

**Evaluación del almidón de maíz y trigo como coagulante - floculante  
para la remoción de turbiedad y color aparente en acueductos rurales**

Javier Leandro Velandia Zuluaga

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – Unad  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
Bogotá, Colombia  
2021

**Evaluación del almidón de maíz y trigo como coagulante - floculante  
para la remoción de turbiedad y color aparente en acueductos rurales**

Javier Leandro Velandia Zuluaga

Proyecto de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniera Ambiental

Director:  
Sonia Esperanza Ruiz Balaguera.

Línea de investigación:  
Proyecto de Investigación

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiental  
Bogotá, Colombia  
2021

## **Agradecimientos**

Mi agradecimiento a Dios por permitirme llegar a este logro, cumplir las metas una de ellas es realizar este proyecto de investigación, por enseñarme la manera de perseguir esta meta, darme la paciencia necesaria en los momentos de dificultad y la lucidez requerida para poder superarlo.

A mi familia por estar siempre a mi lado apoyándome en todo momento y animándome a continuar y poder sacar adelante este proyecto siempre brindándome todo su amor y enseñándome en los errores a seguir adelante. Fueron muy importantes para la culminación de este proyecto.

A mi directora Sonia Ruiz por darme el apoyo necesario y poner todo su conocimiento al servicio del proyecto, así como su experiencia para lograr los objetivos trazados.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) por brindar todo el apoyo académico en mi formación como profesional, por brindarnos los espacios de enseñanza, así como suministrar todo el material académico para desarrollar este proyecto de investigación.

## Resumen

En el presente trabajo investigativo se resaltaré un aspecto fundamental en los almidones, y su poder coagulante para el tratamiento de agua apta para consumo humano, por sus propiedades de hinchamiento, gelatinización y degradación. Sin embargo, el uso de este campo no se ha estudiado a profundidad, en este sentido se evaluó la capacidad de remoción de color aparente y turbiedad en el acueducto veredal en el municipio de Madrid Cundinamarca. Esta fuente presenta unos niveles altos de color aparente y turbiedad. La preparación de los coagulantes naturales se basó en una preparación química efectuando una gelatinización en frío y una concentración al 2% (20000 ppm) empleando como método el test de jarras, se determinaron las variables de concentración, pH, Velocidad de agitación rápida y lenta. Empleando los almidones naturales como proceso de tratamiento, se empleó como referencia Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  como coagulante convencional, preparado a la misma concentración, con el fin de evaluar los coagulantes en la eficiencia del sistema. El análisis estadístico arrojó porcentajes de remoción de turbiedad para el coagulante de maíz 89,5% y para el coagulante de trigo de 85%; un porcentaje de remoción de color aparente para el coagulante de maíz 90,2% y el coagulante de trigo 85,1% teniendo porcentajes de remoción eficientes para el tratamiento de agua, el coagulante convencional obtuvo una remoción del 99,0% para turbiedad y del 98,1% para color aparente. Para finalizar, se diseñó un modelo estadístico con los Ítems de Anova, Post Hoc y Manova donde se pudo obtener la regresión de los mejores resultados en las variables de Concentración, pH, velocidad de agitación rápida y lenta. Valores que muestran una la posibilidad real de emplear

los coagulantes naturales en el tratamiento de fuentes con esas características fisicoquímicas.

**Palabras claves:** *Coagulantes- floculantes, recurso hídrico, medio ambiente almidón de Maíz y trigo, Sulfato de Aluminio*

## Abstract

In this research work, a fundamental aspect in starches will be highlighted, and it is their coagulant power for the treatment of water suitable for human consumption, due to its swelling, gelatinization and degradation properties. However, the use of this field has not been studied in depth, in this sense the capacity to remove apparent color and turbidity in the village aqueduct in the municipality of Madrid Cundinamarca was evaluated. This source exhibited high levels of apparent color and turbidity. The preparation of natural coagulants was based on a chemical preparation carrying out a cold gelatinization and a concentration of 2% (20000 ppm) using the jar test as a method, the variables of concentration, pH, fast and slow stirring speed were determined. Using natural starches as a treatment process, a range that was used as a reference in Aluminum Sulfate  $Al_2(SO_4)_3$  as a conventional coagulant, prepared at the same concentration, in order to evaluate the coagulants in the efficiency of the system. The statistical analysis showed percentages of turbidity removal for the corn coagulant 89.5% and for the wheat coagulant 85%; a percentage of removal of apparent color for the corn coagulant 90.2% and the wheat coagulant 85.1% having efficient removal percentages for water treatment, the conventional coagulant obtained a removal of 99.0% for turbidity and 98.1% for apparent color. Finally, a statistical model was designed with the Anova, Post Hoc and Manova items where the regression of the best results in the variables of Concentration, pH, fast and slow stirring speed could be obtained. Values that show a real possibility of using natural coagulants in the treatment of sources with these physicochemical characteristics.

Keywords: Coagulants- flocculants, water resource, environment, Corn and wheat starch, Aluminum Sulfate.

## Tabla de contenido

Introducción	13
Marco teórico	16
Coagulantes	16
El agua	16
Partículas Coloidales	16
Coagulación	18
Mecanismos de Coagulación	20
Tipos de Coagulantes	21
Factores que influyen en la coagulación	23
Importancia de los coagulantes naturales	25
Teoría de la floculación	28
Factores que influyen en la Floculación	28
Clasificación de los Coagulantes	30
Estado del arte	32
Evaluación sobre intervenciones de coagulantes naturales para tratamiento de agua	32
Almidón	44
Fuentes de Almidón	46
El maíz	46
El trigo	48
Obtención del Almidón	50



Uso y Aplicaciones del Amidón	50
Planteamiento del problema	53
Objetivos.	56
General	56
Específicos	56
Metodología	57
Diseño Factorial	61
Procedimiento experimental_	62
Condiciones del proceso de obtención y gelatinización	65
Materiales y reactivos	67
Extracción	67
Obtención del coagulante del maíz y el trigo	70
Resultados y Discusión	72
Desarrollo de pruebas de tratabilidad – ensayo de jarras empleando el almidón de maíz y trigo como coagulante natural y el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ como coagulante convencional.	72
Procedimiento de laboratorio y toma de datos	72
Turbiedad	75
Color Aparente	77
Determinación del rango óptimo del proceso de tratabilidad por medio del ensayo de jarras	79
Determinación de la dosis óptima del proceso de tratabilidad para remoción de color aparente y turbiedad	79

Resultados del ensayo inicial	80
Resultados del ensayo 1	81
Resultados del ensayo 2.	84
Resultados del ensayo 3	88
Anova	93
Post Hoc	118
Manova	146
Conclusiones y Recomendaciones	161
Conclusiones	161
Recomendaciones	164
Bibliografía	166
Anexos	172

## Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros de mayor relevancia resolución 2115/2007	17
Tabla 2. Evaluación de Coagulantes para el tratamiento de agua	40
Tabla 3. Clasificación taxonómica del maíz	47
Tabla 4. Usos de almidón en remoción de contaminantes	52
Tabla 5. Caracterización Inicial Fisicoquímica del agua (Sin tratamiento)	60
Tabla 6. Diseño Experimental Factorial	62
Tabla 7. Factores de evaluación en los coagulantes naturales	73
Tabla 8. Valores máximos admisibles de los parámetros de calidad estudiados	75
Tabla 9. Caracterización de los parámetros de interés	80
Tabla 10. Parámetros de mezcla rápida, mezcla lenta y sedimentación	80
Tabla 11. Equivalencia de las respectivas dosis en ml a aplicar (Ensayo 1)	81
Tabla 12. Parámetros obtenidos y porcentaje de remoción (ensayo 1 Maíz)	82
Tabla 13. Equivalencia de las respectivas dosis en ml a aplicar (Ensayo 2)	84
Tabla 14. Parámetros obtenidos y porcentajes de remoción (Ensayo 2 Trigo)	86
Tabla 15. Comparativo del coagulante a base de maíz y trigo.	88
Tabla 16. Equivalencia de las respectivas dosis en ml a aplicar (ensayo 3 Sulfato de Aluminio)	89
Tabla 17. Parámetros obtenidos y porcentajes de remoción (Ensayo 3 Sulfato de Aluminio)	90

## Listado de figuras

Ilustración 1. Acción de los coagulantes	19
<i>Ilustración 2. Proceso de coagulación.</i>	25
<i>Ilustración 3. Reacción de la floculación.</i>	30
<i>Ilustración 4. Estructura química del almidón.</i>	45
<i>Ilustración 5. Estructura del grano de maíz.</i>	48
<i>Ilustración 6. Estructura del grano de trigo.</i>	49
<i>Ilustración 7. Proceso general de obtención del almidón.</i>	50
<i>Ilustración 8. Fase de Obtención y Gelatinización de los coagulantes naturales.</i>	64
Ilustración 9. . Curva de Calibración de Color Aparente.	78

## Introducción

La gran cantidad de usos que se ejercen sobre el recurso hídrico y la contaminación indiscriminada que se le ha dado a éste en las últimas décadas, ha hecho que esto se vuelva insostenible y se ha puesto bajo amenaza la disponibilidad de fuentes de agua potable, lo cual tiene consecuencias preocupantes para la salud, el medio ambiente y el desarrollo social de las comunidades. Al respecto la UNICEF indica que la falta de acceso al agua potable y la escasez de saneamiento tienen repercusiones muy graves y son la causa principal de enfermedades en el mundo (UNICEF, s.f).

Precisamente, debido a las deficiencias en materia de agua y saneamiento se presentan enfermedades como la diarrea, la queratosis la cual se da por las bajas concentraciones de arsénico en el agua que se consume, la fluorosis es debido a alta concentración natural de fluoruro en aguas subterráneas, entre otras. Cabe resaltar que la población más afectada a nivel mundial son los niños y niñas menores de 5 años. Las medidas destinadas a mejorar la calidad del agua de consumo proporcionan beneficios significativos para la salud (OMS, 2006)

Los sistemas de agua potable como el alcantarillado y fuentes primarias entre las que se encuentran los cauces superficiales, son construcciones conformadas por unidades en las que se transforma el agua en su estado natural, se localizan entre el punto de captación del agua cruda y los tanques de almacenamiento. Su principal objetivo es remover las sustancias que alteran la calidad del agua y para así poder

emplearla para consumo humano. Dentro de las sustancias que alteran la calidad del agua se encuentran: materiales orgánicos, contaminantes biológicos y material mineral (Angarita, Y 2013).

Una de las etapas fundamentales para tratar el agua es la clarificación, en donde juegan un papel importante los métodos de coagulación, que convencionalmente utilizan químicos como el Sulfato de Aluminio y Sulfato Férrico para aglomerar las partículas presentes en el agua (Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades, s.f); estos compuestos logran buenas eficiencias de remoción, sin embargo, pueden ser perjudiciales para la salud generando enfermedades como el Alzheimer (Miller, Fugate, Oyanedel, Smith, & Zimmerman, 2008) y en el medio ambiente generando grandes cantidades de lodos que al no ser utilizados como biosólidos, impactan negativamente los suelos y el agua (Olivero, R, Mercado, I., & Montes, L. 2013), por ello es necesario implementar nuevas tecnologías que permitan alcanzar buenos rendimientos, en la remoción de contaminantes del agua, sin dejar de lado el cuidado y la preservación de los recursos naturales y las condiciones de salubridad.

En Colombia el agua potable debe presentar características de calidad como libre de turbidez, color y sabores perceptibles, cumpliendo los rangos permisibles estipulados en la resolución 2115/2007 del Ministerio de la protección social, Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Una de estas alternativas amigables con el medio ambiente, es la sustitución de los polímeros sintéticos por polímeros de origen natural, cuyas propiedades posibiliten su uso como coagulante en el tratamiento de aguas residuales. De aquí la

importancia de este proyecto, el cual evalúa la factibilidad de usar almidón de trigo y almidón de maíz, como coagulante para el tratamiento de las aguas con base en la eficiencia en la remoción de color y turbidez medido en porcentajes de remoción.

En 1986, el ingeniero Juan Manuel Mejía Guillen, realizó el estudio de la utilización de la semilla de moringa oleífera (Aparicio, M. 2013) como coagulante natural, obteniendo como resultado un mejor comportamiento al compararse con el sulfato de aluminio. El mismo estudio determinó que pueden ser utilizados como ayudantes de coagulación las siguientes plantas: garbanzo, soya, yuca, maíz y avena.

El uso de coagulantes naturales extraídos de plantas, para el tratamiento de aguas data de varios milenios, continuamente se hacen estudios que permiten identificar la potencialidad de distintas plantas para este propósito, y que permitan disminuir el uso de sustancias químicas sintéticas, así como la producción de lodos biodegradables. El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (Cepis, 1975) realizó pruebas con almidones para su uso como ayudantes de coagulación, en los cuales determinó que los almidones pueden ser obtenidos de una gran variedad de productos vegetales como la papa, el maíz, la yuca y el trigo.

El uso del almidón de maíz y el almidón de trigo como coagulantes puede ser considerado sustentable, pues la materia prima se toma directamente de los cultivos, además son biodegradables y renovables, en contraste con los insumos usados, que disminuirían de forma significativa la contaminación del medio ambiente facilitan el desarrollo de una industria sostenible.

## **Marco Teórico**

### **Coagulates**

#### **El agua**

El agua es una molécula sencilla formada por átomos pequeños, dos de hidrógeno y uno de oxígeno, unidos por enlaces covalentes polares. Tiene una distribución irregular de la densidad electrónica es uno de los compuestos más electronegativos, atraen hacia sí los electrones de ambos enlaces covalentes, de manera que alrededor del átomo de oxígeno se concentra la mayor densidad electrónica (Carga negativa) y cerca a los hidrógenos la menor (carga positiva). El agua pura independientemente de su fuente consiste en 11% de hidrógeno y 89% de oxígeno en masa. (Murphy, B. 2009)

#### **Partículas coloidales**

Los coloides son suspensiones estables que no se sedimentan de forma natural y son los principales responsables de la turbiedad y el color en el agua; presentan un diámetro entre 1 y 1000 mili micrómetros. (Andía, 2000)

Los coloides pueden ser hidrófobos si repelen el agua, principalmente partículas inorgánicas, o hidrofílicos si tienen afinidad con ella, por lo general materia orgánica. Los primeros son importantes en el tratamiento de aguas, ya que son inestables con respecto a la formación de cristales no coloidales; los segundos componen soluciones verdaderas y abarcan polímeros, proteínas, almidones y otras



macromoléculas. En cuanto a la cinética de coagulación algunos son termoestables y otros inestables, en estos últimos la coagulación es significativa. (De Vargas, 2004).

Existen dos grandes fuerzas a las que se ven sometidas las partículas coloidales; por un lado, la fuerza de atracción de Van der Waals que se produce por el movimiento continuo de las partículas y como su nombre lo indica, generan atracción entre ellas, y por el otro, las fuerzas de repulsión electrostáticas que impiden la aglomeración de las partículas, que normalmente por tener la misma carga se repelen entre ellas (Andía, 2000).

En la siguiente tabla 1 se relacionan los parámetros de mayor relevancia y control en el monitoreo de la calidad de agua, según la resolución 2115 de 2007

**Tabla 1.**

**Parámetros de mayor relevancia resolución 2115/2007**

RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	
Características Físicas	Valor máximo Aceptable
Color Aparente	15
Olor y Sabor	Aceptable
Turbiedad	2
Características Químicas	Valor máximo Aceptable
Cloro residual	0,3 A 2,0
PH	6,5 A 9,0
Carbono Orgánico Total	5

Nitritos	0,1
Nitratos	10
Alcalinidad Total	200
Cloruros	250
Aluminio	0,2
Dureza Total	300
Hierro Total	0,3
Manganeso	0,1
Sulfatos	250

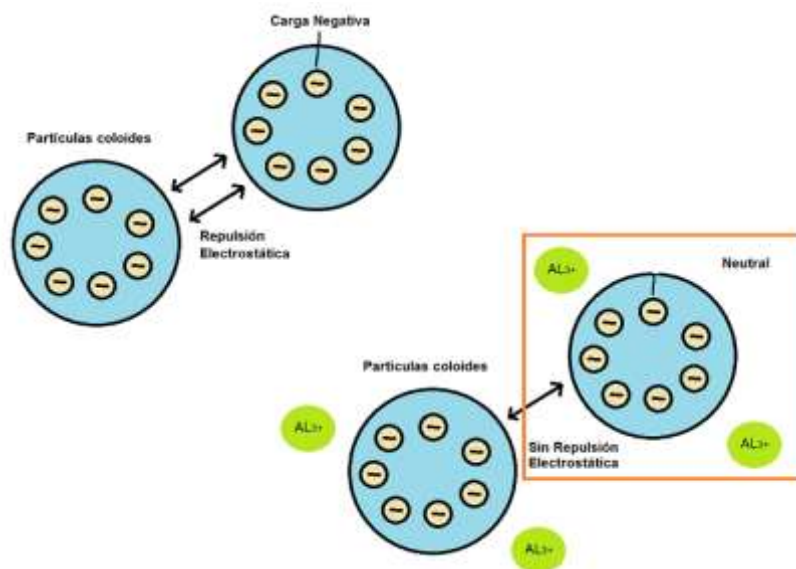
Fuente: Norma colombiana de calidad de agua potable, Decreto 1575/2007

### **Coagulación**

La coagulación se define como “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 coagulantes químicos y la adición de energía de mezclado” (Andía, 2000), esto se puede apreciar en la ilustración 1. Es un proceso fundamental en la etapa de tratamiento primario de las aguas residuales, específicamente en la clarificación en donde se remueven la mayor parte de sólidos en suspensión. Como se observa en la ilustración 1.

## Ilustración 1.

### Acción de los coagulantes



Fuente: (Water Technologies GmbH, 2016)

El proceso de coagulación también se usa según Restrepo para remover la turbiedad orgánica e inorgánica, el color verdadero y aparente, algunos microorganismos patógenos y algunas sustancias productoras de olor y sabor (Restrepo, H. 2009).

El mismo autor explica que existe una fuerza de repulsión entre las partículas contaminantes del agua, debida a las cargas eléctricas que poseen, por lo cual se mantienen suspendidas en el agua y no se sedimentan; el fenómeno de desestabilización de dichas partículas o coagulación, se realiza mediante la adición de coloides de carga opuesta a la de las partículas contaminantes, que neutralizan la carga, reduciendo la repulsión de las partículas a tal punto, que chocando con cierta velocidad pueden unirse y flocular (Restrepo, H. 2009).

## Mecanismos de coagulación

Las partículas coloidales presentan carga negativa en el agua por lo cual se repelen entre ellas, por ello es necesaria la adición de agentes coagulantes para desestabilizar los coloides y generar la atracción entre ellos, a través de diferentes mecanismos fisicoquímicos, dentro de los que se destaca:

- **Compresión de la doble capa:** como la superficie de las partículas coloidales es negativa atrae un cúmulo de iones positivos en la región interfaz (sólido- líquido), que junto con la carga negativa forman la “doble capa”. La repulsión eléctrica de las partículas coloidales disminuye si se incrementan los iones de carga opuesta en la solución; al introducir un electrolito que no reacciona en el agua, aumenta la densidad de las cargas y disminuye la esfera de influencia de las partículas con lo cual se logra la coagulación por compresión de la doble capa, es decir que la desestabilización de un coloide por un electrolito indiferente ocurre cuando los iones de igual carga son repelidos y los de carga opuesta son atraídos por los coloides. (MikaSillanpää, A. 2010)

- **Adsorción:** se da cuando los coloides de signos contrarios se mezclan en el agua, es decir cuando los iones del coagulante con carga opuesta se absorben por la partícula coloidal, logrando neutralizar las cargas repulsivas y facilitando la formación de precipitados. Para que la eficiencia de este mecanismo sea óptima debe haber un pH ácido y bajas concentraciones del coagulante (Barrenechea, A. 2004).

- **Captura por barrido:** se adiciona coagulante en una concentración tan alta que impide que se solubiliza en el agua, haciendo que se formen precipitados y se originen Flocs que atrapan las partículas suspendidas y facilitan su decantación (Jia-QianJiang, 2015).

- **Adsorción y enlace de puente interpartícula:** es la reacción entre el coagulante y un sector de la zona superficial del coloide. Las moléculas largas del coagulante pueden absorber partículas en una de sus extremidades, quedando libre el resto de zona superficial para adsorber otras partículas coloidales. (Barrenechea, A. 2004)

### **Tipos de coagulantes**

Los coagulantes son productos que reaccionan químicamente con los componentes de agua, especialmente con la alcalinidad formando un precipitado voluminoso y absorbente. Los coagulantes desestabilizan las partículas suspendidas presentes en el agua que tienen carga negativa por neutralización de las cargas coloidales, es decir que deben ser iones positivos, siendo los más usados las sales de Aluminio y Hierro (Diaz Claros , J. 2014)

En la industria los más usados son Sulfato de Aluminio, Aluminato de Sodio, Cloruro de Aluminio, Cloruro Férrico, Sulfato Férrico, Sulfato Ferroso y los polielectrolitos como ayudantes de floculación (Andía, 2000). El uso de estos coagulantes convencionales derivados de sales de Aluminio y Hierro se ha cuestionado en las últimas décadas debido, entre otras cosas, a la dificultad técnica para estabilizar el pH óptimo de coagulación, la necesidad de altas cantidades del producto para lograr resultados adecuados y su relación con la aparición de

enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer y cáncer (Flaten, T. 2001); además estas sales tienen efectos adversos sobre el medio ambiente, para el caso del Aluminio, en altas concentraciones genera problemas de acidificación, además se bioacumula en las plantas y causa problemas en la salud de los animales que las consumen; el Hierro por su parte es un elemento persistente en los ecosistemas (Cogollo F, J. 2011).

De forma general los coagulantes se clasifican en tres tipos (Tafur, L. & Quevedo, R. 2014):

**Coagulantes a base de sales metálicas:** Son usados de forma convencional en los procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales.

Dentro de los coagulantes de este tipo se encuentran los compuestos a base de sales de Aluminio y Hierro.

**Coagulantes a base de polímeros sintéticos:** estos compuestos tienen alto peso molecular y aumentan la viscosidad de la solución; se utilizan como productos complementarios de los coagulantes a base de sales metálicas en la neutralización de partículas coloidales.

**Coagulantes de origen natural:** son coagulantes alternativos, derivados de productos orgánicos que pueden presentar rendimientos iguales o superiores a los de los coagulantes convencionales, dentro de este tipo de coagulantes se encuentran los almidones y polisacáridos naturales como la celulosa y el quitosano, estos coagulantes presentan ventajas significativas con respecto a los coagulantes convencionales de las que se destacan: (Servyeco, s.f):

- Sus características de biodegradabilidad hacen que sea una alternativa amigable con el medio ambiente
- Su carácter orgánico que minimiza la posible modificación del pH y la conductividad en el agua ya que no requiere alcalinidad del medio.
- La eliminación total del incremento de sales en el agua.
- Una mayor eficiencia traducida en dosis bajas de coagulante que consiguen aumentar la velocidad de decantación, disminuir los tiempos de coagulación y mejorar la densidad del coágulo reduciendo de manera significativa la cantidad de floculante.
- Las ventajas económicas relacionadas con la reducción de costes asociados al mantenimiento de las instalaciones debido a que se reduce significativamente la corrosión que producen las sales usadas convencionalmente; por su eficiencia también se reduce o elimina por completo el uso de floculantes lo cual se traduce en menores costos. Dentro de este tipo de coagulantes se encuentran los almidones y polisacáridos naturales como la celulosa y el quitosano.

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

Existen diferentes variables que influyen en la optimización del proceso de coagulación, dentro de las cuales se destaca: En la ilustración 2 donde se puede ver el proceso de clarificación del agua por medio del proceso de coagulación.

