de Maíz,5	3	93,1267	4,58911	83,6552	102,598
Almidón de Maíz,6	3	91,0167	4,58911	81,5452	100,488
Almidón de Maíz,7	3	92,0667	4,58911	82,5952	101,538
Almidón de Maíz,8	3	90,62	4,58911	81,1485	100,091
Almidón de Maíz,9	3	77,4333	4,58911	67,9619	86,9048
Almidón de Maíz,10	3	73,6033	4,58911	64,1319	83,0748
Sulfato de Aluminio,5	3	94,6833	4,58911	85,2119	104,155
Sulfato de Aluminio,6	3	97,5267	4,58911	88,0552	106,998
Sulfato de Aluminio,7	3	93,9567	4,58911	84,4852	103,428
Sulfato de Aluminio,8	3	93,3867	4,58911	83,9152	102,858
Sulfato de Aluminio,9	3	86,7933	4,58911	77,3219	96,2648
Sulfato de Aluminio,10	3	91,5	4,58911	82,0285	100,971

#### El StatAdvisor

Esta Tabla muestra la media de Remoción de color residual filtrado (%) para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionado Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Remoción de color residual filtrado (%) por Coagulantes

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Coagulantes</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Almidón de Maíz	18	86,3111	1,8735	X
Sulfato de Aluminio	18	92,9744	1,8735	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Almidón de Maíz - Sulfato de Aluminio	*	-6,66333	5,46836

\* indica una diferencia significativa.

#### El StatAdvisor

Esta Tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco jNTUo a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

## Anexo 2.4.3 Resultado turbiedad residual (NTU)

### Análisis de Varianza para Turbiedad residual (NTU) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Coagulantes	28,9803	1	28,9803	75,50	0,0000
B:Dosis	0,171522	5	0,0343044	0,09	0,9932
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	0,306556	5	0,0613111	0,16	0,9748
RESIDUOS	9,21167	24	0,383819		
TOTAL (CORREGIDO)	38,67	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### El StatAdvisor

La Tabla ANOVA descompone la variabilidad de Turbiedad residual (NTU) en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Turbiedad residual (NTU) con un 95,0% de nivel de confianza.

#### Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Turbiedad residual (NTU) con intervalos de confianza del 95,0%

Nivel	Casos	Media	Error Est.	Límite Inferior	Límite Superior
<b>MEDIA GLOBAL</b>	36	5,00222			
<b>Coagulantes</b>					
Almidón de Maíz	18	4,105	0,146025	3,80362	4,40638
Sulfato de Aluminio	18	5,89944	0,146025	5,59806	6,20083
<b>Dosis</b>					
5	6	5,085	0,252923	4,56299	5,60701
6	6	4,89333	0,252923	4,37133	5,41534
7	6	5,02333	0,252923	4,50133	5,54534
8	6	5,08	0,252923	4,55799	5,60201
9	6	4,985	0,252923	4,46299	5,50701
10	6	4,94667	0,252923	4,42466	5,46867
<b>Coagulantes por Dosis</b>					
Almidón de Maíz,5	3	4,14667	0,357687	3,40844	4,8849
Almidón de Maíz,6	3	3,88667	0,357687	3,14844	4,6249
Almidón de Maíz,7	3	4,25	0,357687	3,51177	4,98823
Almidón de Maíz,8	3	4,16	0,357687	3,42177	4,89823
Almidón de Maíz,9	3	4,21333	0,357687	3,4751	4,95156
Almidón de Maíz,10	3	3,97333	0,357687	3,2351	4,71156
Sulfato de Aluminio,5	3	6,02333	0,357687	5,2851	6,76156
Sulfato de Aluminio,6	3	5,9	0,357687	5,16177	6,63823
Sulfato de Aluminio,7	3	5,79667	0,357687	5,05844	6,5349
Sulfato de Aluminio,8	3	6,0	0,357687	5,26177	6,73823
Sulfato de Aluminio,9	3	5,75667	0,357687	5,01844	6,4949
Sulfato de Aluminio,10	3	5,92	0,357687	5,18177	6,65823

#### El StatAdvisor

Esta Tabla muestra la media de Turbiedad residual (NTU) para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionando Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

## Pruebas de Múltiple Rangos para Turbiedad residual (NTU) por Coagulantes

Método: 95,0 porcentaje LSD

Coagulantes	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Almidón de Maíz	18	4,105	0,146025	X
Sulfato de Aluminio	18	5,89944	0,146025	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Almidón de Maíz - Sulfato de Aluminio	*	-1,79444	0,426218

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

Esta Tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco jNTUo a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

## Resultado porcentaje de remoción de turbiedad residual (%)

### Análisis de Varianza para Remoción de turbiedad residual (%) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Coagulantes	179,918	1	179,918	47,53	0,0000
B:Dosis	1,89283	5	0,378567	0,10	0,9912
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	3,32526	5	0,665051	0,18	0,9691
RESIDUOS	90,8546	24	3,78561		
TOTAL (CORREGIDO)	275,99	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### El StatAdvisor

La Tabla ANOVA descompone la variabilidad de Remoción de turbiedad residual (%) en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Remoción de turbiedad residual (%) con un 95,0% de nivel de confianza.

**Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Remoción de turbiedad residual (%) con intervalos de confianza del 95,0%**

			<i>Error</i>	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>
<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Est.</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
MEDIA GLOBAL	36	83,8			
Coagulantes					
Almidón de Maíz	18	86,0356	0,458597	85,0891	86,9821
Sulfato de Aluminio	18	81,5644	0,458597	80,6179	82,5109
Dosis					
5	6	83,535	0,794314	81,8956	85,1744
6	6	84,17	0,794314	82,5306	85,8094
7	6	83,7133	0,794314	82,0739	85,3527
8	6	83,55	0,794314	81,9106	85,1894
9	6	83,84	0,794314	82,2006	85,4794
10	6	83,9917	0,794314	82,3523	85,6311
Coagulantes por Dosis					
Almidón de Maíz,5	3	85,8933	1,12333	83,5749	88,2118
Almidón de Maíz,6	3	86,7767	1,12333	84,4582	89,0951
Almidón de Maíz,7	3	85,5433	1,12333	83,2249	87,8618
Almidón de Maíz,8	3	85,85	1,12333	83,5316	88,1684
Almidón de Maíz,9	3	85,6667	1,12333	83,3482	87,9851
Almidón de Maíz,10	3	86,4833	1,12333	84,1649	88,8018
Sulfato de Aluminio,5	3	81,1767	1,12333	78,8582	83,4951
Sulfato de Aluminio,6	3	81,5633	1,12333	79,2449	83,8818
Sulfato de Aluminio,7	3	81,8833	1,12333	79,5649	84,2018
Sulfato de Aluminio,8	3	81,25	1,12333	78,9316	83,5684
Sulfato de Aluminio,9	3	82,0133	1,12333	79,6949	84,3318
Sulfato de Aluminio,10	3	81,5	1,12333	79,1816	83,8184

#### El StatAdvisor

Esta Tabla muestra la media de Remoción de turbiedad residual (%) para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionado Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Remoción de turbiedad residual (%) por Coagulantes

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Coagulantes</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Sulfato de Aluminio	18	81,5644	0,458597	×
Almidón de Maíz	18	86,0356	0,458597	×

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Almidón de Maíz - Sulfato de Aluminio	*	4,47111	1,33855

\* indica una diferencia significativa.

#### El StatAdvisor

Esta Tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco jNTUo a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

## Anexo 2.4.4 Resultado turbiedad residual filtrada (NTU)

### Análisis de Varianza para Turbiedad residual filtrada (NTU) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Coagulantes	0,00266944	1	0,00266944	0,05	0,8284
B:Dosis	0,344547	5	0,0689094	1,24	0,3215
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	0,422414	5	0,0844828	1,52	0,2208
RESIDUOS	1,33347	24	0,0555611		
TOTAL (CORREGIDO)	2,1031	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### El StatAdvisor

La Tabla ANOVA descompone la variabilidad de Turbiedad residual filtrada (NTU) en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que ningún valor-P es menor que 0,05, ninguno de los factores ó interacciones tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Turbiedad residual filtrada (NTU) con un 95,0% de nivel de confianza.

### Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Turbiedad residual filtrada (NTU) con intervalos de confianza del 95,0%

Nivel	Casos	Media	Error Est.	Límite Inferior	Límite Superior
MEDIA GLOBAL	36	0,540278			
<b>Coagulantes</b>					
Almidón de Maíz	18	0,531667	0,0555583	0,417	0,646334
Sulfato de Aluminio	18	0,548889	0,0555583	0,434222	0,663556
<b>Dosis</b>					
5	6	0,656667	0,0962299	0,458058	0,855276
6	6	0,65	0,0962299	0,451391	0,848609
7	6	0,566667	0,0962299	0,368058	0,765276
8	6	0,5	0,0962299	0,301391	0,698609
9	6	0,493333	0,0962299	0,294724	0,691942
10	6	0,375	0,0962299	0,176391	0,573609
<b>Coagulantes por Dosis</b>					
Almidón de Maíz,5	3	0,656667	0,13609	0,375791	0,937542
Almidón de Maíz,6	3	0,61	0,13609	0,329124	0,890876
Almidón de Maíz,7	3	0,386667	0,13609	0,105791	0,667542
Almidón de Maíz,8	3	0,45	0,13609	0,169124	0,730876
Almidón de Maíz,9	3	0,53	0,13609	0,249124	0,810876
Almidón de Maíz,10	3	0,556667	0,13609	0,275791	0,837542
Sulfato de Aluminio,5	3	0,656667	0,13609	0,375791	0,937542
Sulfato de Aluminio,6	3	0,69	0,13609	0,409124	0,970876
Sulfato de Aluminio,7	3	0,746667	0,13609	0,465791	1,02754
Sulfato de Aluminio,8	3	0,55	0,13609	0,269124	0,830876
Sulfato de Aluminio,9	3	0,456667	0,13609	0,175791	0,737542
Sulfato de Aluminio,10	3	0,193333	0,13609	-0,0875423	0,474209

#### El StatAdvisor

Esta Tabla muestra la media de Turbiedad residual filtrada (NTU) para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionando Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Turbiedad residual filtrada (NTU) por Coagulantes

Método: 95,0 porcentaje LSD

Coagulantes	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Almidón de Maíz	18	0,531667	0,0555583	X
Sulfato de Aluminio	18	0,548889	0,0555583	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Almidón de Maíz - Sulfato de Aluminio		-0,0172222	0,162164

\* indica una diferencia significativa.

#### El StatAdvisor

Esta Tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

### Resultados porcentaje de remoción de turbiedad residual filtrada (%)

#### Análisis de Varianza para Remoción de turbiedad filtrada (%) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Coagulantes	0,0774694	1	0,0774694	0,13	0,7189
B:Dosis	3,46566	5	0,693132	1,19	0,3451
INTERACCIONES					
AB	4,31015	5	0,862029	1,48	0,2346
RESIDUOS	14,0206	24	0,584192		
TOTAL (CORREGIDO)	21,8739	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### El StatAdvisor

La Tabla ANOVA descompone la variabilidad de Remoción de turbiedad filtrada (%) en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que ningún valor-P es menor que 0,05, ninguno de los factores ó interacciones tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Remoción de turbiedad filtrada (%) con un 95,0% de nivel de confianza.

**Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Remoción de turbiedad filtrada (%) con intervalos de confianza del 95,0%**

			<i>Error</i>	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>
<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Est.</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
MEDIA GLOBAL	36	98,2392			
Coagulantes					
Almidón de Maíz	18	98,1928	0,180153	97,821	98,5646
Sulfato de Aluminio	18	98,2856	0,180153	97,9137	98,6574
Dosis					
5	6	97,86	0,312034	97,216	98,504
6	6	97,8833	0,312034	97,2393	98,5273
7	6	98,1767	0,312034	97,5327	98,8207
8	6	98,3767	0,312034	97,7327	99,0207
9	6	98,3867	0,312034	97,7427	99,0307
10	6	98,7517	0,312034	98,1077	99,3957
Coagulantes por Dosis					
Almidón de Maíz,5	3	97,77	0,441283	96,8592	98,6808
Almidón de Maíz,6	3	97,9233	0,441283	97,0126	98,8341
Almidón de Maíz,7	3	98,6867	0,441283	97,7759	99,5974
Almidón de Maíz,8	3	98,4733	0,441283	97,5626	99,3841
Almidón de Maíz,9	3	98,1967	0,441283	97,2859	99,1074
Almidón de Maíz,10	3	98,1067	0,441283	97,1959	99,0174
Sulfato de Aluminio,5	3	97,95	0,441283	97,0392	98,8608
Sulfato de Aluminio,6	3	97,8433	0,441283	96,9326	98,7541
Sulfato de Aluminio,7	3	97,6667	0,441283	96,7559	98,5774
Sulfato de Aluminio,8	3	98,28	0,441283	97,3692	99,1908
Sulfato de Aluminio,9	3	98,5767	0,441283	97,6659	99,4874
Sulfato de Aluminio,10	3	99,3967	0,441283	98,4859	100,307

#### El StatAdvisor

Esta Tabla muestra la media de Remoción de turbiedad filtrada (%) para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionado Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Remoción de turbiedad filtrada (%) por Coagulantes

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Coagulantes</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Almidón de Maíz	18	98,1928	0,180153	X
Sulfato de Aluminio	18	98,2856	0,180153	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Almidón de Maíz - Sulfato de Aluminio		-0,0927778	0,52583

\* indica una diferencia significativa.