- **pH:** es la variable más influyente en el proceso de coagulación, dado que si este se desarrolla fuera del rango de pH se disminuye la solubilidad del coagulante

en el agua y se van a requerir concentraciones más altas del mismo, además tomará mayor tiempo para la formación del flóculo. Para que el proceso sea óptimo el pH debe ser neutro (Dominguez Amorocho, M. 2010).

- **Dosis de Coagulante:** la dosis óptima de coagulante se determina mediante test de jarras. Es de vital importancia considerando que cantidades muy pequeñas de coagulante impiden la neutralización total de la carga del coloide por lo que la formación de flóculos es mínima; mientras que dosis muy altas de coagulante invierten la carga de las partículas coloidales haciendo que se formen gran cantidad de flóculos pequeños que se tardan demasiado en sedimentar (Tafur, L. & Quevedo, R. 2014).

- **Turbidez:** la concentración de coagulante aumenta con la turbiedad del agua y para cada turbiedad hay una dosis óptima de coagulante, sin embargo, si la turbiedad es muy alta las dosis de coagulante disminuyen, pues es de esperar colisión entre los coloides, por otra parte, si la turbiedad es muy baja, se requieren mayores dosis de coagulante pues hay menor probabilidad de choque entre partículas (Dominguez Amorocho, M. 2010).

- **Agitación y mezcla:** la eficiencia del proceso está determinada por la agitación de la mezcla de agua con el coagulante, que asegura que la concentración de este sea uniforme en toda la solución; la intensidad y tiempo de mezcla determinan la distribución adecuada de coagulante. (Tafur, L. & Quevedo, R. 2014).

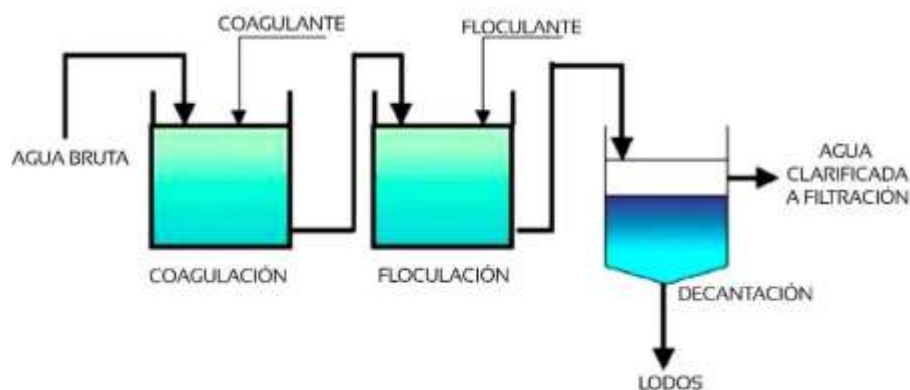
- **Tamaño de las partículas:** si las partículas coloidales son muy pequeñas se requiere la adición de mayor cantidad de coagulante, mientras que si las partículas son muy grandes se dificulta la formación del floc (Restrepo, H. 2009).



- **Temperatura del agua:** la variación de la temperatura afecta la densidad del agua, un aumento en este parámetro modifica la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que el proceso de coagulación es más lento en temperaturas elevadas; de igual forma bajas temperaturas ocasionan un aumento en la viscosidad del agua y por consiguiente dificulta la sedimentación del floc (Gómez Puentes, M. 2005).

## Ilustración 2.

### *Proceso de coagulación.*



*Fuente: Sánchez Del Castillo 2016, p.20*

## Importancia de los coagulantes naturales

El agua es el recurso básico para garantizar la vida de todos los seres vivos. El acceso al agua, saneamiento e higiene es un derecho fundamental, sin embargo, miles de millones de personas de todo el mundo siguen enfrentándose a diario a enormes dificultades para acceder a los servicios más básicos.

Debido a la problemática que esto representa se han propuesto diversas alternativas que buscan reducir de manera significativa los contaminantes del agua y

de esta forma mejorar la calidad de este recurso, para el consumo de la población en general.

Por ende, es necesario mencionar el proceso de potabilización de las aguas, en el cual la clarificación es una de las etapas más importantes ya que permite la remoción de materiales de naturaleza coloidal en suspensión, tales como arcilla, limo y lodos.

Por otro lado, el estudio de procesos de coagulación comenzó en la mitad del siglo XX, hacia el año 1970, dado al conocimiento que se tenía de las propiedades eléctricas del agua. (Diaz , J. 2014). Por esta razón, antes de esa década no se realizaba un correcto proceso de la clarificación del agua, para la cual es necesaria la utilización de agentes coagulantes, así como coadyuvantes de coagulación, que permiten eliminar un porcentaje significativo de las partículas en suspensión (típicamente entre 80 y 90 %); este proceso es conocido como coagulación-floculación. Los agentes convencionales utilizados en la coagulación-floculación son sales metálicas, tales como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico y el sulfato ferroso. Actualmente el coagulante más utilizado es el sulfato de aluminio multi hidratado ( $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ). (Arboleda V., J. 1975) (Barrenechea, A. 2004)

El uso de coagulantes sintéticos ha sido cuestionado debido a la dificultad que presenta el mantener un pH óptimo de trabajo para la coagulación, las grandes cantidades de producto empleadas para lograr buenos resultados y a su vez la aparición de enfermedades como el Alzheimer y el cáncer tras su uso, son los grandes problemas ambientales que estos causan (Cogollo, J. 2011) (Lenntech, s.f).

Es por esto que nace la necesidad de generar cambios en los procesos de tratamientos de aguas que garanticen un buen funcionamiento y que permitan la mejora en la calidad del agua, una de las opciones que se han venido estudiando es el uso de coagulantes alternativos derivados de productos orgánicos; en las últimas décadas se han realizado diversos estudios acerca del uso de plantas y residuos orgánicos para la fabricación de coagulantes alternativos que pueden ser utilizados en el sistema de tratamiento de aguas y que no sean perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

En el estudio Coagulantes- Floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra para el tratamiento de aguas contaminadas en el cual se obtuvo un coagulante para el tratamiento de aguas a partir de plantas y de desechos de plantas; concluyó que es factible el uso de plantas y de sus desechos como la Moringa, Caulote, Café y el almidón de papa y yuca para el uso como coagulantes en los procesos de clarificación de agua ya que son más económicos, tienen buenos rendimientos y causan menor impacto sobre la salud y los ecosistemas. Para el caso del caulote logró clarificar el agua en un 100% (Díaz, J. 2014), Por otra parte, el uso de Moringa Oleífera y diversos tipos de cactus en los procesos de coagulación de agua, en el cual se concluye que la actividad coagulante de las semillas de Moringa es superior al 80% en comparación a la obtenida con el uso del Sulfato de Aluminio (Ramírez & Jaramillo, 2015)

## **Teoría de la floculación**

La floculación puede ser pericinética u ortocinética en el presente trabajo nos centraremos en la segunda ya que es más pertinente para la investigación. La formación de flóculos es la consecuencia en la agrupación de todas las partículas que se ponen en contacto unas con otras, puede ser causada por el choque entre las partículas debido a que se acercan lo suficiente y en estas predominan las fuerzas de repulsión dadas en la carga eléctrica que trae como consecuencia una disminución de repulsión eléctrica La floculación ortocinética, es inducida y dada en el movimiento del fluido y debido a la agitación por gravedad y el peso de las partículas, que se aglomeran al caer, da paso al movimiento Browniano. (Antonio, & Seisdedos, 1998).

El coagulante aplicado da lugar a la formación del flóculo, pero es necesario poder aumentar su peso, volumen y su capacidad de cohesionarse, de esta manera se dará un engrosamiento del flóculo; proceso esencial en la agitación homogénea y lenta que ayudará al incremento de las posibilidades de formar el floc. (Antonio, & Seisdedos, 1998).

### **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. (Restrepo, H. 2009). En la ilustración 3 se observa cómo se forma un floc en el proceso de clarificación del agua.

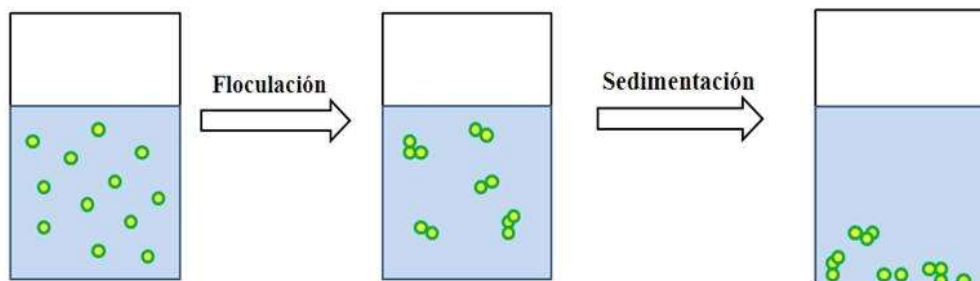
**Tiempo de detención:** La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Debe estar lo más cerca posible al óptimo, determinado por medio de ensayos de jarras. En la construcción, esto se puede lograr dividiendo la unidad de floculación en cámaras. Se puede decir 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. (Restrepo, H. 2009)

**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. (Restrepo, H. 2009)

Los estudios mencionados inmediatamente anteriormente permiten el paso a la aplicación de nuevas metodologías de coagulación en los procesos de tratamiento de aguas, logrando el aprovechamiento de materiales biodegradables y sostenibles a largo plazo, que logran resultados similares a los procesos convencionales, evitando complicaciones a la salud y el medio ambiente.

### Ilustración 3.

#### *Reacción de la floculación.*



*Fuente: Gabriel Bolívar.*

### Clasificación de los coagulantes

De forma general los coagulantes se clasifican en tres tipos (Tafur & Quevedo, 2014):

- **Coagulantes a base de sales metálicas:** son usados de forma convencional en los procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Dentro de los coagulantes de este tipo se encuentran los compuestos a base de sales de Aluminio y Hierro. Tafur & Quevedo (2014).
- **Coagulantes a base de polímeros sintéticos:** estos compuestos tienen alto peso molecular y aumentan la viscosidad de la solución; se utilizan como productos complementarios de los coagulantes a base de sales metálicas en la neutralización de partículas coloidales. Tafur & Quevedo (2014).

- **Coagulantes de origen natural:** son coagulantes alternativos, derivados de productos orgánicos que pueden presentar rendimientos iguales o superiores a los de los coagulantes convencionales, dentro de este tipo de coagulantes se encuentran los almidones y polisacáridos naturales como la celulosa y el quitosano, estos coagulantes presentan ventajas significativas con respecto a los coagulantes convencionales de las que se destacan (Servyeco, s.f):

- ✓ Sus características de biodegradabilidad que hacen que sea una alternativa amigable con el medio ambiente

- ✓ Su carácter orgánico que minimiza la posible modificación del pH y la conductividad en el agua ya que no consumen alcalinidad del medio.

- ✓ La eliminación total del incremento de sales en el agua.

- ✓ Una mayor eficiencia traducida en dosis bajas de coagulante que consiguen aumentar la velocidad de decantación, disminuir los tiempos de coagulación y mejorar la densidad del coagulo reduciendo de manera significativa la cantidad de floculante.

- ✓ Presenta ventajas económicas relacionadas con la reducción de costes asociados al mantenimiento de las instalaciones debido a que se reduce significativamente la corrosión que producen las sales usadas convencionalmente; por su eficiencia también se reduce o elimina por completo el uso de floculantes lo cual se traduce en menores costos. Dentro de este tipo de coagulantes se encuentran los almidones y polisacáridos naturales como la celulosa y el quitosano.

## **Estado del Arte**

### **Evaluación sobre intervenciones de coagulantes naturales para tratamiento de agua**

La coagulación es uno de los procesos más importantes en el tratamiento convencional de agua, el poder realizar su aplicación de manera idónea permite remover sustancias en suspensión, así como turbiedad y color. Por otro lado, los coagulantes químicos presentan una alta carga de lodos y en función de la coagulación del agua alteran el pH óptimo debido a su tratamiento. (Yin, 2010) lo cual no se desea dentro del proceso en cuestión.

Los estudios a nivel internacional y nacional han podido otorgar de manera clara la eficiencia de los coagulantes naturales en el tratamiento de aguas, los cuales sirven de soporte y antecedentes para el estudio del coagulante a base de maíz y trigo para la eliminación de turbiedad y color en acueductos rurales. Por ello es importante resaltar estos procesos naturales como ayuda importante al tratamiento del agua.

Uno de los estudios realizados en la india fue evaluar el rendimiento de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales donde cuyo estudio se basó en las semillas de tamarindo, moringa oleifera, cáscaras de plátano y cenizas volantes, los cuales se compararon con coagulantes comerciales como el alumbre. Los coagulantes naturales demostraron resultados significativos frente al alumbre, medido en disminución del porcentaje de turbidez para las semillas tamarindo, moringa oleifera, cáscaras de banano y cenizas volantes fueron 61,33%,



85,75%, 90,42%, 94,27% contra 96,49% obtenido de alumbre al tratar con agua residual en condiciones idénticas, el efecto del pH y la velocidad de agitación tienen una gran incidencia sobre la turbidez se encontró entre un pH 8 y 10 (Chitra, D., Muruganandam, L. 2020).

Los autores (Chitra, D., Muruganandam, L. 2020), concluyen la importancia de trabajar con los coagulantes naturales, ya que presentan buenos porcentajes de remoción para el tratamiento de aguas residuales, donde el pH, velocidad, tiempo de mezcla y dosis de coagulante imperan en buenos resultados de remoción de turbidez por encima del 80%.

Los autores (S Gautam, S & Saini G, 2020) hacen un análisis acerca de los coagulantes químicos y coagulantes naturales para la remoción de turbiedad, sólidos, DQO, color y metales pesados. Frente a coagulantes químicos más estudiados son el sulfato aluminio, cloruro férrico, y algunos polímeros. En comparación, entre los coagulantes naturales están las semillas tales como el maíz, la moringa, el quitosano, cactus entre otros. El eje central del análisis realizado es poder evidenciar las ventajas y desventajas que tiene cada uno de los coagulantes químicos frente a los naturales. Algunas evidencias resaltan la posibilidad de un impacto negativo al medio ambiente y la salud pública, si no son biodegradables y además si permanecen en el agua después de su proceso de coagulación. Para los coagulantes naturales en muchos países su proceso de obtención es mucho más costoso que un polímero sintético, pero en cuanto a resultados esperados sus % de remoción en la mayoría de matrices de agua a tratar son superiores al 70%.

(S Gautam, S & Saini G, 2020) concluyen que basan su estudio en la comparación entre los coagulantes químicos y naturales donde pueden determinar la importancia de poder introducir los coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales y su importancia medioambiental. Por tal razón, emerge la posibilidad de poder investigar mucho más, acerca del tratamiento de agua con coagulantes naturales.

(Gaikwad, V., Munavalli, G., 2019) Establece en su artículo el potencial de eliminar turbiedad en la semilla moringa oleifera y *Strychnos potatorum* (Nirmali) como coagulantes naturales con lastra y sin lastra en este caso el carbón activado en polvo y el aloe vera como coagulante auxiliar, la concentración de Moringa oleifera para turbidez media y alta fue de 50 mg / L y 100 mg / L, respectivamente, con porcentajes de remoción de la turbiedad de 90,46% y 88,57% respectivamente. La dosis óptima de *Strychnos potatorum* fue 0.2 mg / L, 0.6 mg / L y 0.8 mg / L para bajas, turbidez media y alta, con una remoción de turbidez de 71,42, 64,28 y 57,14%, respectivamente.

Los autores pudieron concluir en su estudio, que las semillas cumplen con unos altos porcentajes de remoción de turbidez, demostrando así la importancia de los coagulantes auxiliares que favorecen la eliminación de sólidos coloidales representados en la turbidez del agua. El estudio reveló que la coagulación con Moringa oleifera y *Strychnos potatorum* es un proceso rentable especialmente para las zonas rurales. Reduciendo así la cantidad de coagulante y el tiempo requerido para el tratamiento del agua. (Gaikwad, V., Munavalli, G. 2019).

El proceso de coagulación-floculación es uno de los procesos más efectivos en el tratamiento de efluentes en plantas de aceite de palma (POME) cabe anotar que son fuentes de aguas residuales altamente contaminadas por el proceso de molienda del aceite de palma, la investigación fue realizada en Malasia en el año 2017, donde se estudió la remoción de turbidez, sólidos suspendidos totales y demanda química de oxígeno mediante el proceso de coagulación-floculación del maní Okra y el germen de trigo Okra. Así como el diseño de un modelo estadístico K2, el ANOVA fue el método de análisis donde se estudiaron como variables independientes. (Chee Yap Chung, C., Selvarajoo, A., Koyande, A., Arputhan, A., Lim, Z., 2018).

Los resultados que se dieron para el proceso de coagulación floculación mediante el proceso de secado y disolución del coagulante con NaCl 1M de maní y el trigo Okra se evidenciaron porcentajes de remoción para turbiedad, SST Y DQO superiores al 90% en el caso específico del maní Okra 92.5, 86.6 y 34.8%, respectivamente y en el caso de la semilla Okra con porcentajes de remoción de 86,6, 87,5 y 43,6%, el pH se mantuvo a 11,6 unidades para el maní y 12 unidades para el trigo. Las concentraciones de coagulante natural fueron para 1000mg/L y 1170 mg/L respectivamente (maní y semilla de trigo Okra). (Chee Yap Chung, C., Selvarajoo, A., Koyande, A., Arputhan, A., Lim, Z 2018).

Para concluir los autores expresan, que debe realizarse estudios más rigurosos para la DQO ya que sus porcentajes de remoción son bajos, planteando el tratamiento con maní y el trigo Okra como un potencial agente coagulante para el

tratamiento del POME. En adición, expresan que sus porcentajes de remoción tanto para la turbiedad y los SST son superiores al 80%.

En el año 2016 el estudio basado en el “Rendimiento de almidones convencionales como coagulantes naturales para la eliminación de turbidez” se utilizaron los almidones a base de arroz, trigo, maíz y papa donde se evaluó la capacidad de los coagulantes naturales en condiciones normales y esterilizados bajo autoclave vs la preparación de agua turbia sintética la cual fue preparada con agua destilada y caolín. (Choy, S., Prasad K., Wu T., Raghunandan, M., Ramanan, R. 2016).

Los resultados obtenidos para los coagulantes naturales en el proceso de coagulación-floculación que no fueron sometidos a esterilización en cuanto a eliminación de turbidez mostraron resultados negativos (< 25%). Los que fueron sometidos a autoclave expresaron valores de remoción de turbiedad cercanos al 50% en especial el arroz que superó los demás cereales. (Choy, S., Prasad K., Wu T., Raghunandan, M., Ramanan, R. 2016). La obtención de los coagulantes a pH 4 muestran los mejores resultados a una dosis óptima de 120 mg/L, Los autores concluyeron que la gelatinización es un proceso importante porque rompe las partículas coloidales y se hace necesario para dar resultados de coagulación positivos.

El Grupo de Investigación Biotecnología de Microalgas, Físicoquímica Aplicada y Estudios Ambientales, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia, realizó un estudio donde evaluaron la mezcla de un coagulante químico natural en el

proceso de clarificación de una ciénaga, los autores (García, K., Rodríguez, G., Martínez, I., 2020), evaluaron el poder del coagulante entre el sulfato de aluminio y el almidón de yuca con una relación 2:8 para la ciénaga grande en (Atlántico-Colombia), donde evaluaron las condiciones del agua y a partir de ese punto el desarrollo del test de jarra para medir la reducción de la turbidez.

(García, K., Rodríguez, G., Martínez, I., 2020) siguieron el protocolo de la NTC 3903 de 2010, donde suministraron la dosis óptima de coagulante, así como agitación rápida, lenta y sedimentación. El rango óptimo de pH fue entre 6-8 unidades, el sulfato de aluminio obtuvo un porcentaje de remoción de 70%, para la mezcla entre sulfato de aluminio y el almidón de yuca de 71,06% porcentaje de remoción de la turbidez. Con esta investigación se comprobó que una mezcla de coagulante químico natural donde la proporción del sulfato sea menor, da resultados positivos demostrando ser una alternativa en el tratamiento de agua.

En la revista de investigación agraria y ambiental (RIAA), los autores (Barreto, S., Vargas, D., Ruíz, L., Gómez, S., 2019) realizaron una evaluación de coagulantes en la clarificación de aguas, donde hicieron un comparativo entre el coagulante comercial Sulfato de aluminio y los coagulantes naturales extraídos de la semilla del aguacate y el mucílago del café, el mucílago fue combinado con buffer de fosfato y agua destilada los cuales estuvieron plasmados como Tipo A Tipo B, para tratar las aguas de la quebrada guayacana en el municipio de Socorro Santander. El estudio estuvo establecido por el test de jarras para la reducción en términos de remoción del color y la turbidez. Los resultados expresados por los autores identifican que para el coagulante tipo C (Semilla de aguacate), presentó una remoción de 44,22%

para turbidez, el coagulante tipo A (Agua destilada) obtuvo mejores resultados permitió remover 64,29% de turbidez, 52,20% de color. En cuanto al coagulante tipo B (Buffer de Fosfato), presenta valores poco efectivos de turbidez y color con un porcentaje del 30% y 39% respectivamente

Los autores (Barreto, S., Vargas, D., Ruíz, L., Gómez, S., 2019) pudieron concluir que el coagulante tipo A, puede ser una alternativa para el tratamiento de aguas dada su lugar a la reducción de turbidez y color, pero presenta valores inferiores a los obtenidos por el coagulante químico, el cual arroja porcentajes de remoción superiores al 90%.

A nivel nacional uno de los artículos más importantes es el de Sonia E. Aguirre.; Nelson V. Piranique.; Rosmery K. Cruz.2018); "Naturales: Alternativa para el tratamiento del agua del río magdalena en Palermo, Colombia", Facultad de Ingeniería Grupo de Investigación Suelo, Ambiente y Sociedad, el cual se centró en evaluar la capacidad de las sustancias naturales como la Moringa, Cactus, Neem y maíz para la sostenibilidad de la potabilización en el río magdalena, específicamente en el corregimiento de Palermo. En este estudio se empleó el test de jarras para la obtención de la dosis óptima del coagulante y así poderlos seleccionar para ser trabajado en los análisis de interés. (Coliformes Totales y Coliformes Fecales). (Aguirre, S.; Piranique, N.; & Cruz R.; 2018).

Entre los principales resultados del estudio se refleja que las semillas M. oleífera, A. indica, Z. mays y O. presentan actividad coagulante de 95 y 92% de remoción de turbidez y color, respectivamente. Para la etapa de análisis de

microbiología se pudo determinar unos valores altos de remoción en las diferentes semillas.

La *M. oleifera* A indica una disminución del 99.4 y 99.2% para Coliformes totales y fecales. (Aguirre, S.; Piranique, N.; & Cruz R.; 2018).

Llegando a la conclusión que las sustancias naturales pueden ser utilizadas como alternativa para el tratamiento de agua del río Magdalena, y que son efectivas en la remoción de turbidez y color, sin alterar significativamente el pH del agua. Es por esto que los coagulantes naturales se postulan como una alternativa viable económicamente y ambientalmente sostenible en el tiempo, los cuales no solo son eficientes en la remoción de la turbiedad y color sino que también presentan altos porcentajes de remoción para Coliformes fecales y totales comparado con el coagulante convencional. El estudio permite plantear la posibilidad de poder incluir los materiales utilizados como una buena alternativa para el tratamiento del agua, donde los beneficiados son las comunidades que a día de hoy no cuentan con fuentes hídricas tratadas previo a su consumo. (Aguirre, S.; Piranique, N.; & Cruz R.; 2018).