#### El StatAdvisor

Esta Tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que comparten una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

## Anexo 2.5 Reporte de ensayos realizados al grano de Maíz

 Universidad de <b>Nariño</b>	<b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b> <b>REPORTE DE RESULTADOS</b>	Código: LBE-PRS-FR-76
		Página: 1 de 1
		Versión: 2
		Vigente a partir de: 2014-01-15

LABORATORIO		BROMATOLOGÍA - ABONOS ORGÁNICOS				
DATOS USUARIO		DATOS MUESTRA			REPORTE No. LB-R- 093	
Solicitante: David Leonardo Jiménez, Byron Vladimir Piscal	Muestra	Grano molido de Maiz blanco <i>Zea mays</i>			Código muestra 449	
Dirección: Cra 48 No. 17 - 09 B/ Marsella, Pasto	Procedencia Comercializadora de granos, Barrio Las Lunas, San Juan de Pasto					
cc / nit: 1.086.755.294, 1.085.276.106	Responsable del Muestreo <sup>a</sup>		David Leonardo Jiménez, Byron Vladimir Piscal			
Teléfono: 318 295 0293, 318 282 9100	Fecha de Muestreo <sup>a</sup>		AA 14	MM 08	DD 24	
e-mail leondavidjibe@hotmail.com	Fecha Recepción Muestra en Laboratorio		AA 14	MM 09	DD 24	
	Fecha de Emisión del Reporte		AA 14	MM 10	DD 22	
FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO		2014-09-24 a 2014-10-22				
ANÁLISIS SOLICITADO		Proximal, Almidón				
PARÁMETRO	MÉTODO	TÉCNICA	UNIDAD DE MEDIDA	Base Húmeda		
Humedad	Secado estufa	Gravimétrica	g/100g	12,1		
Materia seca	Secado estufa	Gravimétrica	g/100g	87,9		
Ceniza	Incineración mufla	Gravimétrica	g/100g	1,33		
Extracto etéreo	Extracción Soxhlet	Gravimétrica	g/100g	5,20		
Fibra cruda	Digestión ácida-básica. Bolsas Ankom	Gravimétrica	g/100g	0,00		
Proteína	Kjeldahl (N*6,25)	Titulométrica	g/100g	9,36		
Extracto No Nitrogenado	Cálculo matemático	Cálculo matemático	g/100g	72,3		
Almidón	Precipitación con Etanol	Gravimétrica	g/100g	46,7		
<b>OBSERVACIONES</b>						
Nota a		Información suministrada por el usuario				
Composición		Por cada 100 g de parte comestible				
<b>RESULTADOS VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA</b>						
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL SIN PREVIA AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO						

  
 Téc. Laboratorio Bromatología - Abonos Orgánicos  
 Elaboración del Reporte

  
 Laboratorio de  
 Bromatología y  
 Abonos  
 Orgánicos  
 Universidad de  
 Nariño  
 2014-10-23

Aprobación del Reporte

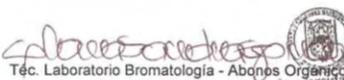
Revisó:

FIN REPORTE DE RESULTADOS

## Anexo 2.6 Ensayos de nutrientes realizados a lodos residuales producidos en el proceso de tratabilidad

 Universidad de Nariño	<b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b> <b>REPORTE DE RESULTADOS</b>	Código: LBE-PRS-FR-76
		Página: 1 de 1
		Versión: 2
		Vigente a partir de: 2014-01-15

LABORATORIO		BROMATOLOGÍA - ABONOS ORGÁNICOS				
DATOS USUARIO		DATOS MUESTRA		REPORTE No. LB-R- 097		
Solicitante:	David Leonardo Jiménez, Byron Vladimir Piscal	Muestra	Lodo residual, tratamiento de agua para consumo humano		Código muestra	501
Dirección:	Cra 48 No. 17 - 09 B/ Marsella, Pasto	Procedencia	Fuente: Quebrada Vuelta larga, Corregimiento: Genoy, Municipio: Pasto			
cc / nit:	1.086.755.294, 1.085.276.106	Responsable del Muestreo <sup>a</sup>	David Leonardo Jiménez, Byron Vladimir Piscal			
Teléfono:	318 295 0293, 318 282 9100	Fecha de Muestreo <sup>a</sup>	AA 14	MM 10	DD 03	
e-mail	leondavidjibe@hotmail.com	Fecha Recepción Muestra en Laboratorio	AA 14	MM 10	DD 09	
		Fecha de Emisión del Reporte	AA 14	MM 12	DD 08	
FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO		2014-10-09 a 2014-12-05				
ANÁLISIS SOLICITADO		Humedad, Carbono, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre, Hierro				
PARÁMETRO	MÉTODO	TÉCNICA	UNIDAD DE MEDIDA	Lodo residual	NTC 5167	
Humedad	Secado estufa	Gravimétrica	g/100g	30,3		≤ 30
Materia seca	Secado estufa	Gravimétrica	g/100g	69,7		
Carbono orgánico Oxid	Walkley Black	Colorimétrica	g/100g	2,26		≥ 15
Nitrógeno	Kjeldahl	Titulométrica	g/100g	0,11		≥ 1
Fósforo	Oxidación húmeda, Colorimetría	Colorimétrica	g/100g	0,04		
Potasio	Oxidación húmeda, EAA	Espectrofotometría A.A.	g/100g	0,06		
Azufre	Oxidación húmeda, Turbidimetría	Turbidimétrica	g/100g	0,05		
Hierro	Oxidación húmeda, EAA	Espectrofotometría A.A.	g/100g	1,54		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Oxidación húmeda, Colorimetría	Colorimétrica	g/100g	0,10		≥ 1
K <sub>2</sub> O	Oxidación húmeda, EAA	Espectrofotometría A.A.	g/100g	0,07		≥ 1
<b>OBSERVACIONES</b>						
Nota a	Información suministrada por el usuario					
Expresión de Resultados	Con base a muestra húmeda					
<b>RESULTADOS VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA</b>						
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL SIN PREVIA AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO						

  
 Téc. Laboratorio Bromatología - Abonos Orgánicos  
 Elaboración del Reporte

  
 Laboratorio de Bromatología y Abonos Orgánicos

Aprobación del Reporte

Revisó: GSE

2014-12-08

FIN REPORTE DE RESULTADOS

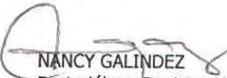
## Anexo 2.7 Estudios Físicoquímicos y microbiológicos de la Quebrada vuelta larga