(Rodríguez M., J. P.; Lugo U., I. P.; Rojas C., A. V.; Malaver C., C. 2007) En esta investigación se planteó como objetivo evaluar el sulfato de aluminio tipo B, con el almidón de yuca y el almidón de maíz como alternativa de reducción. Los resultados esperados en términos de reducción se pudo observar como el sulfato de aluminio y el almidón de maíz presentan los mejores resultados ya que logran

reducir turbidez y color en un valor superior al 90%, en cuanto al almidón de yuca tiene resultados inferiores a los ya mostrados por los otros dos coagulantes.

De la misma manera se pudo concluir que el almidón de maíz es un coagulante que puede ser utilizado como una alternativa adicional para el tratamiento de aguas y que además sirve para la reducción de color y turbidez en aguas sin tratamiento previo. El almidón de yuca no tiene los niveles esperados respecto al almidón de yuca, pero si es viable en el un estudio de aguas con menor carga de color y turbidez. (Rodriguez M., J. P.; Lugo U., I. P.; Rojas C., A. V.; Malaver C., C. 2007)

**Tabla 2.**

**Evaluación de Coagulantes para el tratamiento de agua**

País	Tipo de intervención	Resultados
India	Evaluar la eficacia de varios coagulantes en aguas residuales variando pH, velocidad de mezcla, tiempo de sedimentación y dosis de coagulante.	Los coagulantes obtuvieron porcentajes de remoción superiores al 85% a excepción de la semilla de tamarindo en reducción de turbidez VS un 96% respecto al coagulante convencional. (Chitra, D., Muruganandam, L. 2020).
India	Evaluación y comparación de los coagulantes químicos como el sulfato de aluminio, cloruro férrico entre otros vs los coagulantes naturales como la moringa oleifera, quitosano, cactus	Los resultados de los coagulantes naturales en reducción de parámetros como color y turbidez son superiores al 70% (S Gautam, S & Saini G, 2020)



	entre otros. Para la reducción de parámetros fisicoquímicos en el agua.		
India	Evaluación de coagulantes naturales Moringa Oleifera y Nirmali para la remoción de turbidez con la ayuda carbón activado en polvo y de aloe vera como coadyuvantes en la clarificación de aguas.	Permitió demostrar que tanto la moringa como la Nirmali, al ser estudiada con los coagulantes auxiliares, permitieron una mejora significativa en la reducción de turbidez, superiores al 60% (Gaikwad, V., Munavalli, G. 2019)	
Malasia	Evaluación de coagulantes Maní y trigo Okra para la remoción de turbidez, SST, DQO en una planta de aceite de palma de aguas residuales, mediante la coagulación floculación de las semillas de maní y trigo Okra.	Se demostró como las semillas de maní y trigo Okra son alternativa de tratamiento para la clarificación de aguas en cuento a la remoción de turbidez y SST en aguas del 92.5 y 86.6% respectivamente , a excepto de la DQO, ya que tuvo porcentajes de remoción inferior al 50% (Chee Yap Chung, C., Selvarajoo, A., Koyande, A., Arputhan, A., Lim, Z 2018).	
Malasia	Evaluación de coagulantes a base de arroz, maíz, trigo y papa al ser analizados bajo las condiciones de esterilización (Autoclave) vs el agua sintética preparada a partir de agua destilada con caolín. Para remoción de turbidez	La evaluación evidenció impactos favorables sobre los coagulantes naturales en especial el de a base de arroz, sobre los demás coagulantes pero siendo sometidos (Autoclave con un porcentaje del 50% ya que los que no fueron sometidos (Autoclave), resultados negativos (<25%), entrego resultados negativos en comparación con el agua sintética. (Choy, S., Prasad K., Wu T., Raghunandan, M., Ramanan, R. 2016).	
Colombia	Evaluación de coagulante natural combinado con un coagulante convencional para la clarificación de	La evaluación arrojó resultados positivos en cuanto a la remoción de la turbidez, para una mezcla de coagulante natural con uno convencional en este	

	una ciénaga, en la remoción de turbidez.	caso el sulfato de aluminio con el almidón de yuca, al ser comparados con el coagulante convencional arrojó resultados más altos en cuanto a la remoción de turbidez. Para el sulfato de aluminio fue del 70% y para la combinación con la yuca del 71.06%.	
Colombia	Evaluación y comparación de coagulantes naturales, semilla del aguacate y mucílago del café combinado con buffer de fosfato y mucílago de café con agua destilada para la remoción de turbiedad en la quebrada Guayacana, en Socorro Santander	Los resultados de la evaluación evidenciaron un impacto positivo en el uso del mucílago del café con agua destilada, con resultados de 44.22% para turbiedad los otros dos coagulantes naturales obtuvieron resultados muy bajos, el coagulante tipo A (Mucilago de café con agua destilada 64.29% para turbiedad y 52.20 % para color son positivos pero inferiores al coagulante convencional. (Barreto, S., Vargas, D., Ruíz, L., Gómez, S., 2019)	
Colombia	Evaluar la eficacia de varios coagulantes Moringa, Neem, Cactus y maíz para la clarificación del agua del río Magdalena para la remoción de turbidez, color y Coliformes fecales y totales en el corregimiento de Palermo atlántico.	Entre los principales resultados se refleja que las semillas M. oleifera, A. indica, Z. mays y O. ficus indica presentan actividad coagulante de 95 y 92% de turbidez y de color, respectivamente. Para la etapa de análisis de microbiología se pudo determinar unos valores altos de remoción en las diferentes en las semillas como la A indica, logró disminución del 99.4 y 99.2% de los Coliformes totales y fecales. (Aguirre, S.; Piranique, N.; & Cruz R.; 2018).	

Colombia	Evaluación en el proceso de coagulación para el diseño de una planta potabilizadora. Comparación entre el sulfato de aluminio como coagulante convencional y el almidón de yuca y maíz como coagulante natural	El coagulante natural a base de maíz obtuvo % de remoción superiores al 90% pero el almidón a base de yuca obtuvo % de remoción inferiores al 70%	
Estado del arte	La evidencia recogida a través de diferentes estudios, entre estas revisiones sistemáticas y bibliográficas, demuestra que las evaluaciones de coagulantes naturales empiezan a ser importantes como alternativa para el tratamiento de aguas de diferentes matrices Agua residual, rural, superficial entre otras.		

Fuente: Elaboración Propia

En función de lo anterior, este trabajo pretende ampliar los conocimientos existentes sobre el uso de biopolímeros como coagulantes naturales, de tal forma que puedan ser usados en mayor medida en los procesos de tratamiento de aguas, teniendo en cuenta los múltiples beneficios que presentan frente al uso de polímeros sintéticos. La investigación incluirá la obtención del almidón a base de maíz y trigo, el test de jarras para determinar la dosis óptima, así como el desarrollo de los métodos de color aparente y turbiedad y los porcentajes de remoción del agua del acueducto rural de Madrid Cundinamarca. Con el fin de establecer las condiciones de mayor eficacia del maíz o el trigo.

Se aborda en primera instancia los conceptos y temas fundamentales del proceso de tratamiento de coagulación-floculación a base de maíz y trigo para acueductos rurales, después se aplica la metodología para la obtención del maíz y trigo, se realizarán pruebas de test de jarras para determinar su eficiencia en la

remoción de contaminantes de una muestra de agua rural y finalmente se presentan los resultados y conclusiones más relevantes del proceso investigativo.

Según Andía (2000), los coagulantes más usados son Sulfato de Aluminio, Aluminato de Sodio, Cloruro de Aluminio, Cloruro Férrico, Sulfato Férrico, Sulfato Ferroso y los polielectrolito como ayudantes de floculación. Cogollo por su parte, afirma que el uso de estos coagulantes convencionales derivados de sales de Aluminio y Hierro han sido cuestionado en las últimas décadas debido, entre otras cosas, a la dificultad técnica para estabilizar el pH óptimo de coagulación, la necesidad de altas cantidades del producto para lograr resultados adecuados y su relación con la aparición de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer y cáncer; además estas sales tienen efectos adversos sobre el medio ambiente, para el caso del Aluminio, en altas concentraciones genera problemas de acidificación, además se bioacumula en las plantas y causa problemas en la salud de los animales que las consumen; el Hierro por su parte es un elemento persistente en los ecosistemas (Cogollo F, 2011).

## **Almidón**

### **Definición y estructura química**

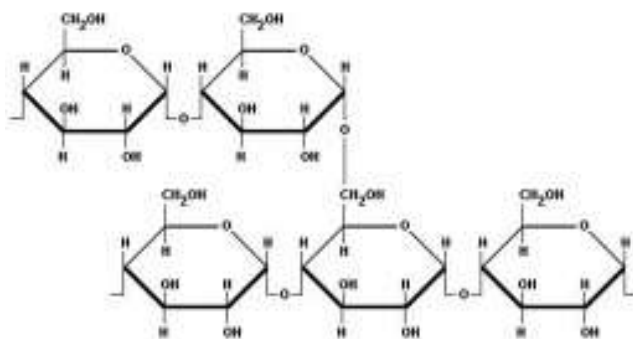
El almidón es una materia prima con un amplio campo de aplicaciones que van desde la impartición de textura y consistencia en alimentos hasta la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables. La ilustración 4 muestra esa estructura química del almidón importante en su proceso de coagulación.

Estructuralmente, el almidón consiste en dos polisacáridos químicamente distinguibles: la amilosa y la amilopectina. La amilosa es un polímero lineal de

unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  (1-4), en el cual algunos enlaces  $\alpha$  (1-6) pueden estar presentes. Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar un color azul por la formación de un complejo con el yodo (KNUTZON & GROVE, 1994). Mientras que la amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94-96% por enlaces  $\alpha$  (1-4) y en un 4-6% con uniones  $\alpha$  (1-6). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa. La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta

#### Ilustración 4.

##### Estructuras químicas del almidón.



Fuente. (GUAN & HANNA, 2004).

Los almidones nativos de las diferentes especies de vegetales tienen como característica fundamental que sus propiedades fisicoquímicas y funcionales estarán influenciadas por sus estructuras granular y molecular (WANG & WHITE, 1994).

## **Fuentes de almidón**

Las fuentes convencionales más importantes para la extracción de este polisacárido son los granos de cereales como el maíz, trigo, arroz y sorgo; tubérculos como la papa, yuca, boniato y sagú; encontrándose también en hojas, semillas de leguminosas y frutas (Betancur-Ancona, 2001).

## **Maíz**

El almidón es el principal constituyente del maíz (*Zea mays* L.) y las propiedades fisicoquímicas y funcionales de este polisacárido están estrechamente relacionadas con su estructura. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. Estas moléculas se organizan en anillos concéntricos para originar la estructura granular. La distribución de la amilosa dentro de los anillos concéntricos difiere entre el centro y la periferia del gránulo, ya que sólo ocupa los lugares disponibles que deja la amilopectina después de sintetizarse (Tetlow, 2004).

Según sus propiedades físicas y / o funcionales los maíces pueden ser clasificados en: blanco, azul y morado, dentado, cristalino, palomero, alto en amilasa, alto en lisina, alto en aceite , pozolero o cuzco, amarillo, ceroso; siendo los dos últimos los de mayor importancia en la obtención de almidón; así tenemos que el maíz amarillo es el más producido a nivel mundial, se caracteriza por contener alto contenido de pigmentos carotenoides en el endospermo y son los maíces preferidos por la industria refinadora de almidón, en tanto el maíz ceroso tiene bajo contenido de amilosa (0 – 5 %), con una apariencia del endospermo cerosa utilizados por la

industria refinadora de almidón, sus propiedades funcionales son contrastantes con el almidón procedente de endospermos normales. El maíz contiene además, dextrinas y de un 2 a un 4 % de sacarosa, que en el caso del maíz dulce puede sobrepasar el 6 %. (Ellis, 1998)

### Tabla 3.

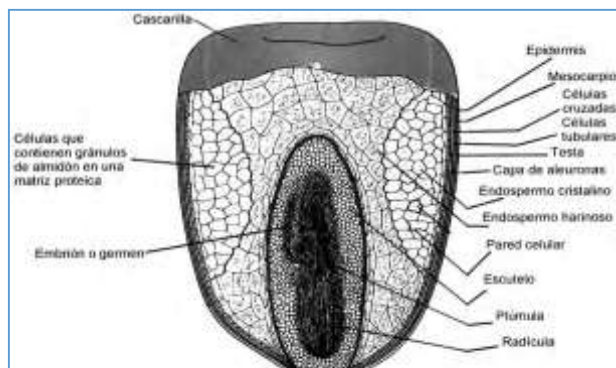
#### Clasificación taxonómica del maíz

Clasificación taxonómica del maíz	
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	
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>
Nombre científico	
<i>Zea mays L</i>	

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:

### Ilustración 5. Estructura del grano de maíz



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

### El trigo

La semilla del trigo consiste en tres partes: endosperma, aproximadamente el 83% de la semilla; salvado, alrededor del 14.5% y germen, alrededor del 2.5%. La endosperma es la fuente de la harina blanca, contiene aproximadamente el 90% de almidón y proteína, el resto es humedad y pequeñas cantidades de grasa, ceniza y pentosanos. La diferencia entre el trigo duro y suave reside en la endosperma, la parte interior almidonosa de la semilla. En las variedades de trigo suaves, los gránulos de almidón están unidos menos estrechamente a la matriz de la proteína que los trigos duros. Esto se debe aparentemente a la friabilidad, pequeña proteína presente en el trigo suave. (Choy, Prasad, Wu, Raghunandan, & Ramanan, 2016) El almidón es el principal carbohidrato del trigo y la harina. El almidón de trigo normal contiene 25% de amilosa (la molécula de almidón menor y linear) y 75%



amilopectina (la molécula ramificada más grande). En presencia de exceso de agua, como en un amilógrafo, el almidón se gelatiniza a 65°C (159°F).

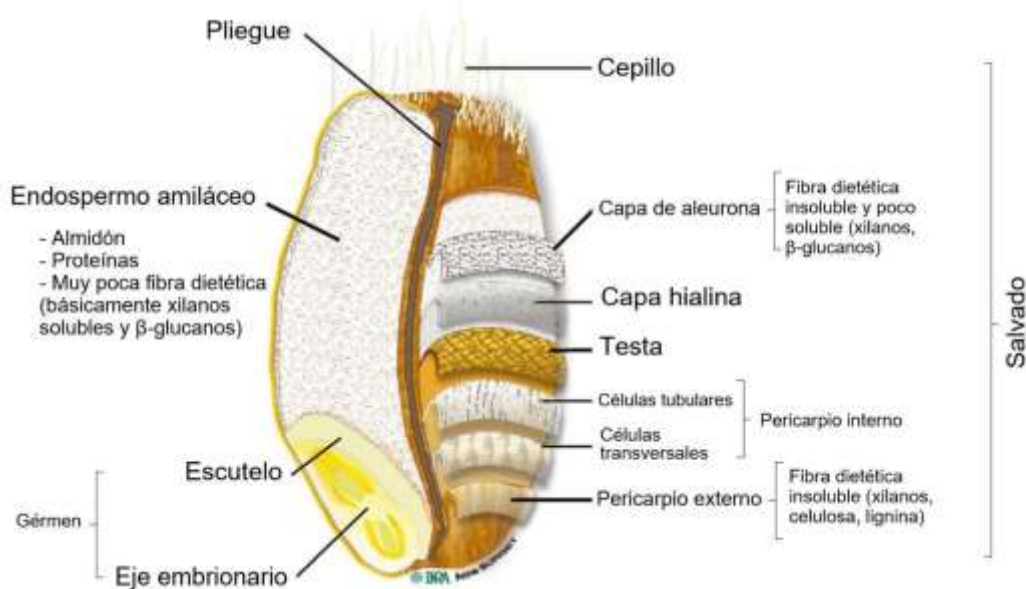
En sistemas limitados de agua, incluyendo la mayoría de las formulaciones para horneado, la temperatura de gelatinización es de 5°C a 15°C (9°F a 27°F) más alta.

En situaciones extremas de limitación de agua, tales como masa para galletas, la mayoría del almidón se granula, nunca se gelatiniza (Usefi, 2019).

El grano de trigo está constituido por el pericarpio, cubierta de la semilla (8% de peso total), la capa de aleurona (7%), el germen (2,5%) y el endosperma (82,5%). El pericarpio es una cubierta protectora que rodea toda la semilla y está formado por varias capas (Usefi, 2019)

## Ilustración 6.

### Estructura del grano del trigo



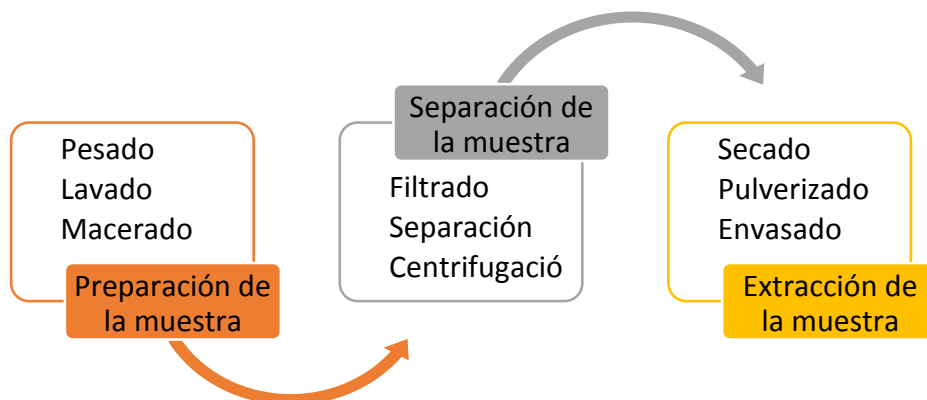
Fuente: Adaptado por Knudsen (2014) de surget y barron (2005)

## Obtención del almidón

El proceso de extracción del almidón se ha evaluado en diferentes materiales reduciéndose en un proceso de: i) preparación de la muestra: comprende el pesado, lavado y macerado de las muestras, ii) separación de la muestra, que comprende el filtrado, separación y centrifugación, iii) extracción de la muestra, que comprende el secado, pulverizado y envasado.

### Ilustración 7.

#### Proceso general de obtención del almidón.



Fuente: Elaboración Propia

## Usos y aplicaciones del almidón

Durante los últimos 30 años ha habido un aumento constante de conocimiento sobre las fuentes, usos y efectos fisiológicos del almidón (Brown, 2019), como polímero natural ha atraído un interés significativo y actualmente se utiliza en numerosas aplicaciones industriales esto debido a su capacidad de renovación, biodegradabilidad, abundancia y propiedades cohesivas de formación de película.

Uno de los usos del almidón es que tiene un abundante potencial de uso como sustituto de otros polímeros potencialmente tóxicos utilizados en el tratamiento del agua. Esto se debe a que el almidón no es tóxico, es sostenible, tiene un costo relativamente bajo y es susceptible de diversas modificaciones químicas que son de interés para las aplicaciones de tratamiento de agua. Además, los grupos funcionales -OH en la estructura del almidón podrían usarse como puntos de anclaje de partículas contaminantes (P. Raveendran, 2003), en el tratamiento del agua. El almidón como material absorbente o funcional en el tratamiento de aguas residuales tiene numerosas ventajas como la disponibilidad en todo el mundo y la renovabilidad, lo que lo hace viable y atractivo económicamente. En cuanto a sus propiedades con relación al agua, tiene una excelente capacidad de hinchamiento que a su vez le confiere una cinética rápida y excelencia en la eliminación de una amplia gama de contaminantes.

Debido a sus grupos funcionales, se puede modificar y adaptar fácilmente para atacar contaminantes específicos. Las características de gelificación del almidón permiten que sea soluble en agua a temperaturas elevadas, lo que lo ha convertido en una opción adecuada para su uso como dispersante de nanopartículas utilizadas en la descontaminación del agua (F. He, 2005)

**Tabla 4.****Usos de almidón en remoción de contaminantes**

MATERIAL	CONTAMINANTE
Almidón-Fe-Pd	Tricloroetano
Xantato de almidón	Ni <sup>2+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , Cr <sup>3+</sup>
Carboximetil almidón	Pb <sup>2+</sup> , Cd <sup>2+</sup> , Cu <sup>2+</sup>

**Fuente:** (Ogunsona, Ojogbo, & Mekonnen, 2018)

## Planteamiento del problema

Según el DANE (2019), en la actualidad 15.88% de la población colombiana reside en el sector rural, es decir que cerca de 7.013.309 colombianos se abastecen de acueductos rurales. El país todavía no logra asegurar agua potable y saneamiento básico para todos sus habitantes, mientras en las áreas urbanas la cobertura de acueducto es del 97% en el área rural es del 74% MINVIVIENDA (2018), las bajas coberturas de agua potable en la población rural, y la falta de sistemas eficientes para el tratamiento del agua se ven reflejadas en los altos índices de Riesgo

Asociados a la calidad del agua– IRCA, actualmente departamentos como Bolívar, Boyacá, Caldas, Guainía, Huila, Meta, Putumayo y Tolima presentan índices de riesgo entre el 45% y el 83% es por esto que los índices asociados a las enfermedades vehiculizadas por agua, entre ellas las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAS), Hepatitis A, fiebre tifoidea, Cólera, ETA; van en aumento o se mantienen en el tiempo por la falta de tratamiento del agua. MINSALUD (2019),

Actualmente existen personas prestadoras de servicios públicos para las zonas rurales y pequeñas comunidades rurales instalan plantas compactas en las que se utiliza una sola unidad de tratamiento que permite desarrollar los diferentes procesos, entre ellos la aireación, decantación, reducción de la turbidez, filtración y desinfección. (Quiñones & Rojas 2017). Estos autores establecen que entre las ventajas de estas plantas se encuentran mínimo consumo de energía, ocupan poco espacio, no presentan contaminación acústica, y no requieren obras civiles de gran

envergadura; mientras (Ríos, 2017), establece que la variación constante en color y turbiedad hace que la planta se empiece a colmatar en un tiempo de 6 meses y de este modo disminuir las eficiencias de tratamiento, en un 20 a 30% y al poco tiempo de ser instaladas estas estén fuera de funcionamiento.

La clarificación es una de las etapas más importantes, ya que permite la remoción de materiales de naturaleza coloidal en suspensión tales como arcilla, limo y lodos, y de este modo, disminuir los costos de tratamiento en unidades compactas y convencionales. Para lograr la clarificación del agua, es necesaria la utilización de agentes coagulantes, así como coadyuvantes de coagulación, que permiten eliminar un porcentaje significativo de las partículas en suspensión, entre ellos se encuentran las sustancias químicas a base de sulfatos y cloruros que por su costo y oferta comercial no son asequibles a las comunidades y zonas rurales lejanas.

Recientemente existen tecnologías limpias entre ellas la Bio Coagulación, que consiste la capacidad de remover la turbiedad y color del agua potable, el problema ha radicado en que no se han divulgado las investigaciones sostenibles enfocadas a brindar este tipo de soluciones de saneamiento del agua a las comunidades rurales.

Debido a la situación y la realidad que viven las comunidades rurales, es necesario conocer la capacidad de clarificación del agua en el sector rural empleando sustancias orgánicas. Es por esto por lo que se genera la siguiente pregunta de investigación: ¿El uso de un coagulante – floculante a base de almidón de Maíz y Trigo podría mejorar las condiciones de calidad de agua en los parámetro

fisicoquímicos de turbiedad y color aparente del agua que brindan como servicio en los acueductos rurales?

**Objetivo general:**

Evaluar la capacidad de remoción de turbiedad y color aparente utilizando almidón de Maíz y Trigo como coagulante – floculante.

**Objetivos específicos:**

1. Determinar la dosis óptima de almidón de trigo y maíz mediante ensayo de jarras.
2. Establecer la capacidad de remoción de turbiedad y color aparente por cada tipo de almidón.



## Metodología

Las muestras se recolectaron en uno de los acueductos rurales del municipio de Madrid. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de la empresa de acueducto y alcantarillado de Madrid Cundinamarca y en el laboratorio Cian Ltda.

De esta manera, en los laboratorios se realizaron los análisis de determinación de dosis óptima de coagulante (Barra, Romero, & Beltramino, 2012) por medio del test de jarras, basados en la NTC 3903, además los ensayos de turbiedad y color aparente de los almidones y la efectividad de remoción con los dos tipos de almidón a base de maíz, trigo y sulfato de aluminio.

El ensayo de jarras se efectuó por duplicado para cada uno de los coagulantes, se obtuvo un total de 98 ensayos con los factores que intervinieron en los ensayos, como el pH, concentración de 5 y 10 ppm y velocidad de agitación rápida de 100 y 150 rpm y velocidad de mezcla lenta de 20 y 30 rpm. Las muestras para la determinación de turbiedad y color aparente fueron recolectadas en ámbar de 250 ml y almacenadas en neveras refrigeradas para su total preservación y llevadas al laboratorio CIAN LTDA para su respectivo análisis.

Para el desarrollo de las técnicas objeto del estudio nos basamos en la NTC 17025, donde establece que el tiempo de análisis de los parámetros de estudio son 48 horas, por eso no más fueron recolectadas al día siguiente fueron desarrollados los análisis de turbiedad y color aparente.

## **Parámetros Fisicoquímicos objetos de estudio**

Para establecer la capacidad de remoción del Almidón del maíz, trigo y coagulante industrial bajo las condiciones ejecutadas en el ensayo de jarras, se realizó análisis de Color Aparente y Turbiedad en la muestra de agua cruda proveniente del acueducto veredal en Madrid Cundinamarca antes y después de la aplicación del maíz, el trigo y el coagulante industrial, con el fin de realizar un análisis detallado de los resultados obtenidos en las pruebas de tratabilidad y así poder definir la eficiencia de los coagulantes naturales.

Los análisis desarrollados fueron basados en la NTC 17025 y bajo el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition (Rice, Baird, & Eaton, 2017). A continuación, se realiza una breve descripción de los mismos:

- **Turbidez:** (SM 2130 A y 2130 B) Se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de luz dispersada, más intensa es la turbidez de la muestra.
- **Color Aparente:** (SM 2120 B) el método consta de la muestra original sin filtración la cual es medida en espectrofotómetro a 456 nm, mayor absorbancia mayor concentración en la intensidad del color de la muestra.

Factores: tipo de agua se mantuvo constante, tipo de coagulante, dosis de coagulante, tiempo de mezcla rápida, tiempo de mezcla lenta, tiempo de

sedimentación. Los niveles de estos factores fueron el pH de 7,50 y 8,00 unidades, La concentración de 5 y 10 ppm, así como la velocidad de mezcla rápida de 100 y 150 rpm y velocidad de mezcla lenta de 20 y 30 rpm respectivamente.

Con respecto a la velocidad de mezcla rápida y velocidad de mezcla lenta, a partir de (Trujillo, et al. 2014) se puede concluir que la velocidad de mezcla rápida generalmente está en el rango 75-300 rpm, mientras que la velocidad de mezcla lenta generalmente está en el rango 10-40 rpm. Así, partiendo de estos rangos, los valores desarrollados en el ensayo de jarras para velocidad de mezcla rápida fueron de 100 rpm y 150 rpm como valores máximos y mínimos, respectivamente, de velocidad de mezcla rápida, y los valores 20 rpm y 30 rpm como valores máximos y mínimos, respectivamente, de velocidad de mezcla lenta.

Los ensayos de todas las muestras fueron realizados en un tiempo de 24 horas en las instalaciones de CIAN LTDA, donde adicionalmente se realizó una pequeña caracterización fisicoquímica de la muestra recolectada en el acueducto veredal de Madrid Cundinamarca.

Tabla 5.

## Caracterización Inicial Físicoquímica del agua (Sin tratamiento)

AGUA CRUDA, ACUEDUCTO VEREDAL DE MADRID CUNDINAMARCA (SUBTERRÁNEA)		
Parámetros	Concentración Final	Unidades
pH	6,29	Unidades 5-9
Temperatura	20,4	°C
Conductividad	126	Us/Cm
Alcalinidad	66	mg/L
Sólidos Sedimentables	0,2	mL-L-hr
Sólidos Suspendidos totales	213	mg/L
Turbiedad	68,4	NTU
Color Aparente	51	Upt-Co
DQO	32	mg/L
DBO	19,2	mg/L

Fuente: Javier Velandia

## **Diseño factorial**

El diseño factorial es uno de los diseños experimentales más adecuado para la presente investigación, ya que los métodos de análisis consideran que los diseños son completamente aleatorizados de este modo se define que este diseño está compuesto del factor A con  $n_1$  niveles, el factor B con  $n_2$  niveles, el factor K con  $n_i$  niveles. Con el análisis de varianza por medio del ANOVA, así como un diseño Post Hoc y un Manova que se realizó a partir de los comparativos de Las variables evaluadas como se observa en la tabla N° 6.

Para el logro del primer objetivo se trabajó con dos factores: pH con 2 niveles en medio básico y la velocidad de agitación con dos niveles (velocidad de mezcla rápida velocidad de mezcla lenta, dado que el plano experimental no es ortogonal y este no cuenta con punto central el diseño experimental corresponde a un total de 96 experimentos.

Para el logro del segundo objetivo y con el fin de determinar el almidón más eficiente se parte que en el objetivo anterior ya se determinó la dosis óptima de coagulante, y en este procedimiento se realizó la aplicación del mismo diseño  $2k$  lo cual corresponde a 16 experimentos los cuales se realizaron por duplicado por almidón más el sulfato de aluminio, para un total de 96 experimentos.

Factores variables: pH, velocidad de mezcla rápida, velocidad de mezcla lenta, dosis del coagulante

VARIABLES DE RESPUESTA: turbiedad en UNT y el color aparente en UPC.

Factores constantes: tipo de agua, tipo de coagulante, dosis de coagulante, tiempo de mezcla rápida, tiempo de mezcla lenta, tiempo de sedimentación.

**Tabla 6. Diseño Experimental Factorial**

Diseño experimental Factorial		
Factores	Unidades	
Temperatura	Se mantuvo constante	
Tipo de agua	Se mantuvo constante	
	niveles bajo	nivel alto
pH	7,50 Unidades	8,00 Unidades
Concentración de coagulante	5 ppm	10 ppm
velocidad lenta	20 rpm	30 rpm
velocidad alta	100 rpm	150 rpm
Variables de respuesta		
Turbiedad y color aparente		

Fuente: Elaboración Propia

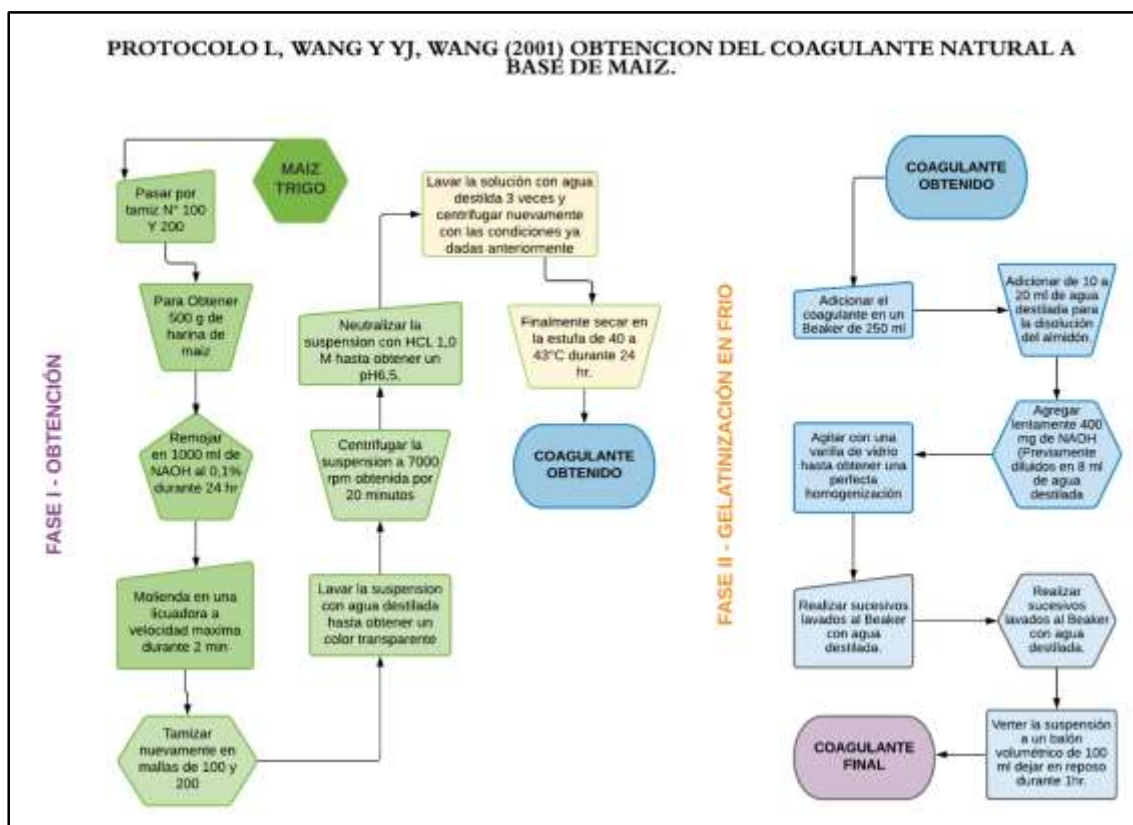
### Procedimiento experimental

La fase de extracción del almidón del maíz y el trigo se basó en el acondicionamiento del almidón, en el contacto con la base así como el tamizado, centrifugado y el ajuste del pH, como se observa en la ilustración N°8 para la fase de extracción se aplicó el protocolo de L, Wang y YJ Wang (2001), modificando la cantidad de harina maíz y trigo, los reactivos, las revoluciones de centrifugado y el tiempo de secado, para poder eliminar residuos de la capa exterior se pasó por una malla de 100 (0,150mm) y de 200 (0,075mm) para obtener 500 gr de harina de maíz y de trigo este peso se remojo durante 24 h en una solución de NaOH 0,2%.

Después de pasado este tiempo se llevó a una licuadora a máxima velocidad durante 2 minutos la suspensión se tamizó por las mallas número 100 y 200 obteniendo un tamaño de partícula de 0,150mm y 0,075mm respectivamente, realizando lavados sucesivos con agua destilada hasta obtener un color grisáceo. La suspensión obtenida se centrifugó a 320 rpm durante 45 minutos y se descartó el sobrenadante de cada uno de los tubos. El almidón de maíz obtenido presentó un pH de 7,60 y una temperatura de 19,6°C, y el almidón del trigo presentó un pH de 7,76 y una temperatura de 19,9°C, el cual fue neutralizado mediante una solución de HCL 1,0 Molar para obtener un pH para el maíz y el trigo de 5,50; los almidones fueron nuevamente centrifugados y finalmente se realizó el secado durante 72 hrs a 45°C, para su posterior pesaje y almacenamiento en frascos plásticos herméticos. (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 ilustración 8 consolida la obtención de los coagulantes naturales.

## Ilustración 8.

### Proceso de obtención y gelatinización de los almidones



Fuente: Elaboración Propia



## Condiciones del Proceso de obtención y gelatinización de los coagulantes naturales

PROCEDIMIENTO	PASOS	MATERIALES Y EQUIPOS	REACTIVOS
EXTRACCIÓN DE HARINA DE TRIGO Y MAÍZ	Acondicionamiento de Materia Prima	Recipiente plástico, tamiz, molde de Aluminio, mortero, horno de secado, licuadora, balanza analítica	Agua destilada, NaoH, HCL
	Almidones en Contacto	Recipiente Plástico, agitador magnético, tamiz, Equipo	NaOH al 0,2%
	tamizado	multiparámetro de pH	Tamiz # 100 y 200
	Centrifugado		320 rpm durante 45 Minutos.
	Ajuste/Coagulante		HCL 5,5 Unidades pH
CARACTERIZACIÓN DEL MAÍZ Y EL TRIGO	Secado	Estufa u Horno de secado a 45°C	Cajas de Petri, Secado del almidón durante 72 horas

	Gelatinización	Beakers 50 ml, Probetas de 25 ml, varillas de agitación, Mezclador	Maíz y trigo NaOH 99% Agua destilada
TEST DE JARRAS	NA	Pipeta de 1ml, jeringas de 1ml, Beaker de 1 L, plancha de agitación magnética, potenciómetro, turbidímetro, linterna	Coagulantes Polímeros NaOH HCl
ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS	Turbidez	Turbidímetro, celda de medición	Formacina
	Color Aparente	Espectrofotómetro UV, celda de medición, embudos de filtración, balones aforados de 100ml, vasos de precipitado de 250 ml, papel filtro	Agua destilada, Patrón UPC 1000 ppm

## Materiales y reactivos

### Extracción

En la fase de extracción y obtención de los coagulantes naturales podemos determinar el porcentaje de rendimiento para los dos coagulantes naturales, mediante la balanza analítica y el cálculo matemático para hallar el % del rendimiento de cada coagulante natural en este caso para el maíz y el trigo.

- Rendimiento: Mediante una balanza analítica con sensibilidad de 0,0001g se pesa la muestra con la que se inicia el proceso, después de la etapa de preparación (RT), y posteriormente la muestra de maíz y trigo que se obtuvo (RR) que es el porcentaje de rendimiento tal como se presenta en la Figura 11.

Ecuación 1.

$$\%R = \frac{Pam}{Phm} \times 100$$

Donde:

Phm: Peso de la harina del maíz (g)

Pam: Peso del maíz obtenido experimentalmente. (g)



Peso de la muestra del proceso de obtención del almidón de maíz

Fuente: Elaboración Propia

$$\%R = \frac{37,2863g}{500g} \times 100$$

$$\%R = 7,46$$

Igualmente se determinó el porcentaje de rendimiento obtenido del almidón a base de trigo, según la expresión:

Ecuación 2

$$\%R = \frac{Pat}{Pht} \times 100$$

Donde:

Pht: Peso de la harina de Trigo (g)

Pat: Peso del maíz obtenido experimentalmente. (g)



Peso de la muestra del proceso de obtención del almidón de trigo

Fuente: Elaboración Propia

$$\%R = \frac{35,5078g}{500g} \times 100$$

$$\%R = 7,10$$

El rendimiento de los coagulantes naturales, es muy bajo ya que en su proceso de obtención y gelatinización existe una pérdida muy grande de la base de los almidones los cuales no superan el 10%, en sus procesos de lavado, centrifugado, secado, tamizado y gelatinización los hace tener una pérdida que supera el 85%, esencialmente en el lavado de los almidones y centrifugado son

procesos de pérdida en masa. El coagulante a base de maíz tiene un rendimiento del 7,46% y el coagulante a base de trigo tiene un rendimiento de 7,10%; siguen siendo procesos de pérdida muy grandes para la obtención de los coagulantes.

### **Obtención del coagulante de maíz y trigo**

Preparación de la suspensión de almidón a emplear en el proceso de coagulación. Para el desarrollo de esta actividad se preparó una concentración al 2% que es la cantidad estándar a que se emplea el Sulfato de Aluminio en el tratamiento industrial de aguas, 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, (Campos., R & Di Bernardo., L 1991) El Almidón como auxiliar. En: Uso de Polímeros Naturales en el Tratamiento de Agua para Abastecimiento. [s.n.] Cali: CINARA., P 40-41.

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

Preparación de la suspensión del almidón en frío: El Almidón obtenido según el ítem 2.1.2, se sometió a un procedimiento de gelatinización en frío, donde se agregaron 2000mg de éste, en un Beaker de 250 ml. Posteriormente, se adicionó 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) se efectuó la mezcla mediante agitación con una varilla de vidrio, hasta obtener una perfecta homogeneización 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 6.0)

## **Resultados y Discusión**

Desarrollo de pruebas de tratabilidad – ensayo de jarras empleando el almidón de maíz y trigo como coagulante natural y el sulfato de aluminio  $Al_2 (SO_4)_3$  como coagulante convencional.

### **Procedimiento de laboratorio y toma de datos.**

Para el desarrollo de este proceso, se utilizó la norma técnica Colombia NTC 3903 del 2010 de la siguiente manera: inicialmente, las muestras de agua a tratar se homogeneizaron 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 determinaron los parámetros iniciales de la muestra de agua, como turbiedad, color aparente, pH y temperatura; valores que corresponden a  $56,4 \pm 5$  NTU,  $44 \pm 5$  UPC,  $6,29 \pm 1$  y  $20,4 \pm 1$  °C, respectivamente

De la suspensión de Almidón preparada según lo descrito en el ítem 3.1.1 Y 3.1.2, se seleccionó un rango de dosis aproximadas según el Protocolo de la NTC 3903 del 2010, representados en la siguiente tabla.



**Tabla 7. Factores de evaluación en los coagulantes naturales.**

Factores Evaluados y Niveles de los coagulantes naturales			
PH	Concentración	Velocidad de mezcla rápida	Velocidad de mezcla lenta
7,50	5 ppm	100 rpm	20 rpm
8,00	10 ppm	150 rpm	30 rpm

Fuente: Javier Velandía

La transformación a volumen de dichas dosis se calculó aplicando la siguiente

Fórmula:

Ecuación 3.

$$V1 = \frac{c2 * v2}{c1}$$

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.  
(ml).

Para poder manipular las dosis se realizó con pipetas graduadas de 5 ml con escala de 0,1ml. Se procedió a preparar el equipo de Test de jarras Equifar Y-FL6 el cual tiene las siguientes características: está hecho en aluminio y acrílico, sus aspas son de acero inoxidable, control de velocidad 20-350 rpm, resolución de 1 rpm;

tiempo de agitación de 1-99 minutos continuos, corriente de 115V, programación manual y automática, control digital por teclado y lámpara fluorescente de 60 watts. Después se dispuso en cada uno de los Beakers de 1000 ml y previamente a la homogeneización del agua. Se procedió ajustar el test con cada una de las pruebas a realizar durante la jornada los cuales fueron el ajuste del pH, la velocidad de agitación, Concentración de los coagulantes del maíz, trigo y Sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  así como el coadyuvante (Floculante), y por último la sedimentación durante 30 minutos. Finalmente se realizó la extracción de 200 ml agua por medio de un Beaker con el cuidado de no suspender las partículas.

El procedimiento anterior se repitió variando los pH, concentraciones de los coagulantes naturales y convencionales según el diseño experimental. Los ensayos se realizaron por duplicado para poder tener datos de precisión y exactitud con esto se llegó a los rangos de dosis óptima que se acerque a los valores máximos permisibles por la norma colombiana de agua potable Resolución 2115/2007 (Ver tabla 7)

**Tabla 8. Valores máximos admisibles de los parámetros de calidad estudiados**

Parámetro	Valor máximo admisible
Color (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable
Turbiedad (NTU)	2
Parámetro	Valor máximo admisible
Color (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable
Turbiedad (NTU)	2

Fuente: Norma Colombiana del agua potable, Resolución 2115/2007 (Elaboración Propia)

### **Análisis de parámetros fisicoquímicos**

#### **Turbiedad**

La determinación de la turbiedad de la muestra inicial previamente homogenizada se hizo tomando 5 ml de la misma en una celda de vidrio, que posteriormente se ubicó en el turbidímetro previamente calibrado con un blanco de 0,02 NTU. Adicionalmente se realiza una verificación interna del equipo con 4 puntos de calibración a base de Formacina los cuales son 1 mg/L, 10 mg/L, 100 mg/L y 1000 mg/L el cual tiene las siguientes características: Marca: Hanna; Modelo: HI 88713; Serie: 880150580026; Código interno: LA-079. Finalmente, el valor de la turbiedad es el valor que debe ser consignado para el cálculo de remoción.

El control de calidad de 100 NTU se prepara con Agua desionizada, Sulfato de Hidracina,  $(\text{NH}_2)_2 * \text{H}_2\text{SO}_4$ , Hexametilentetramina,  $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ , es el control de calidad establecido para el método

**Foto 1. Turbidímetro HI88713**



Fuente: Elaboración propia

La ecuación N° 4 nos reseña el cálculo del % de remoción de turbiedad, mediante la siguiente expresión:

Ecuación 4

$$\%Remoción = \frac{\text{Turbidez Inicial} - \text{Turbidez final}}{\text{turbidez inicial}} * 100$$

Donde:

Turbidez Inicial: Es la turbidez inicial de la muestra homogeneizada sin tratar (NTU)

Turbidez Final: Es la turbidez sometida al proceso de coagulación-floculación respectivamente (NTU)

## Color Aparente

La determinación del color aparente se hizo homogeneizando la muestra previamente, se afora a 100 ml, se toma una alícuota de 5ml en una celda de cuarzo de 5cm, se lee a una longitud de onda de 456 nm, se toma la absorbancia y se calcula. El equipo utilizado es un espectrofotómetro UV que tiene las siguientes características: Marca Thermo Scientific, modelo agua mate plus, Serial HEDP 192005, código interno LA-034.

### Foto 2. Espectrofotómetro Thermo Scientific

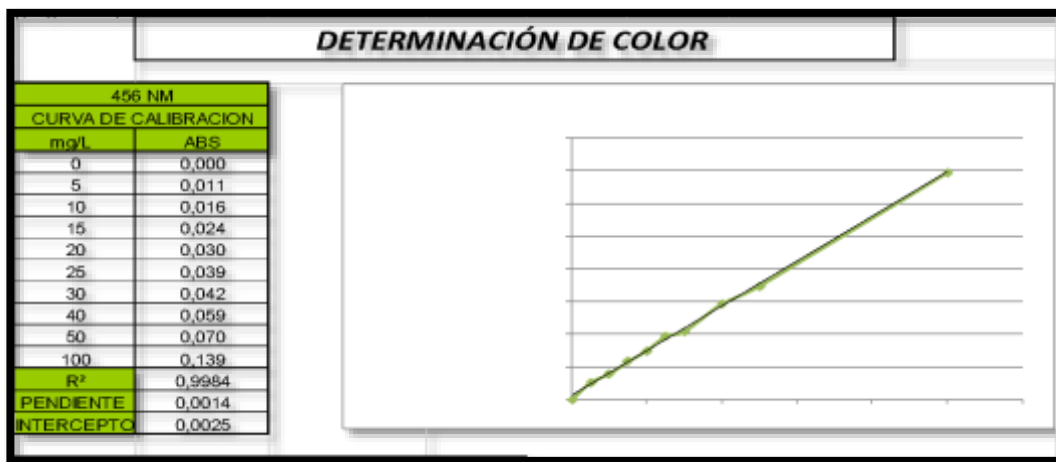


Fuente: Elaboración Propia

Para la lectura del color aparente se debe establecer una curva de calibración, ya que la lectura es establecida por espectrofotómetro y es un método colorimétrico, el reactivo es la solución patrón de 500 UPC, a partir de la solución se preparan los puntos de calibración en balones de 100ml aforados, para la curva se prepararon 9 estándares de calibración que se encuentran especificados en la Ilustración N°10 los cuales son los siguientes: Blanco, Std 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40,

50 y 100 ppm; nos arrojó una pendiente de 0,0014; un intercepto de 0,0025 y un R<sup>2</sup> de 0,9984.

### Ilustración 9. Curva de Calibración de Color Aparente.



Fuente: Elaboración Propia

El cálculo del % de remoción de Color Aparente se determina mediante la siguiente expresión:

Ecuación 5.

$$\%Remoción = \frac{Color\ Inicial - Color\ final}{Color\ inicial} * 100$$

### **Determinación del rango óptimo del proceso de tratabilidad por medio del Ensayo de Jarras.**

Se obtuvo un rango óptimo comprendido por las dosis de 5,10 mg/l, pH 7,50, 8,00, Velocidad de agitación rápida 150, 100 rpm, velocidad de agitación lenta 30, 20 rpm y sedimentación de 30 minutos cada una de ellas, aplicadas en su respectiva jarra, dando una aplicación de 16 ensayos los cuales fueron tratados por duplicado Estas dosis, presentaron los mejores resultados en la remoción de color y turbiedad. 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% ó 20000 mg/l); con el fin de hacer una comparación válida entre los tres coagulantes.