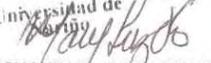
		<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS</b>		<b>Código:</b> LBE-PRS- <b>Página:</b> 1 <b>Versión:</b> 03 <b>Vigente a partir de :</b> 2014-05-19	
<b>FECHA EMISION RESULTADOS:</b>		<b>2014-12-05</b>		<b>REPORTE No:</b>	
				<b>LAQ-R-224A-14 COMPLETO</b>	
<b>AREA:</b>					
<b>LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO Y AGUAS</b>					
<b>DATOS USUARIO</b>			<b>DATOS MUESTRAS</b>		
Solicitante:	DAVID LEONARDO JIMENEZ - BYRON PISCAL		Tipo de Muestra:	AGUA CRUDA	
Dirección:	BARRIO MARCELLA-PASTO		Tipo de Muestreo:	SIMPLE	
Teléfono:	3182950293 - 3182829100		Sitio de Toma:	QUEBRADA VUELTA LARGA-CORREGIMIENTO DE GENOY-PASTO	
nit:	1086755294 - 1085276160		Responsable del Muestreo:	EXTERNO: DAVID LEONARDO JIMENEZ	
e-mail:	leondavidjibe@hotmail.com - wwwbyron.89@hotmail.com		Fecha de Muestreo:	2014-11-11	
			Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:	2014-11-11	
<b>TIPO DE ANALIS SOLICITADOS</b>		<b>FISICOQUIMICO Y MICROBIOLOGICO PARCIAL</b>			
<b>Código Muestra</b>		<b>Descripción</b>			
<b>LAQ-789-14</b>		<b>QUEBRADA VUELTA LARGA-CORREGIMIENTO DE GENOY</b>			
<b>PARAMETRO</b>	<b>METODO</b>	<b>TECNICA</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>FECHA DE ANALISIS</b>	<b>CODIGO MUESTRA</b>
					<b>LAQ-789-14</b>
CONDUCTIVIDAD	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 2510 - B	ELECTROMETRICA	us/cm	2014-11-12	<b>505</b>
SOLIDOS TOTALES	ESTANDAR METODOS EDICION No 222540 - B	GRAVIMETRICA	mg/L	2014-11-12	<b>456</b>
SOLIDOS SUSPENDIDOS	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 2540 - D	GRAVIMETRICA	mg/L	2014-11-14	<b>30,8</b>
ACIDEZ	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 2310 - B	TITULOMETRICA	mg CaCO <sub>3</sub> / L	2014-11-11	<b>5,04</b>
DUREZA TOTAL	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 2340 - C	TITULOMETRICA	mg CaCO <sub>3</sub> / L	2014-11-11	<b>204</b>
DUREZA CALCIO	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 3500 - Ca-D	TITULOMETRICA	mg CaCO <sub>3</sub> / L	2014-11-11	<b>168</b>
CLORUROS	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 4500 CL- B	TITULOMETRICA	mg Cl/ L	2014-11-10	<b>6,41</b>
FOSFATOS	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 4500 P- D	COLORIMETRICA	mg P-PO <sub>4</sub> / L	2014-11-12	<b>&lt;0,1</b>
NITRITOS	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 4500 NO <sub>2</sub> - B	COLORIMETRICA	mg N-NO <sub>2</sub> / L	2014-11-12	<b>&lt;0,005</b>
NITRATOS	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 4500 NO <sub>3</sub> - B	COLORIMETRICA	mg N-NO <sub>3</sub> / L	2014-11-12	<b>&lt;0,2</b>
SULFATOS	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 4500 SO <sub>4</sub> - E	TURBIDIMETRICA	mg SO <sub>4</sub> / L	2014-11-12	<b>215</b>
MANGANESO	ESTANDAR METODOS EDICION No 17 3500Mn-B	ESPECTROFOTO. A.A	mg Mn / L	2014-12-05	<b>0,03</b>
HIERRO	ESTANDAR METODOS EDICION No 17 3500Fe-B	ESPECTROFOTO. A.A	mg Fe+3 / L	2014-12-05	<b>0,46</b>
OXIGENO DISUELTO	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 4500-O-C	AZIDA-TITULOMETRICO	mg O <sub>2</sub> / L	2014-11-05	<b>7,09</b>
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 5210- B ASTM D888-05	LUMINISCENCIA	mg O <sub>2</sub> / L	2014-11-13	<b>&lt;2</b>
COLIFORMES TOTALES	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 9222 - B	FILT. X MEMBRANA	UFC/100ml	2014-11-14	<b>1000</b>
ECHERICHIA COLI	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 9222 - D	FILT. X MEMBRANA	UFC/100ml	2014-11-14	<b>900</b>
AMONIO TITULOMETRICO	ESTANDAR METODOS EDICION No 22 4500 NH <sub>3</sub> C-D	TITULOMETRICA	mg N-NH <sub>3</sub> / L	2014-11-12	<b>0,11</b>
"Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parametros, pH, GRASAS Y ACEITES, SOLIDOS TOTALES, SOLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO, DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO, según Resolución No 42 de 25 de enero de 2011"					
<b>OBSERVACIONES</b>					
DESVIACIONES / EXCLUSIONES / ACLARACIONES AL INFORME			<b>FIN INFORME DE RESULTADOS</b>		

LOS RESULTADO SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL SIN PREVIA AUTORIZACION DEL LABORATORIO

Elaboró: PEDRO TOBAR-2014-11-13  
 Revisó: MVE 2014-12-02 MVE 2014-12-05

  
**NANCY GALINDEZ**  
 Bacterióloga Registro No 125  
 Universidad de Nariño

  
**Laboratorio de**  
**Análisis Químico**  
**y Aguas**  
 Universidad de Nariño  
  
**MARY LUZ VALENCIA ENRIQUEZ**  
 Química PQ -1748 CPQ  
 Universidad de Nariño

*Nuestro Compromiso Universitario es la Excelencia*

Ciudad Universitaria- Torobajo - Telefónos 7315850 - 7311449 Ext. 222 - 256 Telefax 7314477 - A.A. 1175 y 1176