### **Determinación de la dosis óptima del proceso de tratabilidad para 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 2.2.1, y con ello diseñar el Post Hoc y el Manova en función de las variables 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.

**Resultados del ensayo inicial.** Los parámetros iniciales de la muestra, se presentan en la tabla 7.

**Tabla 9. Caracterización de los parámetros de interés**

Turbiedad inicial (NTU)	Color Aparente (UPC)					pH	Temp. (°C)
	68,4	ABS	0,077	0,076	0,079		
Promedio ABS		0,077					
Color resultante:		54					

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla anterior, la turbiedad inicial, determinada según la tabla N°7, presentó un valor de 68,4 NTU. La tabla N°7, también muestra el valor del color medido inicialmente (aparente), con sus respectivas absorbancias, valor 54 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 al ambiente, estos dos últimos parámetros, determinados según la tabla N°7

Estos valores, y los tiempos empleados en este ensayo para cada proceso, se muestran en la Tabla 8

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

Mezcla rápida		Mezcla Lenta		Sedimentación
RPM	Tiempo (seg)	RPM	Tiempo (min)	Tiempo (min)
150-100	60	30-20	15	30

Fuente: Elaboración Propia



### Resultados del ensayo 1 (Maíz).

Partiendo de las dosis de 5, 10 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), 10 mg/l (ppm), el procedimiento matemático es el siguiente:

Las variables, V1, C1, C2 y V2, se describen en el ítem 2.3.1, ecuación (3).

Las dosis de 5,10, 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 Maíz)

Dosis (mg/l)	Equivalencia en mililitros (ml)
5	0.5
10	1.0

**Fuente:** Elaboración Propia

Tabla 12. Parámetros obtenidos y porcentaje de remoción (Ensayo 1 de maíz)

N° Ensayos	PH	CONCENTRACIÓN (mg/L.)	VELOCIDAD		PÁRAMETROS				% REMOCIÓN DE TURBIEDAD	% REMOCIÓN DEL C A
			Rápida	Lenta	Turbiedad d Inicial	Color Aparente Inicial	Turbiedad Final	Color Aparente Final		
1	7,50	5	100	20	56,3	54	4,26	4	92,4	92,6
17	7,50	5	100	20	52,7	59	3,98	3	92,4	94,9
2	7,50	5	150	30	58,9	51	5,12	5	91,3	90,2
18	7,50	5	150	30	61,2	52	4,88	4	92,0	92,3
3	7,50	5	100	30	57,5	53	4,72	5	91,8	90,6
19	7,50	5	100	30	54,9	49	4,51	4	91,8	91,8
4	7,50	5	150	20	51,5	55	4,96	5	90,4	90,9
20	7,50	5	150	20	55,3	51	4,66	4	91,6	92,2
5	7,50	10	100	20	56,2	59	6,04	5	89,3	91,5
21	7,50	10	100	20	50,2	62	6,21	5	87,6	91,9
6	7,50	10	150	30	57,9	55	6,47	6	88,8	89,1
22	7,50	10	150	30	59,4	51	6,55	6	89,0	88,2
7	7,50	10	100	30	58,5	58	6,21	6	89,4	89,7
23	7,50	10	100	30	56,9	55	6,32	6	88,9	89,1
8	7,50	10	150	20	55,3	54	6,02	6	89,1	88,9
24	7,50	10	150	20	51,2	51	6,26	6	87,8	88,2
9	8,00	5	100	20	61,2	53	5,31	5	91,3	90,6
25	8,00	5	100	20	57,5	53	5,59	6	90,3	88,7
10	8,00	5	150	30	54,9	51	6,02	6	89,0	88,2
26	8,00	5	150	30	55,1	57	6,41	5	88,4	91,2
11	8,00	5	100	30	57,2	56	5,44	6	90,5	89,3
27	8,00	5	100	30	53,4	52	5,87	6	89,0	88,5
12	8,00	5	150	20	50,9	59	6,23	6	87,8	89,8
28	8,00	5	150	20	54,7	49	6,72	6	87,7	87,8
13	8,00	10	100	20	59,9	52	5,87	5	90,2	90,4
29	8,00	10	100	20	61,4	59	5,96	5	90,3	91,5
14	8,00	10	150	30	55,2	55	6,71	6	87,8	89,1
30	8,00	10	150	30	52,7	57	6,88	7	86,9	87,7
15	8,00	10	100	30	58,9	51	6,03	5	89,8	90,2
31	8,00	10	100	30	53,1	58	6,34	6	88,1	89,7
16	8,00	10	150	20	54,9	54	5,77	5	89,5	90,7
32	8,00	10	150	20	56,5	61	5,81	6	89,7	90,2

Fuente: Elaboración Propia

## Observaciones

La formación de Floccs, se evidenció a los 5 minutos aproximadamente, en la velocidad de mezcla rápida por 1 minuto las partículas fueron las más rápidas en aglomerarse de un tamaño aproximado entre ,6 a 1mm, en la velocidad de mezcla lenta durante 15 minutos se aglomeraron las partículas más gruesas superiores a 1mm, donde estos se aglomeraban de manera uniforme.

En la sedimentación gran cantidad de Floccs y partículas coloidales, permanecieron en suspensión como se evidencia en la fotografía N°6 del anexo 6.3 sin embargo presentaban un leve color rojizo.

La tabla 10, muestra mejor resultados en remoción de turbiedad y de color aparente, 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 variables analizadas de mezcla rápida de 100 rpm y mezcla lenta de 20 rpm con un pH óptimo de 7,50 unidades y una dosis de coagulante de maíz de 5 mg/l, se obtienen los mejores resultados de remoción para este parámetro que corresponden de 92,4% y 92,4% para turbiedad y de 92,6% y 94,9% para color aparente, respectivamente. El coagulante de maíz produce resultados muy satisfactorios ya que, en todas sus pruebas de jarras, utilizando todas las variables empleadas en mezcla, dosis, pH óptimo sus % de remoción superaron el 90% de efectividad. Los autores (Chitra, D., Muruganandam, L. 2020), fundamentan que los procesos naturales presentan remoción positiva, en el caso específico de aguas residuales para las variables de pH, velocidad y concentración fue del 80%; por

ende los resultados obtenidos en nuestros procesos son superiores al 80% y permite tener un factor de respuesta importante en la tratabilidad del agua.

### Resultados del Ensayo 2.

Partiendo de las dosis de 5, 10 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), 10 mg/l (ppm), el procedimiento matemático es el siguiente:

Las variables, V1, C1, C2 y V2, se describen en el ítem 2.3.1, ecuación (3).

Las dosis de 5,10, mg/l, fueron calculadas de la misma manera. Los resultados, se indican en la Tabla 11.

Tabla 13. Equivalencia de las respectivas dosis en ml a aplicar (Ensayo 2 Trigo)

Dosis (mg/l)	Equivalencia en mililitros (ml)
5	0.5
10	1.0

Fuente: Elaboración Propia

En la equivalencia de la dosis se emplea la misma concentración ya que son las dosis que fueron escogidas para el ensayo de test de jarras donde se hace necesario utilizar estas dosis para la disminución de color y turbiedad, utilizando

esas pequeñas variaciones en su homogenización y poder así lograr resultados de manera satisfactoria.

Aplicando las respectivas dosis en cada una de las jarras y siguiendo el procedimiento de la NTC 3903 del 2010.

Tabla 14. Parámetros obtenidos y porcentajes de remoción (Ensayo 2 Trigo)

Nº Ensayos	PH	CONCENTRACIÓN: (mg/L)	VELOCIDAD		PÁRAMETROS				% REMOCIÓN DE TURBIEDAD	% REMOCIÓN DEL C.A
			Rápida	Lenta	Turbiedad Inicial	Color Aparente Inicial	Turbiedad Final	Color Aparente Final		
1	7,50	5	100	20	56,3	54	7,12	7	85,4	87,0
17	7,50	5	100	20	52,7	59	7,88	7	85,5	88,1
2	7,50	5	150	30	58,9	51	7,94	7	86,5	86,3
18	7,50	5	150	30	61,2	49	8,21	7	86,6	85,7
3	7,50	5	100	30	56,5	53	7,28	8	85,2	84,9
19	7,50	5	100	30	54,9	51	7,35	7	86,6	86,3
4	7,50	5	150	20	51,5	55	8,23	9	84,0	83,6
20	7,50	5	150	20	55,3	51	8,58	7	84,5	86,3
5	7,50	10	100	20	56,2	59	8,59	9	84,7	84,7
21	7,50	10	100	20	50,2	55	8,49	8	83,1	85,5
6	7,50	10	150	30	57,9	55	9,26	9	84,0	83,6
22	7,50	10	150	30	59,4	51	9,05	9	84,8	82,4
7	7,50	10	100	30	58,5	58	8,45	9	85,6	84,5
23	7,50	10	100	30	58,9	55	8,91	8	84,3	85,5
8	7,50	10	150	20	55,3	54	9,17	9	83,4	83,3
24	7,50	10	150	20	51,2	51	9,51	9	81,4	82,4
9	8,00	5	100	20	61,2	53	7,53	8	87,7	84,9
25	8,00	5	100	20	57,5	53	8,12	8	85,9	84,9
10	8,00	5	150	30	54,9	51	8,24	8	85,0	84,3
26	8,00	5	150	30	55,1	57	8,91	8	83,8	86,0
11	8,00	5	100	30	57,2	58	7,88	8	86,2	85,7
27	8,00	5	100	30	53,4	52	7,89	7	85,6	86,5
12	8,00	5	150	20	50,9	59	8,77	8	82,8	86,4
28	8,00	5	150	20	54,7	49	8,31	8	84,8	83,7
13	8,00	10	100	20	59,9	52	8,11	8	86,5	84,6
29	8,00	10	100	20	61,4	59	8,81	8	85,7	86,4
14	8,00	10	150	30	55,2	55	8,33	8	84,9	85,5
30	8,00	10	150	30	52,7	57	9,21	9	82,5	84,2
15	8,00	10	100	30	58,9	51	9,01	9	84,7	82,4
31	8,00	10	100	30	53,1	58	8,53	9	83,9	84,5
16	8,00	10	150	20	54,9	54	8,77	8	84,0	85,2
32	8,00	10	150	20	56,5	61	8,61	8	84,8	86,9

Fuente: Elaboración Propia

## Observaciones

La formación de Floccs, se evidenció más lento que en el ensayo del maíz aproximadamente a los 8 minutos, las partículas fueron las más rápidas en aglomerarse de un tamaño aproximado entre 8 a 1,2 mm, en la velocidad de mezcla lenta durante 15 minutos se aglomeraron las partículas más gruesas superiores a 1,5 mm, donde estos se aglomeraban de manera uniforme.

En la de sedimentación gran cantidad de Floccs y partículas coloidales, permanecieron en suspensión como se evidencia en la fotografía N° 7 del anexo 6.3 sin embargo presentaban un leve color rojizo, el almidón del trigo presentaba un poco menos de viscosidad y en algunos segmentos las partículas se rompieron e impedían la formación del floc.

La tabla 12, muestra mejores resultados en remoción de turbiedad y de color aparente, considerando que el color, es más difícil remover, debido a que las partículas que lo originan (coloidales) se encuentran en solución. De todos los datos analizados durante el test de jarras para el % remoción de turbiedad se presentó mejores resultados en el ensayo N° 1 y 3 con valores de 87,2 y 87,4 respectivamente. En los ensayos de Color Aparente para los ensayos N° 1 Y 17 presentaron los mejores % de remoción con valores de 87,0 y 88,1 respectivamente mostrando valores de remoción muy eficientes ya que en los ensayos del test de jarras todos superan el 80% de remoción de carga tanto para turbiedad como para color aparente siendo muy eficiente como alternativa de concentración óptima de turbiedad y color aparente. Según los valores del Decreto 1575/2007 (Ver Tabla 1), que exigen un valor máximo de 2 NTU para turbiedad y 15 UPC para color.

Dados los resultados obtenidos del almidón a base de maíz y trigo donde obtuvieron resultados muy satisfactorios podemos realizar un comparativo entre los dos coagulantes naturales de maíz y trigo donde se puede ver en la siguiente

Tabla 15. Comparativo del coagulante a base de maíz y trigo

Coagulante	Parámetro		RESULTADOS	
	Turbiedad	Color Aparente	PROM % Remoción Turbiedad	PROM % Remoción Color Aparente
Maíz	5,75 NTU	5,34 UPC	89,7	90,2
Trigo	8,39 NTU	8,09 UPC	84,9	85,1

Fuente: Elaboración propia

Los 2 coagulantes presentan porcentajes de remoción muy superiores a las esperadas por encima del 80%, por sus características de aplicación las cuales fueron las mismas, el coagulante a base de maíz presenta mejores resultados en cuanto a remoción de turbidez y color aparente, para turbidez el coagulante a base de maíz presenta una remoción del 89,7% y Color aparente de 90,2%, para el ensayo del trigo los resultados fueron del 84,9 y 85,1 respectivamente fueron datos que se promediaron de todos los ensayos realizados por test de jarras por duplicado que en total fueron 32 ensayos, Para determinar los porcentajes de remoción del coagulante convencional también se estableció el mismo procedimiento que se utilizó para los coagulantes naturales para poder determinar su eficiencia.

### **Resultados del ensayo 3 (Sulfato de Aluminio).**

Fue necesario realizar la prueba, del coagulante convencional, con el fin de observar si los parámetros de turbidez y color aparente se pueden remover en un mayor porcentaje, tomando como referencia las dosis de 5, y 10 mg/l, del Ensayo 1 y 2. Manejando las mismas variables en pH velocidad de mezcla. La equivalencia



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

Tabla 16. Equivalencia de las respectivas dosis en ml a aplicar (ensayo 3 Sulfato de Aluminio)

<b>Dosis (mg/l)</b>	<b>Equivalencia en mililitros (ml)</b>
5	0.5
10	1.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17 Parámetros obtenidos y porcentajes de remoción (Ensayo 3 sulfato de Aluminio)

N° Ensayos	PH	CONCENTRACIÓN: (mg/L)	VELOCIDAD		PÁRAMETROS				% REMOCIÓN DE TURBIEDAD	% REMOCIÓN DEL C.A
			Rápida	Lenta	Turbiedad Inicial	Color Aparente Inicial	Turbiedad Final	Color Aparente Final		
1	7.50	5	100	20	56.3	54	0.77	2	98.6	96.3
17	7.50	5	100	20	52.7	59	0.52	2	99.0	96.6
2	7.50	5	150	30	58.9	51	0.92	2	98.4	96.1
18	7.50	5	150	30	61.2	52	0.45	1	99.3	98.1
3	7.50	5	100	30	57.5	53	0.81	2	98.6	96.2
19	7.50	5	100	30	54.9	49	0.57	1	99.0	98.0
4	7.50	5	150	20	51.5	55	0.75	2	98.5	96.4
20	7.50	5	150	20	55.3	51	0.61	2	98.9	96.1
5	7.50	10	100	20	56.2	59	1.46	2	97.4	96.6
21	7.50	10	100	20	50.2	62	1.19	2	97.6	96.8
6	7.50	10	150	30	57.9	55	1.36	2	97.7	96.4
22	7.50	10	150	30	59.4	51	1.63	2	97.3	96.1
7	7.50	10	100	30	58.5	58	1.72	2	97.1	96.6
23	7.50	10	100	30	56.9	55	1.49	2	97.4	96.4
8	7.50	10	150	20	55.3	54	1.04	2	98.1	96.3
24	7.50	10	150	20	51.2	51	1.33	2	97.4	96.1
9	8.00	5	100	20	61.2	53	0.56	2	99.1	96.2
25	8.00	5	100	20	57.5	53	0.48	2	99.2	96.2
10	8.00	5	150	30	54.9	51	0.48	1	99.1	98.0
26	8.00	5	150	30	55.1	57	0.51	1	99.1	98.2
11	8.00	5	100	30	57.2	56	0.71	2	98.8	96.4
27	8.00	5	100	30	53.4	52	0.62	2	98.8	96.2
12	8.00	5	150	20	50.9	59	0.54	2	98.9	96.6
28	8.00	5	150	20	54.7	49	0.67	2	98.8	95.9
13	8.00	10	100	20	59.9	52	1.09	2	98.2	96.2
29	8.00	10	100	20	61.4	59	1.09	2	98.2	96.6
14	8.00	10	150	30	55.2	55	1.30	2	97.6	96.4
30	8.00	10	150	30	52.7	57	1.30	2	97.5	96.5
15	8.00	10	100	30	58.9	51	1.55	2	97.4	96.1
31	8.00	10	100	30	53.1	58	1.55	2	97.1	96.6
16	8.00	10	150	20	54.9	54	1.61	2	97.1	96.3
32	8.00	10	150	20	56.5	61	1.61	2	97.2	96.7

Fuente: Elaboración Propia

## Observaciones

La formación de Floccs, se generaron rápidamente en un tiempo de 3 minutos, La aglomeración fue de un tamaño aproximado 2mm, en la sedimentación gran cantidad de Floccs y partículas coloidales, permanecieron en suspensión como se evidencia en la fotografía N°8 del anexo 6.3 sin embargo presentaban un leve color rojizo por las características generales de la muestra, el almidón convencional presenta una particularidad de aglomerar los sólidos coloidales de manera rápida y constante, donde se observa la capacidad del coagulante convencional Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  para remover partículas en sedimentación y suspensión.

La tabla 16, muestra mejores resultados en remoción de turbiedad y de color aparente, considerando que el color, es más difícil remover, pero el convencional Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , fue muy eficaz en el ensayo del test de jarras debido a que las partículas que lo originan (coloidales) se encuentran en suspensión. De todos los datos analizados durante el test de jarras para el % remoción de turbiedad se presentó mejores resultados en el ensayo N° 9 y 25 con valores de 99,1 y 99,2 respectivamente. En los ensayos de Color Aparente para los ensayos N° 10 Y 26 presentaron los mejores % de remoción con valores de 98,0 y 98,2 respectivamente mostrando valores de remoción muy eficientes ya que en los ensayos del test de jarras todos superan el 95% de remoción de carga tanto para turbiedad, el tratamiento químico presenta resultados satisfactorios y eficiencias de remoción superior a los 2 coagulantes a base de maíz y trigo, Los valores aportados son comparados con el Decreto 1575/2007 (Ver Tabla 6), que exigen un valor máximo de 2 NTU para turbiedad y 15 UPC para color.

Para la realización de los ensayos de porcentajes de remoción del almidón del maíz, trigo y sulfato de aluminio se realizó un diseño Factorial utilizando como base el Anova para las pruebas de homogeneidad y varianza, el diseño Post Hoc y Manova, mediante el programa Minitab se pudieron hacer la Homogeneización, las varianzas así como poder realizar toda la comparación de todas las variables utilizadas en el desarrollo del test de jarras.

## Anova

### Coagulante a base de maíz

#### Regresión factorial: TURBIEDAD vs. PH; CONCENTRACION; ... DA; LENTA

\* NOTA \* Este diseño no es ortogonal.

##### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	12,5341	3,1335	8,69	0,000
Lineal	4	12,5341	3,1335	8,69	0,000
PH	1	1,1084	1,1084	3,07	0,091
CONCENTRACION	1	10,5826	10,5826	29,36	0,000
RAPIDA	1	0,3075	0,3075	0,85	0,364
LENTA	1	0,0336	0,0336	0,09	0,763
Error	27	9,7333	0,3605		
Falta de ajuste	10	9,1873	0,9187	26,60	0,000
Error puro	17	0,5460	0,0321		
Total	31	22,2675			

##### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,600412	56,29%	49,81%	37,46%

##### Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		5,610	0,107	52,42	0,000	
PH	0,375	0,188	0,107	1,75	0,091	1,02
CONCENTRACION	1,160	0,580	0,107	5,42	0,000	1,02
RAPIDA	0,202	0,101	0,110	0,92	0,364	1,05
LENTA	0,065	0,033	0,107	0,31	0,763	1,02

##### Ecuación de regresión en unidades no codificadas

TURBIEDAD = -2,62 + 0,751 PH + 0,2319 CONCENTRACION + 0,00405 RAPIDA + 0,0065 LENTA

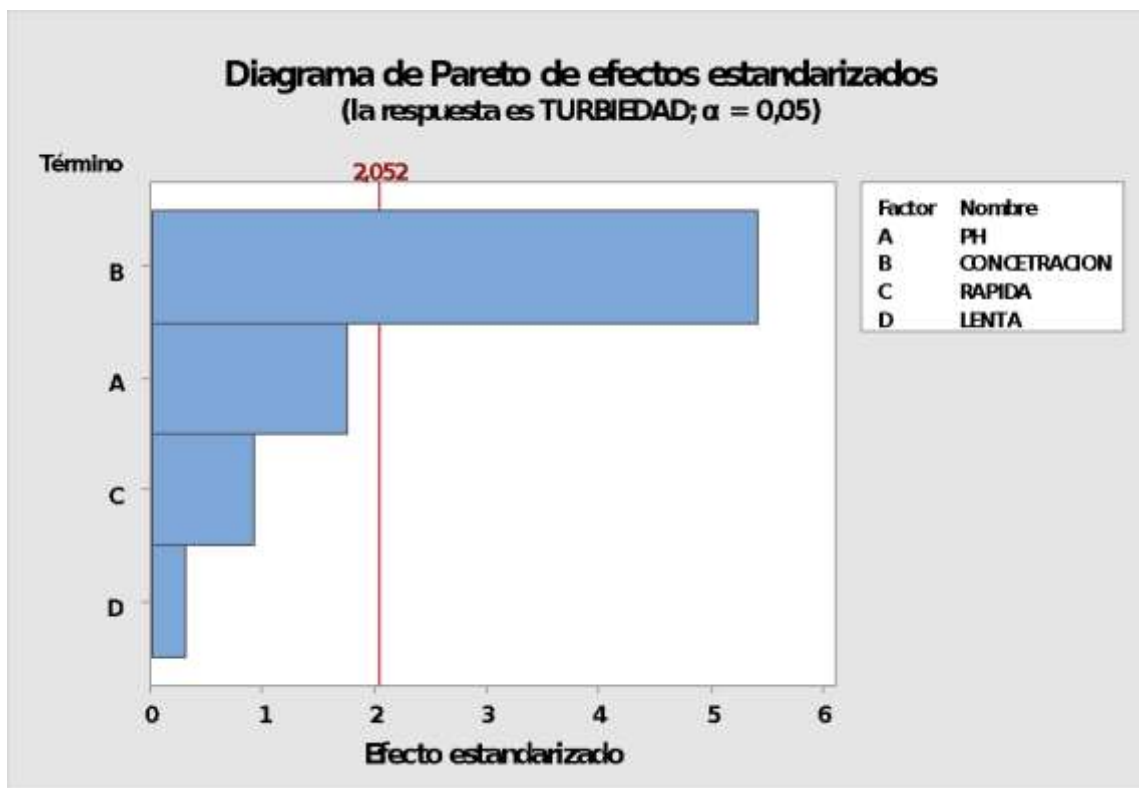
##### Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	TURBIEDAD	Ajuste	Resid	Resid est.	
1	4,260	5,352	-1,092	-2,01	R
17	3,960	5,352	-1,372	-2,52	R
27	6,720	5,287	1,433	2,60	R

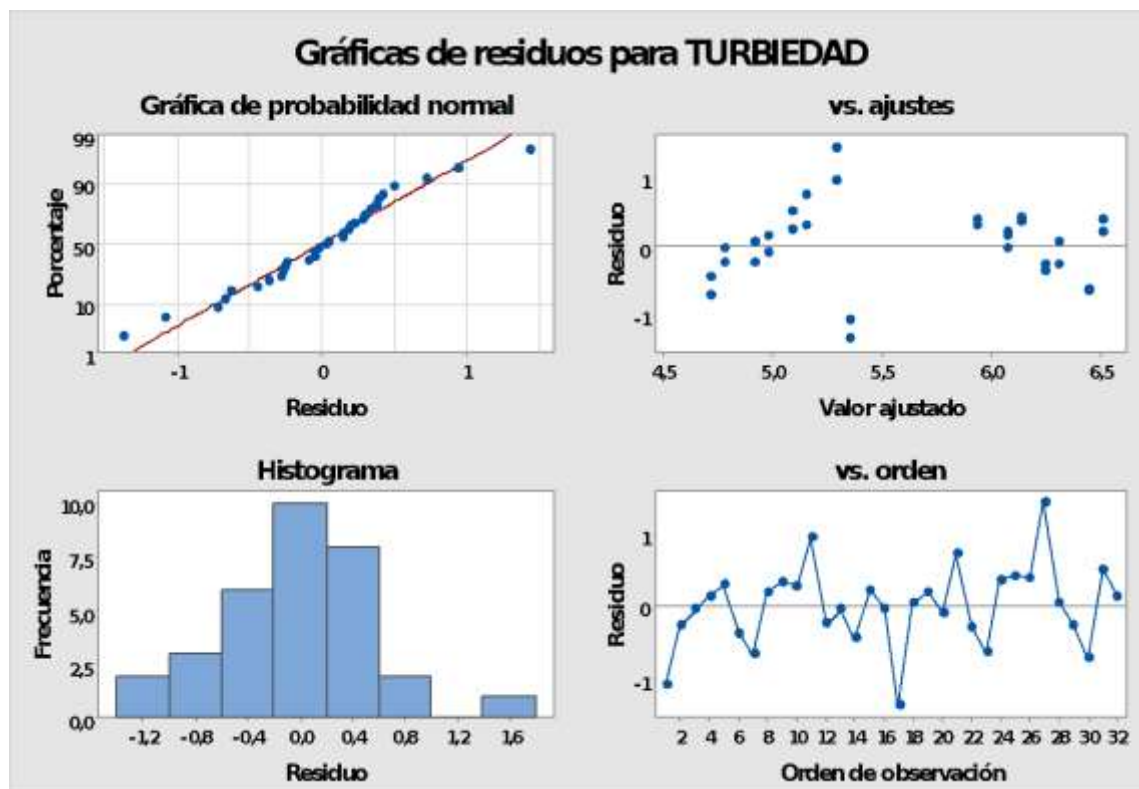
Residua grande R

##### Pareto de los efectos para TURBIEDAD

Se muestra a manera de resumen el modelo la evaluación del parámetro de turbiedad, para el coagulante de maíz, donde se hace importante todas las pruebas de homogeneidad y varianza, así como el ajuste de cada una de las variables utilizadas, dando resultados en la incidencia de las variables presentadas para el desarrollo del experimento.



En la prueba de paretos para los efectos estandarizados de las 4 variables, podemos deducir que hubo una expresión de homogeneidad superior a  $\alpha=0,05$  donde se comprueba una linealidad en los datos recolectados, así como una incidencia en la concentración, como el factor más relevante del análisis del Anova para la variable de turbiedad en el coagulante del maíz. Ya que supera el residuo estadístico de las variables en combinación.



Las gráficas de Residuos muestran la variabilidad de los datos obtenidos en cada uno de los ensayos; podemos determinar una constante en los datos que nos permite mejorar y determinar los mejores resultados obtenidos en el coagulante para así, poder implementar una eficiencia importante en el coagulante natural a base de maíz respecto a la eliminación inicial de turbiedad de la muestra sin tratar, por eso esta gráfica es importante ya que muestra la eficiencia del parámetro vs las variables afectadas en el proceso.

## Regresión factorial: COLOR\_APA vs. PH; CONCETRACION; ... A; LENTA

\* NOTA \* Este diseño no es ortogonal.

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	8,9187	2,22969	2,93	0,039
Lineal	4	8,9187	2,22969	2,93	0,039
PH	1	1,5934	1,59344	2,09	0,159
CONCETRACION	1	6,7328	6,73279	8,85	0,006
RAPIDA	1	0,0750	0,07500	0,10	0,756
LENTA	1	0,3148	0,31475	0,41	0,526
Error	27	20,5500	0,76111		
Falta de ajuste	10	15,0500	1,50500	4,65	0,003
Error puro	17	5,5000	0,32353		
Total	31	29,4688			

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,872417	30,27%	19,93%	0,32%

### Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		5,212	0,156	33,52	0,000	
PH	0,450	0,225	0,156	1,45	0,159	1,02
CONCETRACION	0,925	0,463	0,156	2,97	0,006	1,02
RAPIDA	0,100	0,050	0,159	0,31	0,756	1,05
LENTA	0,200	0,100	0,156	0,64	0,526	1,02

### Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{COLOR\_APA} = -3,90 + 0,900 \text{ PH} + 0,1850 \text{ CONCETRACION} + 0,00200 \text{ RAPIDA} + 0,0200 \text{ LENTA}$$

### Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	COLOR_APA	Ajuste	Resid	Resid est.
17	3,000	5,125	-2,125	-2,69 R

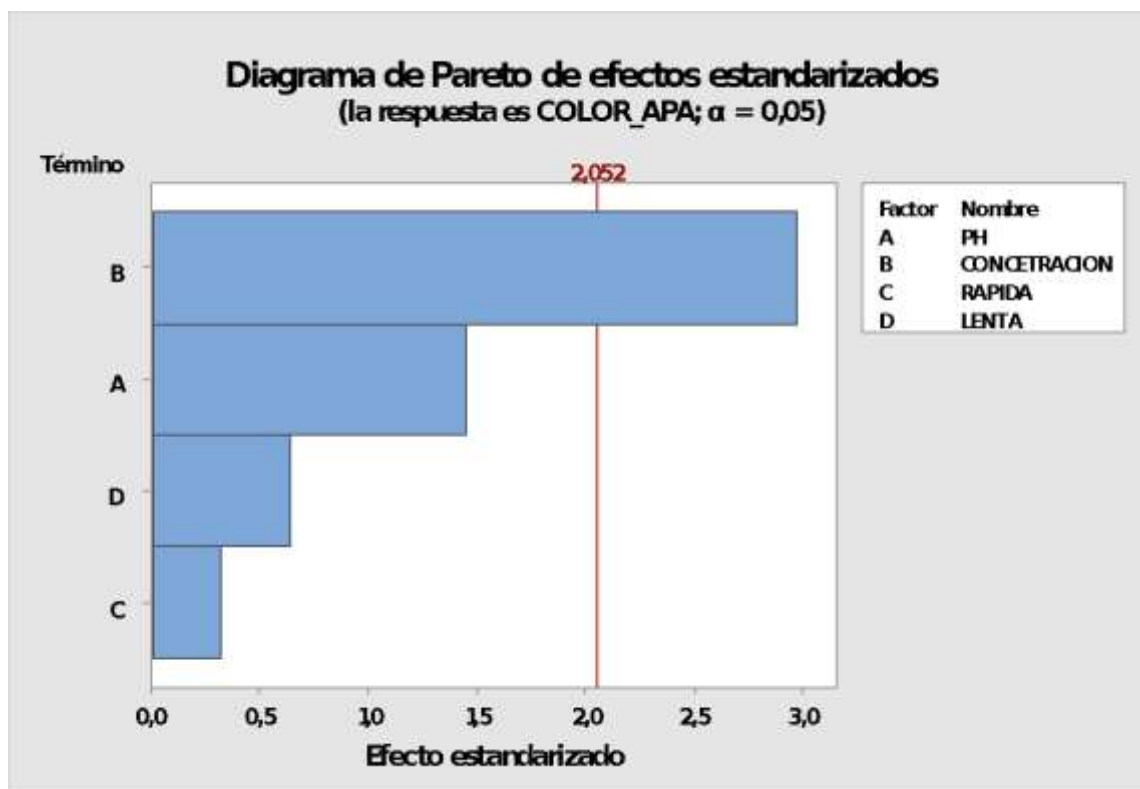
*Residuo grande R*

### Pareto de los efectos para COLOR\_APA

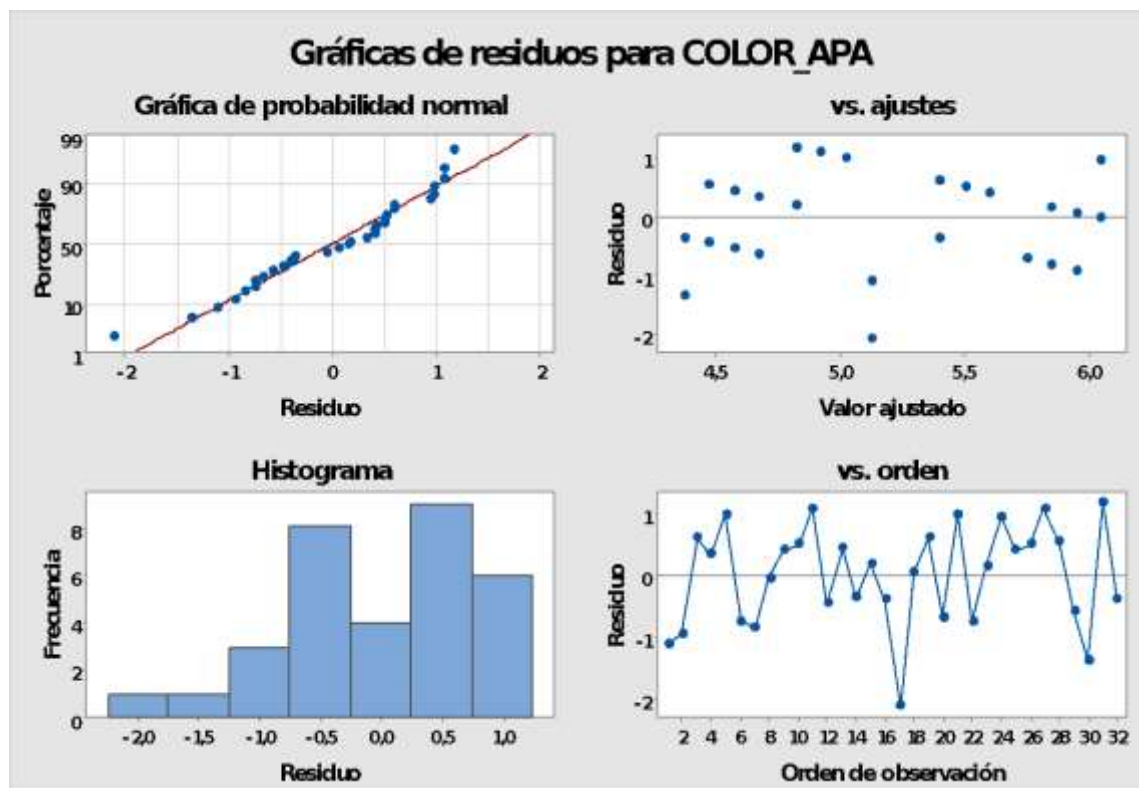
Las pruebas de homogeneidad y varianza muestran a manera de resumen del modelo en el parámetro de color aparente, para el coagulante de maíz, así como el ajuste de cada una de las variables utilizadas, dando resultados en la incidencia de las variables presentadas para el desarrollo del experimento. En términos generales



muestra un residuo -2,125; Residuo est -2,69; y un ajuste de 5,125, son proporcionalmente positivos porque cuentan con un error más cerca al 0 dando una relativa positividad en el modelo.



En la prueba de paretos para los efectos estandarizados de las 4 variables, podemos deducir que hubo una expresión de homogeneidad superior a  $\alpha=0,05$  donde se comprueba una linealidad en los datos recolectados, así como una incidencia en la concentración, como el factor más relevante del análisis del Anova para la variable de color aparente en el coagulante del maíz. Ya que supera el residuo estadístico de las variables en combinación.



Las gráficas de Residuos muestran la variabilidad de los datos obtenidos en cada uno de los ensayos; podemos determinar una constante en los datos que nos permite mejorar y determinar los mejores resultados obtenidos en el coagulante para así, poder implementar una eficiencia importante en el coagulante natural a base de maíz el color aparente de la muestra sin tratar, por eso esta gráfica es importante ya que muestra la eficiencia del parámetro vs las variables afectadas en el proceso. Donde vemos un importante factor estadístico el cual nos permite observar que en las variables de afectación la concentración del coagulante es la de mayor respuesta en las variables involucradas el P-valor nos dio la incidencia de que el método utilizado y los resultados obtenidos para el coagulante a base de maíz son homogéneos y es una buena técnica para eliminar los parámetros de estudio. Muestra que el P-valor  $> 0.05$  es significativo; el modelo nos indicó que el estudio es

relevante en homogeneidad y varianza e importante para ser utilizado en la potabilización del agua.

## Optimización de respuesta: COLOR\_APA; TURBIEDAD

### Parámetros

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
COLOR_APA	Mínimo		3,00	7,00	1	1
TURBIEDAD	Mínimo		3,98	6,88	1	1

### Solución

Solución	PH	CONCETRACION	RAPIDA	LENTA	COLOR_APA Ajuste	TURBIEDAD Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	7,5	5	100	20	4,375	4,70906	0,700905

### Predicción de respuesta múltiple

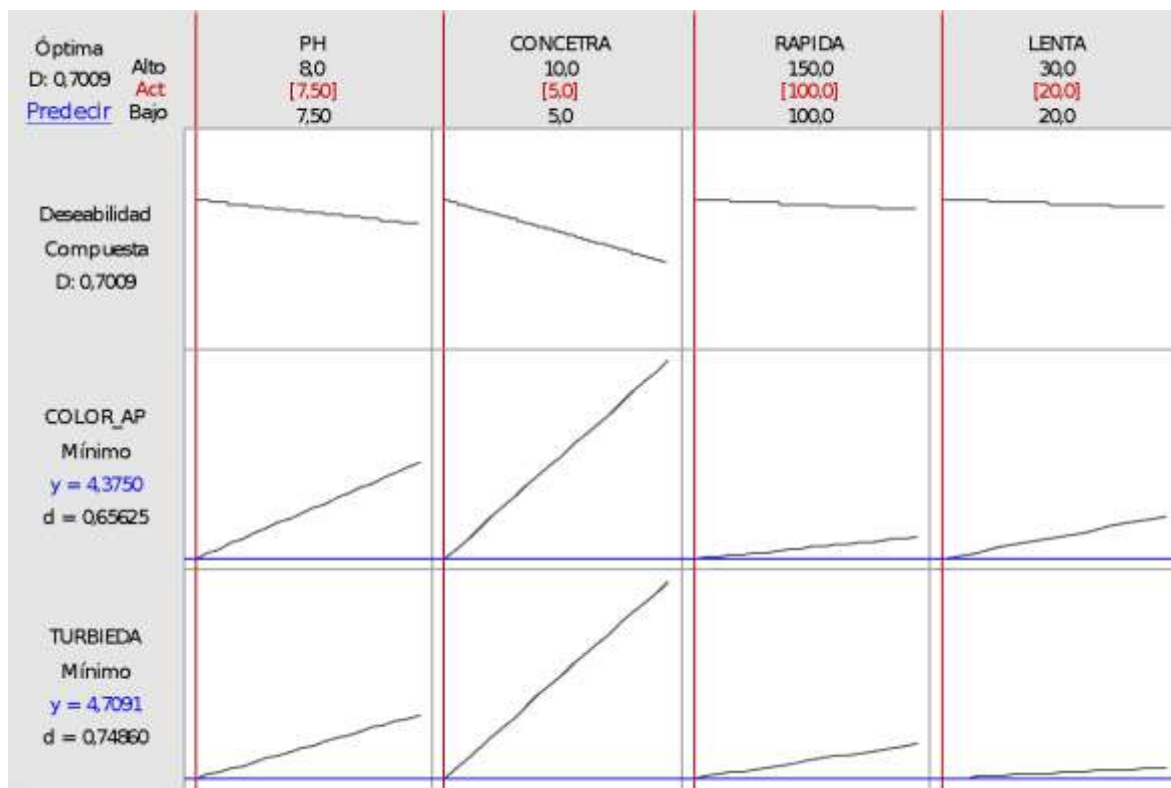
Variable	Valor de configuración
PH	7,5
CONCETRACION	5
RAPIDA	100
LENTA	20

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
COLOR_APA	4,375	0,367	(3,622; 5,128)	(2,433; 6,317)
TURBIEDAD	4,709	0,253	(4,191; 5,227)	(3,372; 6,046)

### Gráfica de optimización

En la gráfica de optimización está el resumen del comparativo entre los 2 parámetros, se puede evidenciar que los factores de respuesta con mejor configuración fueron un color aparente de 4,375 mg/L y una turbiedad de 4,70906 NTU.



En la gráfica de deseabilidad compuesta se puede resaltar que en las variables los parámetros de mayor incidencia son el pH de 7,50; la concentración de coagulante de 5mg/L; la velocidad de agitación rápida de 100 rpm; y la velocidad de agitación lenta de 20rpm como los mejores resultados del coagulante a base de maíz para la remoción de color aparente y turbiedad.

A continuación, está la presentación estadística del Anova para el coagulante natural a base de trigo donde está las pruebas de varianza y homogeneidad, así como las gráficas de paretos, residuos y de optimización de variables donde se puede ver con detalle las mejores variables en cuanto a la optimización del coagulante.

## Coagulante a base de trigo

### Regresión factorial: TURBIEDAD vs. PH; ... NTRACIÓN; RAPIDA; LENTA

\* NOTA \* Este diseño no es ortogonal.

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	7,8332	1,95829	13,65	0,000
Lineal	4	7,8332	1,95829	13,65	0,000
PH	1	0,1519	0,15185	1,06	0,313
CONCENTRACIÓN	1	4,3362	4,33620	30,23	0,000
RAPIDA	1	2,4912	2,49120	17,37	0,000
LENTA	1	0,0321	0,03215	0,22	0,640
Error	27	3,8734	0,14346		
Falta de ajuste	10	1,5194	0,15194	1,10	0,416
Error puro	17	2,3540	0,13847		
Total	31	11,7065			

#### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,378758	66,91%	62,01%	53,42%

#### Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		8,3574	0,0675	123,79	0,000	
PH	0,1389	0,0695	0,0675	1,03	0,313	1,02
CONCENTRACIÓN	0,7423	0,3712	0,0675	5,50	0,000	1,02
RAPIDA	0,5763	0,2882	0,0692	4,17	0,000	1,05
LENTA	0,0639	0,0320	0,0675	0,47	0,640	1,02

#### Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{TURBIEDAD} = 3,49 + 0,278 \text{ PH} + 0,1485 \text{ CONCENTRACIÓN} + 0,01153 \text{ RAPIDA} + 0,0064 \text{ LENTA}$$

#### Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

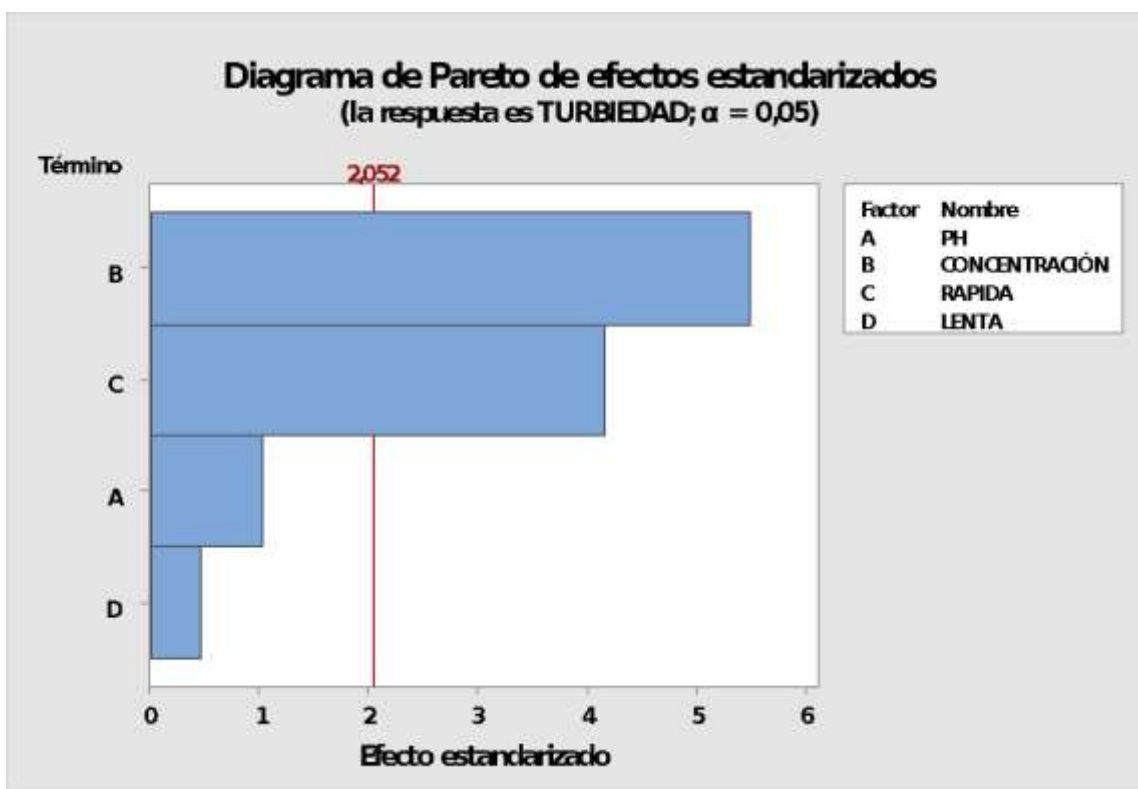
Obs	TURBIEDAD	Ajuste	Resid	Resid est.
8	8,330	9,118	-0,788	-2,27

Residuo grande R

#### Pareto de los efectos para TURBIEDAD

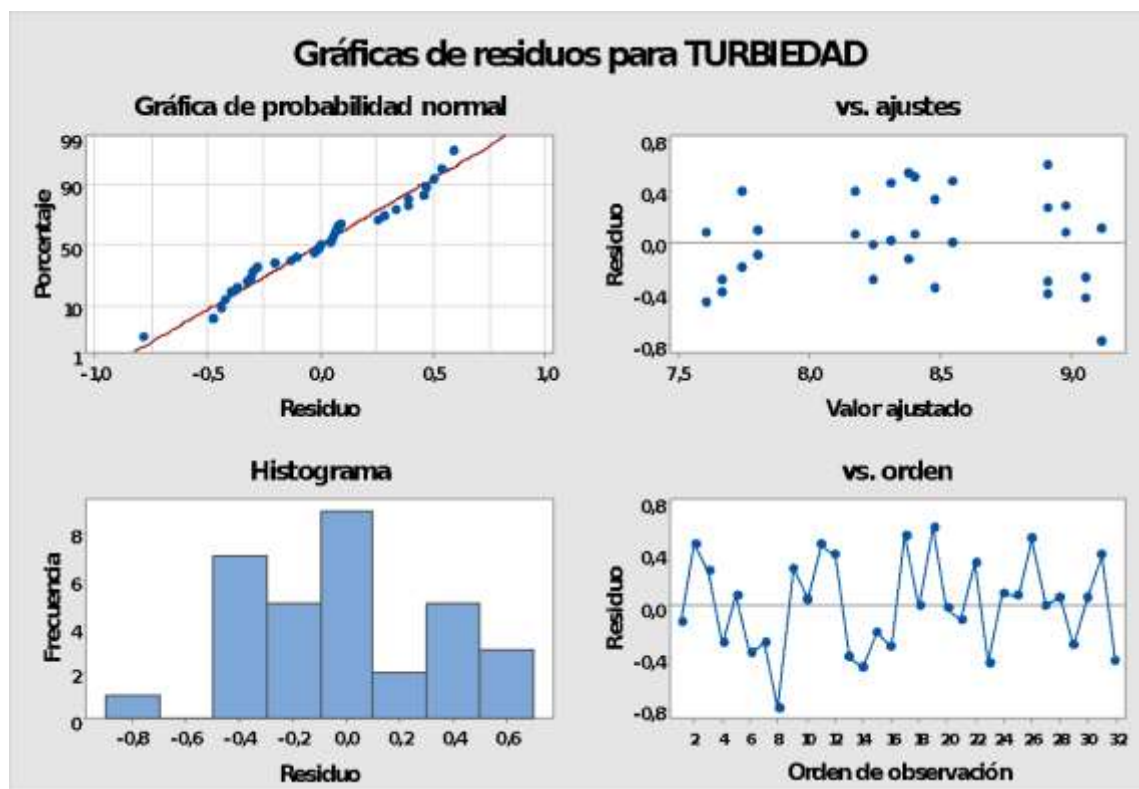
#### Gráficas de residuos para TURBIEDAD

La muestra detalla a manera de resumen el modelo en el parámetro de turbiedad, para el coagulante de trigo, para un diseño que no es ortogonal donde se hace importante todas las pruebas de homogeneidad y varianza, donde la variable de pH tiene un valor P significativo de 0,313 y sus residuos están cerca de 0 siendo positivo para el modelo estadístico.



En la prueba de paretos para los efectos estandarizados de las 4 variables, podemos deducir que hubo una expresión de homogeneidad superior a  $\alpha=0,05$  donde se comprueba una linealidad en los datos recolectados, así como una incidencia en la concentración, como el factor más relevante del análisis del Anova para la variable de turbiedad en el coagulante del trigo, respecto a las pruebas con el

coagulante a base de maíz, existe 2 variables que influyen en la remoción de turbiedad que son concentración y velocidad de agitación rápida. Ya que supera el residuo estadístico de las variables en combinación empleadas.



Las gráficas de Residuos muestran la variabilidad de los datos obtenidos en cada uno de los ensayos; podemos determinar una constante en los datos que nos permite mejorar y determinar los mejores resultados obtenidos en el coagulante. Nos permite tener un enfoque moderno de datos y ser comparados en la probabilidad de respuesta de todos los factores.

## Regresión factorial: COLOR\_APA vs. PH; ... NTRACIÓN; RAPIDA; LENTA

\* NOTA \* Este diseño no es ortogonal.

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	7,3937	1,84844	5,35	0,003
Lineal	4	7,3937	1,84844	5,35	0,003
PH	1	0,0602	0,06025	0,17	0,679
CONCENTRACIÓN	1	6,5520	6,55205	18,97	0,000
RAPIDA	1	0,3000	0,30000	0,87	0,360
LENTA	1	0,0602	0,06025	0,17	0,679
Error	27	9,3250	0,34537		
Falta de ajuste	10	4,5750	0,45750	1,64	0,178
Error puro	17	4,7500	0,27941		
Total	31	16,7187			

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,587682	44,22%	35,96%	22,28%

### Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		8,081	0,105	77,15	0,000	
PH	0,088	0,044	0,105	0,42	0,679	1,02
CONCENTRACIÓN	0,912	0,456	0,105	4,36	0,000	1,02
RAPIDA	0,200	0,100	0,107	0,93	0,360	1,05
LENTA	0,087	0,044	0,105	0,42	0,679	1,02

### Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{COLOR\_APA} = 4,64 + 0,175 \text{ PH} + 0,1825 \text{ CONCENTRACIÓN} + 0,00400 \text{ RAPIDA} + 0,0087 \text{ LENTA}$$

### Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	COLOR_APA	Ajuste	Resid	Resid est.
28	9,000	7,638	1,362	2,51 R

Residuo grande R

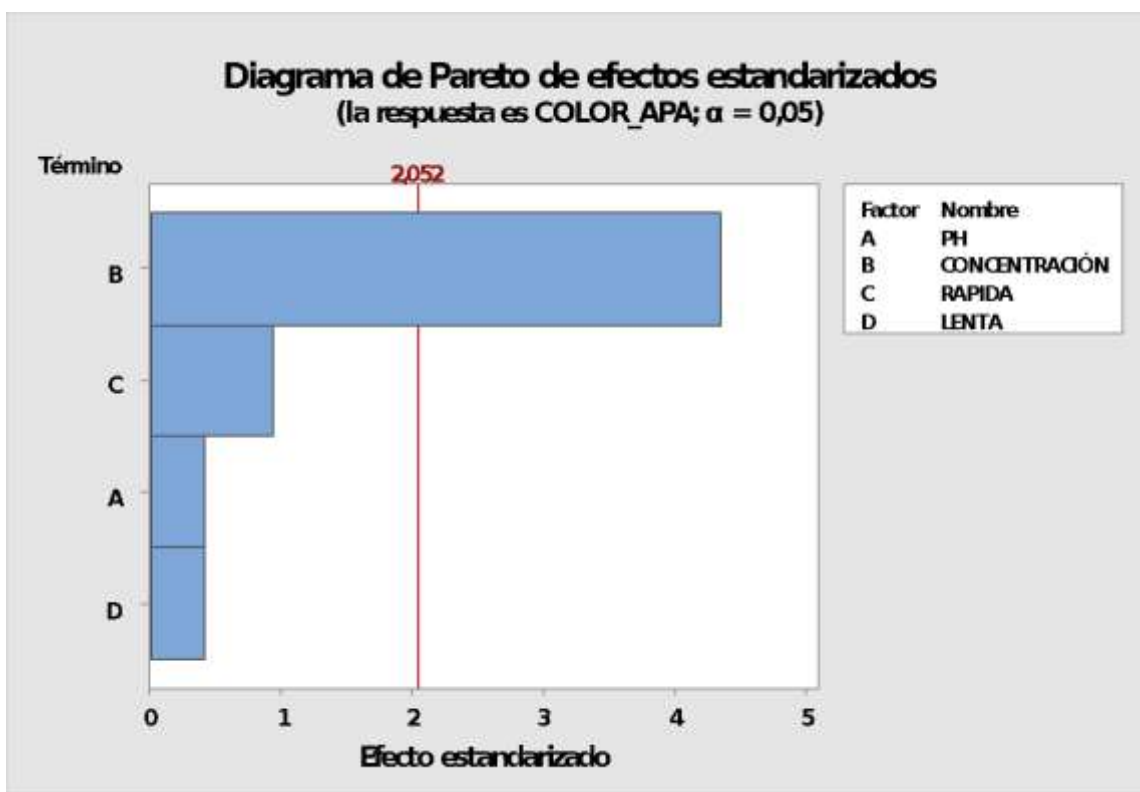
### Pareto de los efectos para COLOR\_APA

### Gráficas de residuos para COLOR\_APA

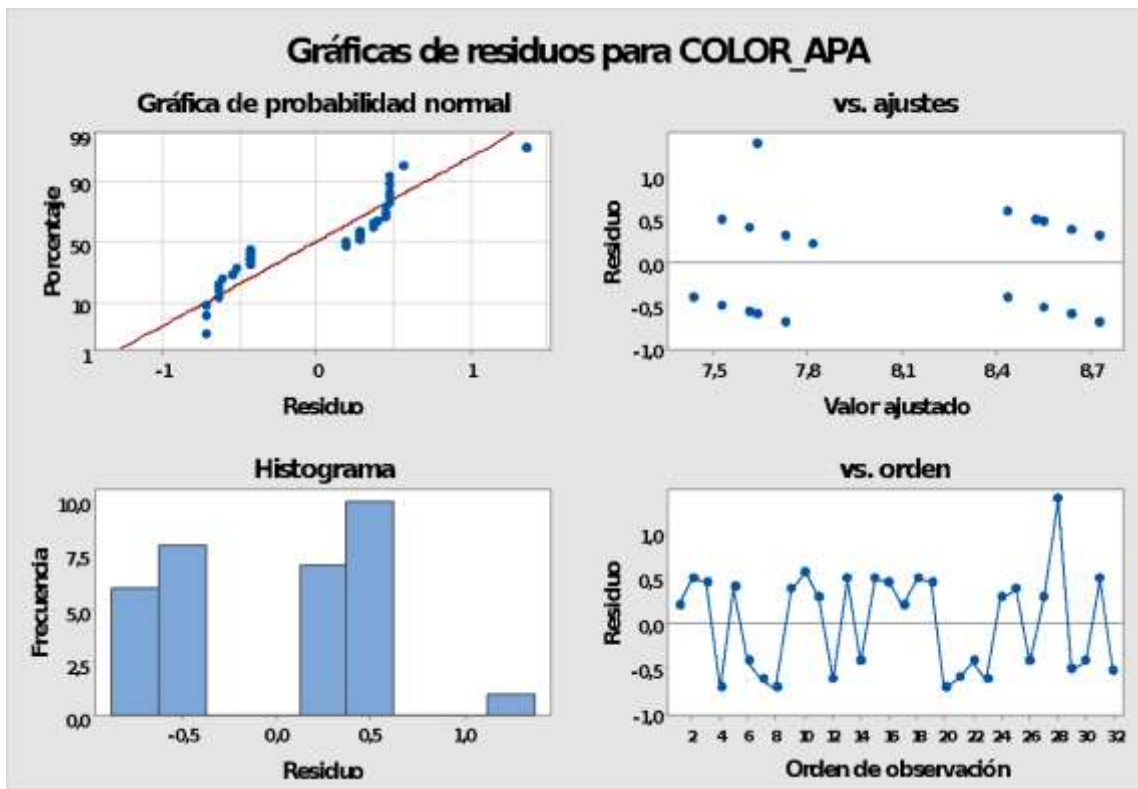
Las variables muestran la manera de resumen del modelo en el parámetro de color aparente, para el coagulante de trigo, para un diseño que no es ortogonal donde se hace importante todas las pruebas de homogeneidad y varianza, donde la variable de pH, Velocidad de agitación rápida y lenta tiene un valor P significativo de



0,679, 0,360 y 0,679 respectivamente; donde el ensayo numero 28 tiene los mejores resultados de residuo de 2,51



En la prueba de paretos para los efectos estandarizados de las 4 variables, podemos deducir que hubo una expresión de homogeneidad superior a  $\alpha=0,05$  donde se comprueba una linealidad en los datos recolectados, así como una incidencia en la concentración, como el factor más relevante del análisis del Anova para la variable de color aparente en el coagulante del trigo, la variable de mayor repercusión es la concentración, dada como la de mayor incidencia ya que supera el efecto estandarizado 2,052.



Las gráficas de Residuos muestran la variabilidad de los datos obtenidos en cada uno de los ensayos; podemos determinar una constante en los datos que nos permite mejorar y determinar los mejores resultados obtenidos en el coagulante. También nos permite tener un enfoque moderno de datos y ser comparados en la probabilidad de respuesta de todos los factores.

## Optimización de respuesta: COLOR\_APA; TURBIEDAD

### Parámetros

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
COLOR_APA	Mínimo		7,00	9,00	1	1
TURBIEDAD	Mínimo		7,12	9,51	1	1

### Solución

Solución	PH	CONCENTRACIÓN	RAPIDA	LENTA	COLOR_APA Ajuste	TURBIEDAD Ajuste	Deseabilidad compuesta	
1	7,5		5	100	20	7,4375	7,59667	0,790845

### Predicción de respuesta múltiple

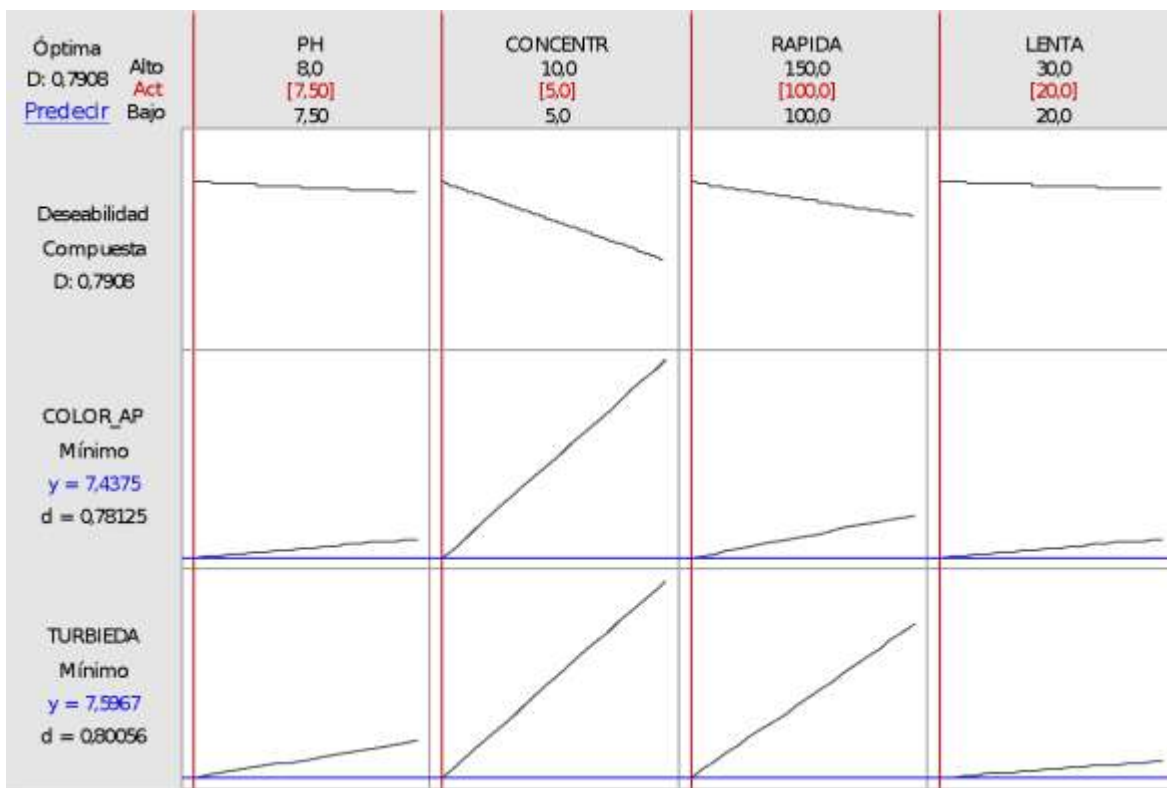
Variable	Valor de configuración
PH	7,5
CONCENTRACIÓN	5
RAPIDA	100
LENTA	20

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
COLOR_APA	7,438	0,247	(6,930; 7,945)	(6,129; 8,746)
TURBIEDAD	7,597	0,159	(7,270; 7,924)	(6,754; 8,440)

### Gráfica de optimización

Los mejores resultados obtenidos en cuanto a los parámetros de turbiedad y color aparente son para color aparente de 7,4375 mg/L y turbiedad de 7,597 NTU siendo los datos que presentan mejores porcentajes de remoción final.



En la gráfica de deseabilidad compuesta se puede resaltar que en las variables los parámetros de mayor incidencia son el pH de 7,50; la concentración de coagulante de 5mg/L; la velocidad de agitación rápida de 100 rpm; y la velocidad de agitación lenta de 20rpm como los mejores resultados del coagulante a base de trigo para la remoción de color aparente y turbiedad.

Después se puede revisar el sulfato de aluminio para el Anova, ya que se manejó en el diseño factorial con las mismas variables empleadas en los 2 coagulantes naturales, el cual vamos a observar a continuación.

## Coagulante industrial sulfato de aluminio

### Regresión factorial: TURBIEDAD vs. PH; ... NTRACIÓN; RAPIDA; LENTA

\* NOTA \* Este diseño no es ortogonal.

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	4,89125	1,22281	36,11	0,000
Lineal	4	4,89125	1,22281	36,11	0,000
PH	1	0,01382	0,01382	0,41	0,528
CONCENTRACIÓN	1	4,45704	4,45704	131,60	0,000
RAPIDA	1	0,00059	0,00059	0,02	0,896
LENTA	1	0,06511	0,06511	1,92	0,177
Error	27	0,91442	0,03387		
Falta de ajuste	9	0,46027	0,05114	2,03	0,097
Error puro	18	0,45415	0,02523		
Total	31	5,80507			

#### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,184031	84,25%	81,92%	77,69%

#### Coefficientes codificados

Término	Efecto	EE del		Valor T	Valor p	FIV
		Coef	coef.			
Constante		1,0078	0,0331	30,49	0,000	
PH	-0,0426	-0,0213	0,0333	-0,64	0,528	1,03
CONCENTRACIÓN	0,7587	0,3794	0,0331	11,47	0,000	1,03
RAPIDA	0,0088	0,0044	0,0331	0,13	0,896	1,03
LENTA	0,0924	0,0462	0,0333	1,39	0,177	1,03

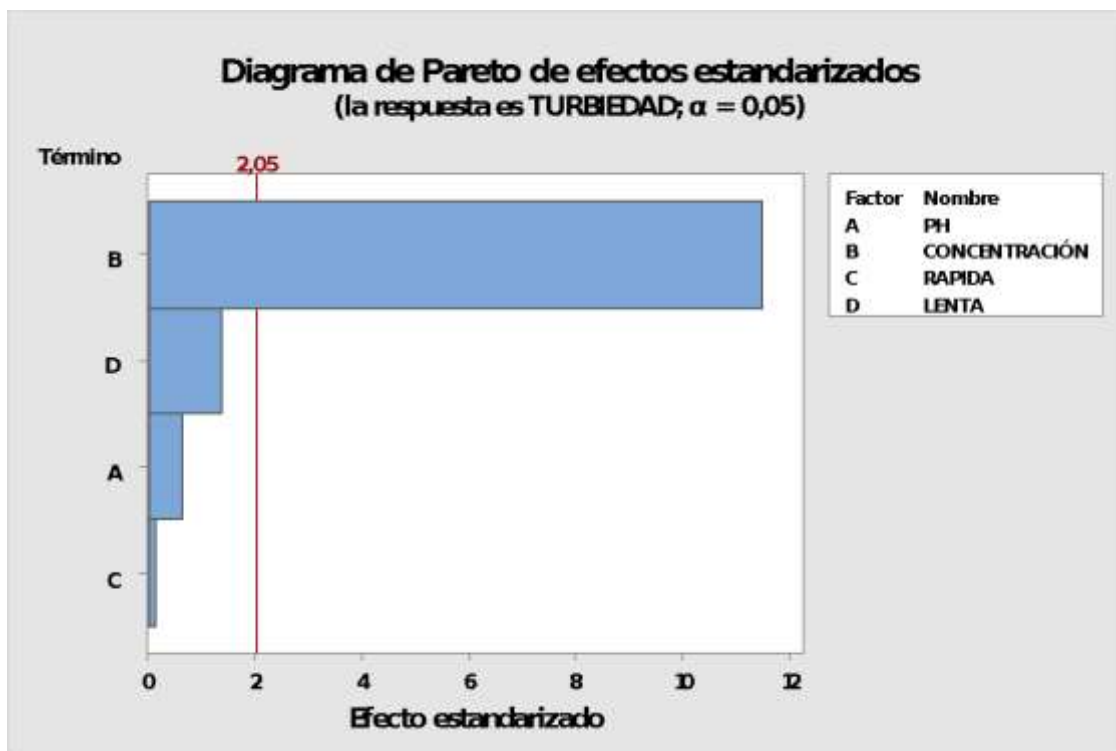
#### Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{TURBIEDAD} = 0,32 - 0,085 \text{ PH} + 0,1517 \text{ CONCENTRACIÓN} + 0,00018 \text{ RAPIDA} + 0,00924 \text{ LENTA}$$

#### Pareto de los efectos para TURBIEDAD

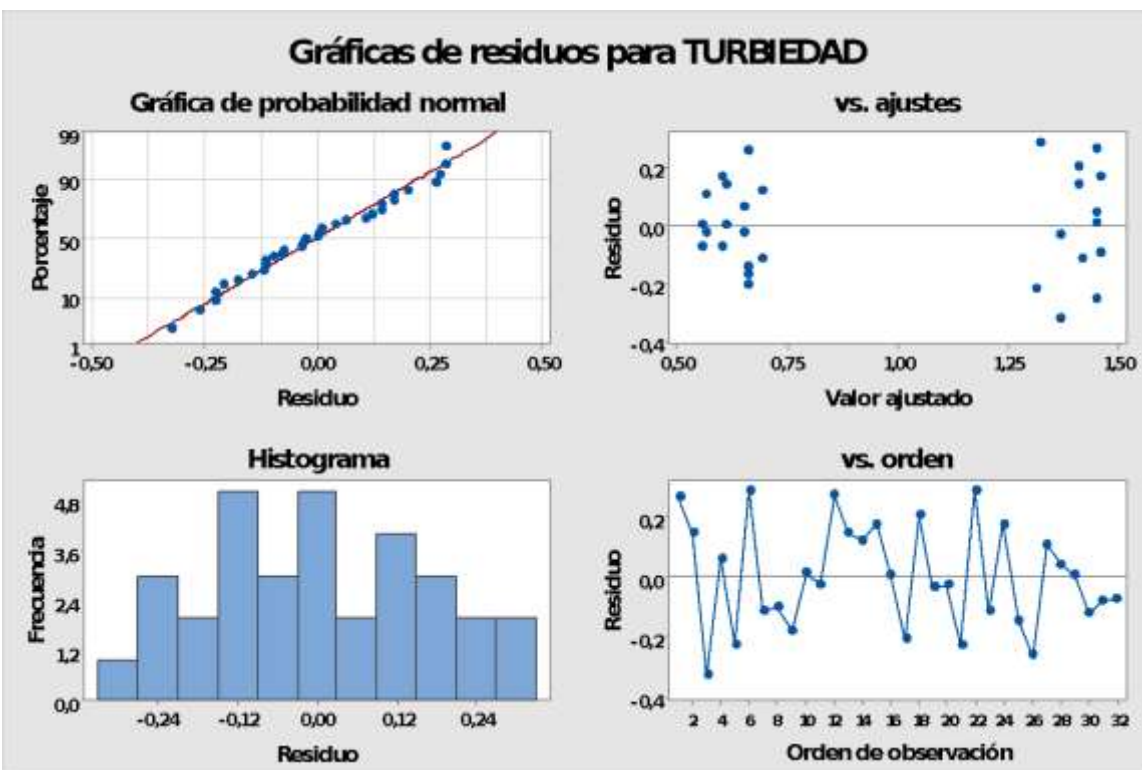
#### Gráficas de residuos para TURBIEDAD

Las variables muestra la manera de resumen del modelo en el parámetro de turbiedad, para el coagulante industrial, para un diseño que no es ortogonal donde se hace importante todas las pruebas de homogeneidad y varianza, donde la variable de pH, Velocidad de agitación rápida y lenta tiene un valor P significativo de 0,528, 0,896 y 0,177 respectivamente.



En la prueba de paretos para los efectos estandarizados de las 4 variables, podemos deducir que hubo una expresión de homogeneidad superior a  $\alpha=0,05$  donde se comprueba una linealidad en los datos recolectados, así como una incidencia en la concentración, como el factor más relevante del análisis del Anova para la variable de turbiedad en el coagulante industrial, la variable de mayor repercusión es la concentración, dada como la de mayor incidencia ya que supera el

efecto estandarizado 2,052. Respecto a las otras variables que tienen un manejo de incidencia muy baja en la remoción de turbiedad.



Las gráficas de Residuos se limitan a demostrar la significancia de la concentración respecto a los otros parámetros analizados, ya que está dando como resultado la concentración como el único parámetro relevante en significancia.

## Regresión factorial: COLOR\_APA vs. PH; ... NTRACI3N; RAPIDA; LENTA

\* NOTA \* Este dise1o no es ortogonal.

### An1lisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	1,23239	0,30810	3,67	0,016
Lineal	4	1,23239	0,30810	3,67	0,016
PH	1	0,01518	0,01518	0,18	0,674
CONCENTRACI3N	1	0,60336	0,60336	7,18	0,012
RAPIDA	1	0,18401	0,18401	2,19	0,150
LENTA	1	0,58895	0,58895	7,01	0,013
Error	27	2,26761	0,08399		
Falta de ajuste	9	1,01761	0,11307	1,63	0,181
Error puro	18	1,25000	0,06944		
Total	31	3,50000			

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,289802	35,21%	25,61%	9,45%

### Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		1,8952	0,0521	36,41	0,000	
PH	-0,0446	-0,0223	0,0525	-0,43	0,674	1,03
CONCENTRACI3N	0,2792	0,1396	0,0521	2,68	0,012	1,03
RAPIDA	-0,1542	-0,0771	0,0521	-1,48	0,150	1,03
LENTA	-0,2780	-0,1390	0,0525	-2,65	0,013	1,03

### Ecuaci3n de regresi3n en unidades no codificadas

$$\text{COLOR\_APA} = 3,29 - 0,089 \text{ PH} + 0,0558 \text{ CONCENTRACI3N} - 0,00308 \text{ RAPIDA} - 0,0278 \text{ LENTA}$$

### Ajustes y diagn3sticos para observaciones poco comunes

Obs	COLOR_APA	Ajuste	Resid	Resid est.
30	1,000	1,716	-0,716	-2,70 R

Residuo grande R

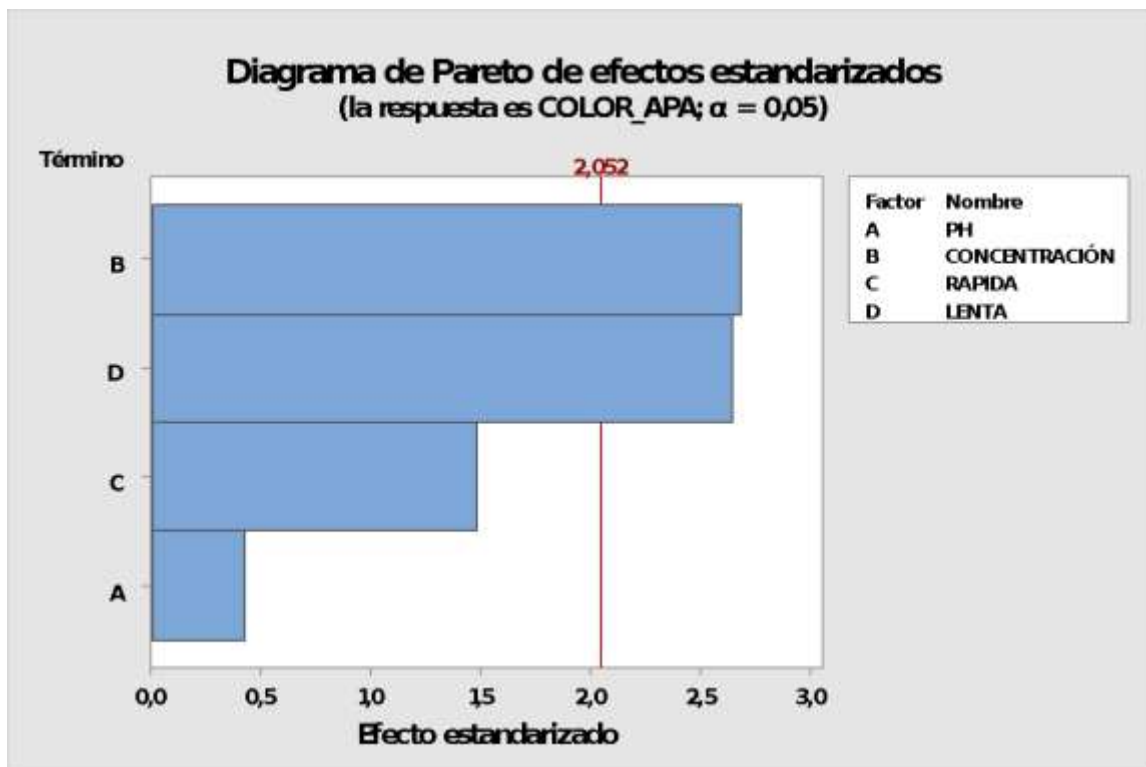
### Pareto de los efectos para COLOR\_APA

### Gr1ficas de residuos para COLOR\_APA

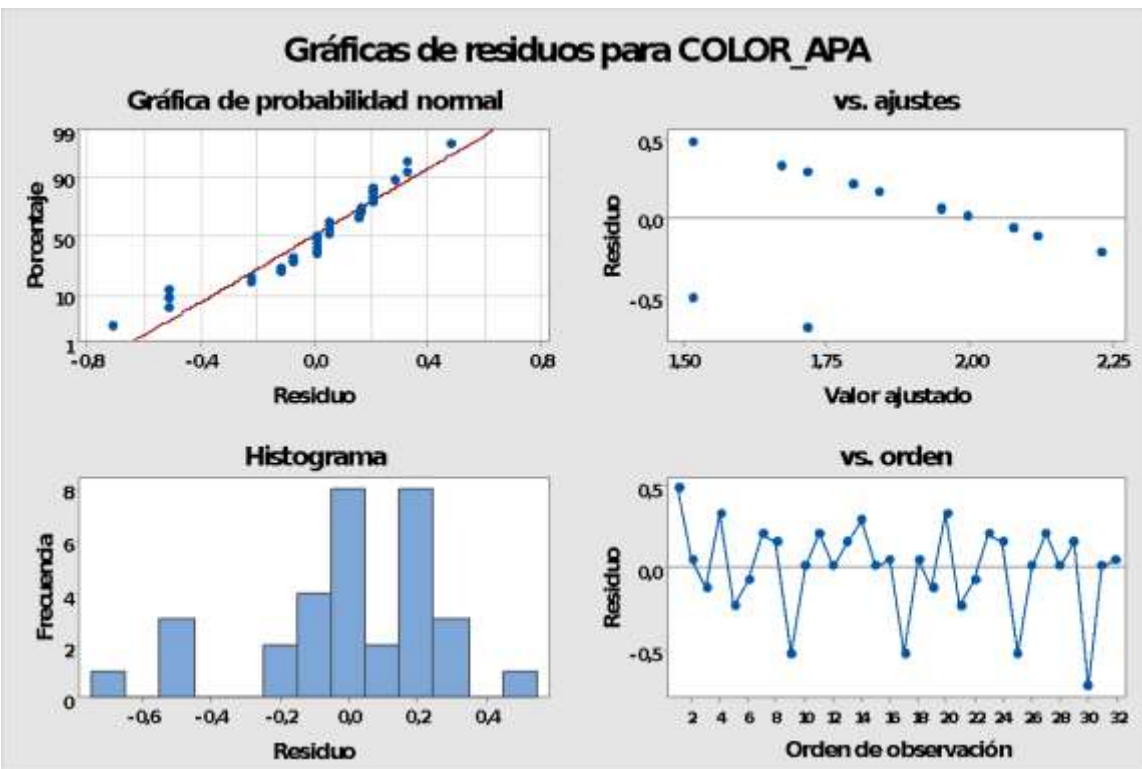
Las pruebas de homogeneidad y varianza muestran la manera de resumen del modelo en el par1metro de color aparente, para el coagulante industrial, as1 como el ajuste de cada una de las variables utilizadas, dando resultados en la



incidencia de las variables presentadas para el desarrollo del experimento. En términos generales muestra un residuo  $-0,716$ ; Residuo est  $-2,70$ ; y un ajuste de  $1,716$ , son proporcionalmente positivos porque cuentan con un error más cerca al 0 dando una relativa positividad en el modelo. En el ensayo N° 30 tiene los mejores resultados de remoción de color aparente con una concentración de  $1,00$  mg/L.



En el diagrama de Pareto para color aparente con el coagulante industrial las variables de mayor influencia son la concentración y velocidad de agitación lenta cabe resaltar la velocidad lenta porque cuando está en las rpm más bajas es donde se separan los sólidos coloidales con respecto a la concentración utilizada.



Para el coagulante industrial las gráficas de residuos en el parámetro de color aparente se observa una tendencia lineal de los factores de concentración y velocidad de agitación lenta ya que se puede obtener resultados de remoción superiores al 95%.

## Optimización de respuesta: COLOR\_APA; TURBIEDAD

### Parámetros

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
COLOR_APA	Mínimo		1,00	2,00	1	1
TURBIEDAD	Mínimo		0,45	1,72	1	1

### Solución

Solución	PH	CONCENTRACIÓN	RAPIDA	LENTA	COLOR_APA Ajuste	TURBIEDAD Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	8,5	5	150	30	1,51720	0,657742	0,635470

### Predicción de respuesta múltiple

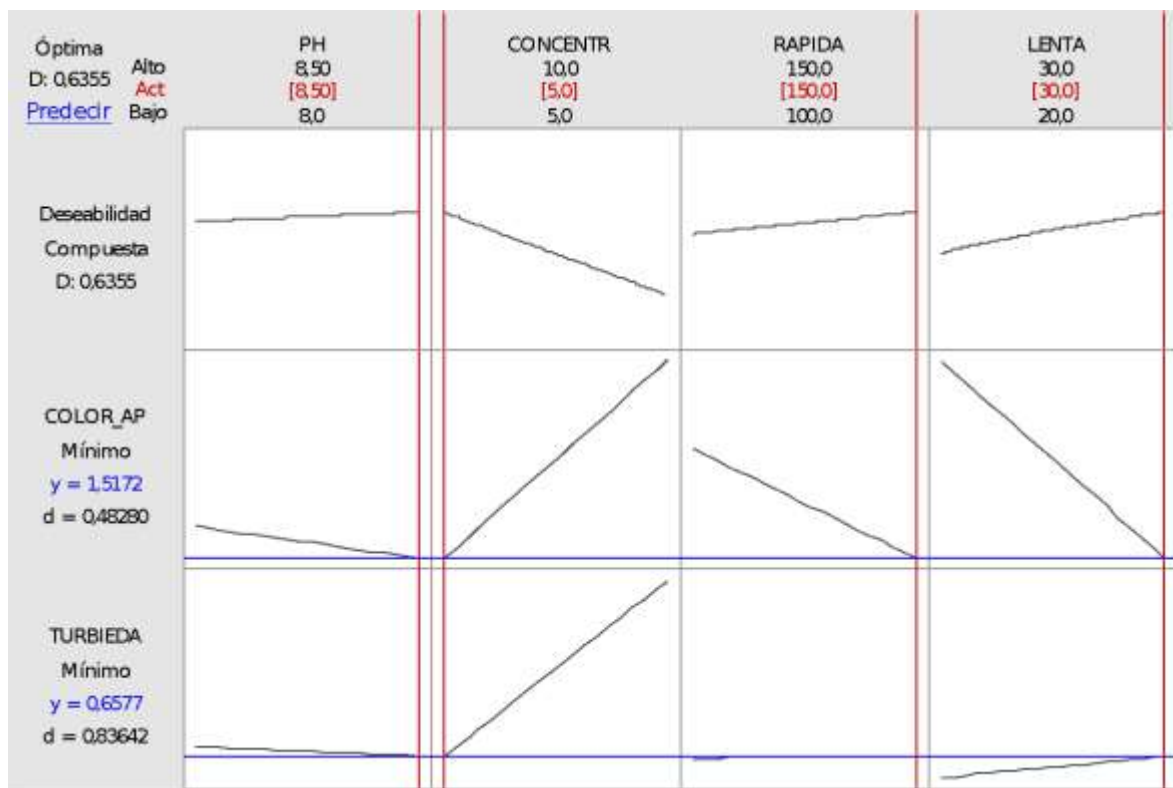
Variable	Valor de configuración
PH	8,5
CONCENTRACIÓN	5
RAPIDA	150
LENTA	30

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
COLOR_APA	1,517	0,111	(1,289; 1,745)	(0,880; 2,154)
TURBIEDAD	0,6577	0,0706	(0,5128; 0,8027)	(0,2533; 1,0622)

### Gráfica de optimización

El coagulante industrial tiene una predicción de respuesta donde se sugiere trabajar con valores de pH de 8,5 una concentración de 5mg/L así como velocidades de agitación rápida y lenta de 150 y 30 rpm respectivamente, los mejores resultados obtenidos fueron de color aparente de 1,517 mg/L y de turbiedad de 0,657 NTU siendo porcentajes de remoción superiores al 97%.



Para la gráfica de optimización los valores compuestos son un PH de 8,50 unidades; una concentración de 5mg/L; velocidad de agitación rápida de 150 rpm; velocidad de agitación lenta de 30 rpm donde se puede tener mayor eficacia en la remoción de sólidos coloidales y color aparente.

Con los datos recolectados en la fase de ensayos pudimos hallar los porcentajes de remoción para los parámetros de estudio, en este caso para los coagulantes naturales a base de maíz, trigo y el coagulante industrial en este caso el sulfato de aluminio después de ver los factores de respuesta con el Anova, tenemos el diseño Post Hoc y el Manova para poder interpretar de mejor manera nuestra evaluación de los coagulantes naturales y el coagulante industrial, realizamos un versus entre las variables que en este caso son PH, concentración de los

coagulantes, velocidad de agitación rápida y velocidad de agitación lenta vs los porcentajes de remoción logrados en cada uno de los parámetros de turbiedad y color aparente.

### Definición del Post Hoc

También se denominan pruebas de contrastes múltiples, las cuales se realizan siempre después de Anova y sirven para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos por parejas (investigar exactamente la media o las medias que son distintas a las otras).

La prueba de hipótesis que rige es la siguiente:

H0:  $M_i = M_j$  ; La diferencia no es significativa

H1:  $M_i \neq M_j$  ; La diferencia es significativa

Si el valor de la diferencia entre los pares de medias en valor absoluto es menor al criterio de prueba, se dice que no es significativa.

Si el valor de la diferencia entre los pares de medias en valor absoluto es mayor al criterio de prueba, se dice que es significativa.

Básicamente se utilizarán dos estadísticos: El de Tukey y el LSD de Fisher (más estricto).

$$\sqrt{\frac{EMS}{n}}$$

Tukey =  $q\alpha (k, N-k)$  Donde EMS es la media cuadrática, expresada como la suma de cuadrados dividida entre los grados de libertad.

$$LSD = t (\alpha/2; \sqrt{\frac{2 \cdot EMS}{n}} \quad N-k)$$

## Post hoc del coagulante natural a base de maíz

### Comparaciones para Color Aparente

Comparaciones por parejas de Tukey: pH

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

pH	N	Media	Agrupación
8	16	5,6875	A
7,5	16	5	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: pH

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

pH	N	Media	Agrupación
8	16	5,6875	A
7,5	16	5	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Concentración

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>Concentración</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
10	16	5,6875	A
5	16	5	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: Concentración

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

<b>Concentración</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
10	16	5,6875	A
5	16	5	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Vel Rápida

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

**Vel**

<b>Rápida</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
150	16	5,5625	A
100	16	5,125	A



*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: Vel Rápida

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

**Vel**

<b>Rápida</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
150	16	5,5625	A
100	16	5,125	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Vel Lenta

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

**Vel**

<b>Lenta</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
30	16	5,5625	A
20	16	5,125	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

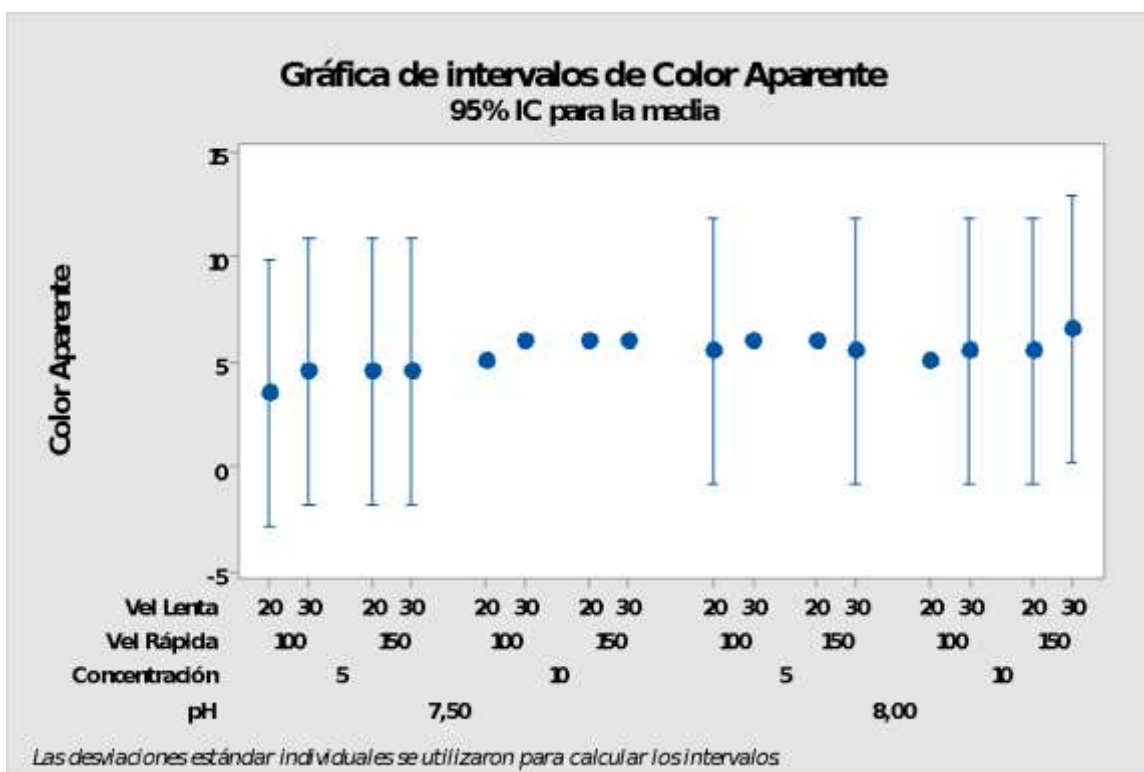
Comparaciones por parejas de Fisher: Vel Lenta

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

**Vel**

<b>Lenta</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
30	16	5,5625	A
20	16	5,125	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*



Las medias que muestran diferencias significativas (en congruencia entre LSD y Tukey) son:

- PH de 8 versus pH de 7,5
- Concentración de 10 mg/L versus concentración de 5 mg/L

- Las medias que no muestran diferencias significativas (en congruencia entre LSD y Tukey) son:
- Velocidad rápida de 150 versus 100
- Velocidad lenta de 30 versus 20

### Comparaciones para Turbiedad

Comparaciones por parejas de Tukey: pH

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>pH</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
8	16	6,06	A
7,5	16	5,44813	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fischer: pH

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

<b>pH</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
-----------	----------	--------------	-------------------

8	16	6,06	A
7,5	16	5,44813	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Concentración

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>Concentración</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
10	16	6,21562	A
5	16	5,2925	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: Concentración

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

<b>Concentración</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
10	16	6,21562	A
5	16	5,2925	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Vel Rápida

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>Vel</b>			
<b>Rápida</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
150	16	5,96687	A
100	16	5,54125	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: Vel Rápida

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

<b>Vel</b>			
<b>Rápida</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
150	16	5,96687	A
100	16	5,54125	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Vel Lenta

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

**Vel**

<b>Lenta</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
30	16	5,905	A
20	16	5,60312	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

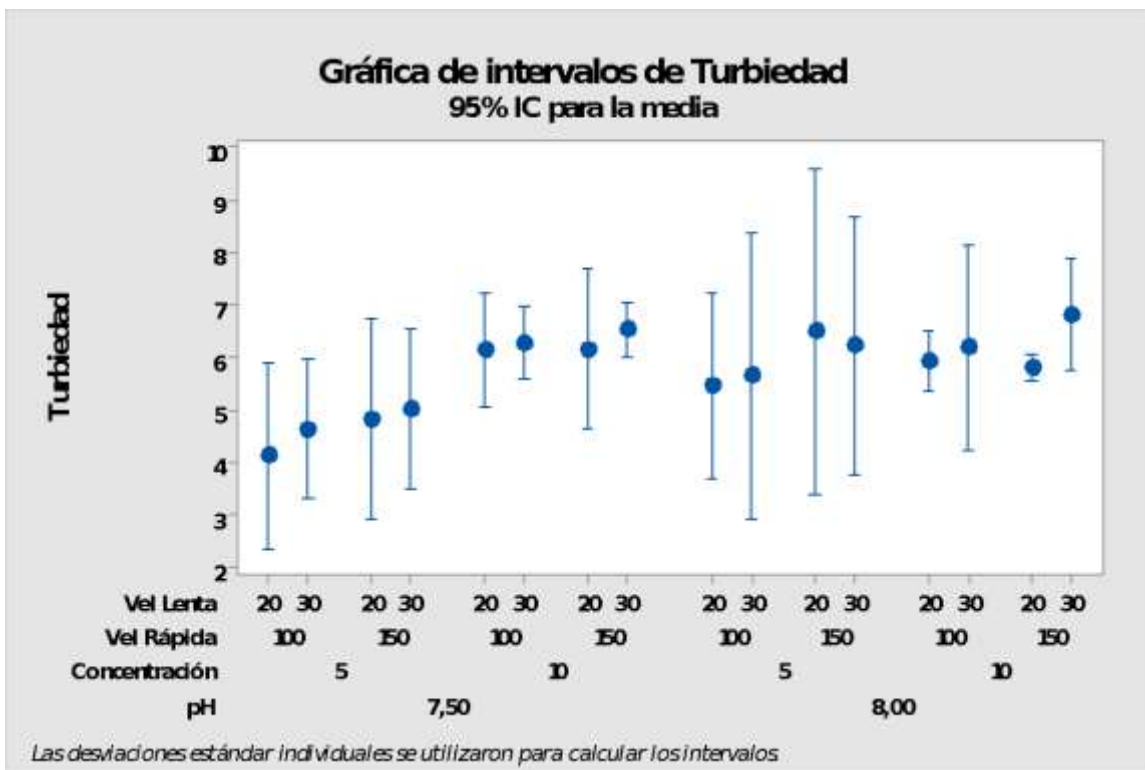
Comparaciones por parejas de Fisher: Vel Lenta

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

**Vel**

<b>Lenta</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
30	16	5,905	A
20	16	5,60312	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*



Las medias que muestran diferencias significativas (en congruencia entre LSD y Tukey) son:

- pH de 8 versus pH de 7,5
- Concentración de 10 mg/L versus concentración de 5 mg/L
- Velocidad rápida de 150 versus 100

Las medias que no muestran diferencias significativas (en congruencia entre LSD y Tukey) son:

- Velocidad lenta de 30 versus 20

## Post hoc del coagulante natural a base de trigo

### Comparaciones para Color Aparente

Comparaciones por parejas de Tukey: pH

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>pH</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
8	16	8,125	A
7,5	16	8,0625	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: pH

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

<b>pH</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
8	16	8,125	A
7,5	16	8,0625	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Concentración

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>Concentración</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
----------------------	----------	--------------	-------------------



10	16	8,5625	A
5	16	7,625	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: Concentración

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

<b>Concentración</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
10	16	8,5625	A
5	16	7,625	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Vel Rápida

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>Vel</b>			
<b>Rápida</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
150	16	8,1875	A
100	16	8	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: Vel Rápida

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

<b>Vel</b>			
<b>Rápida</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
150	16	8,1875	A
100	16	8	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Vel Lenta

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>Vel</b>			
<b>Lenta</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
30	16	8,125	A
20	16	8,0625	A

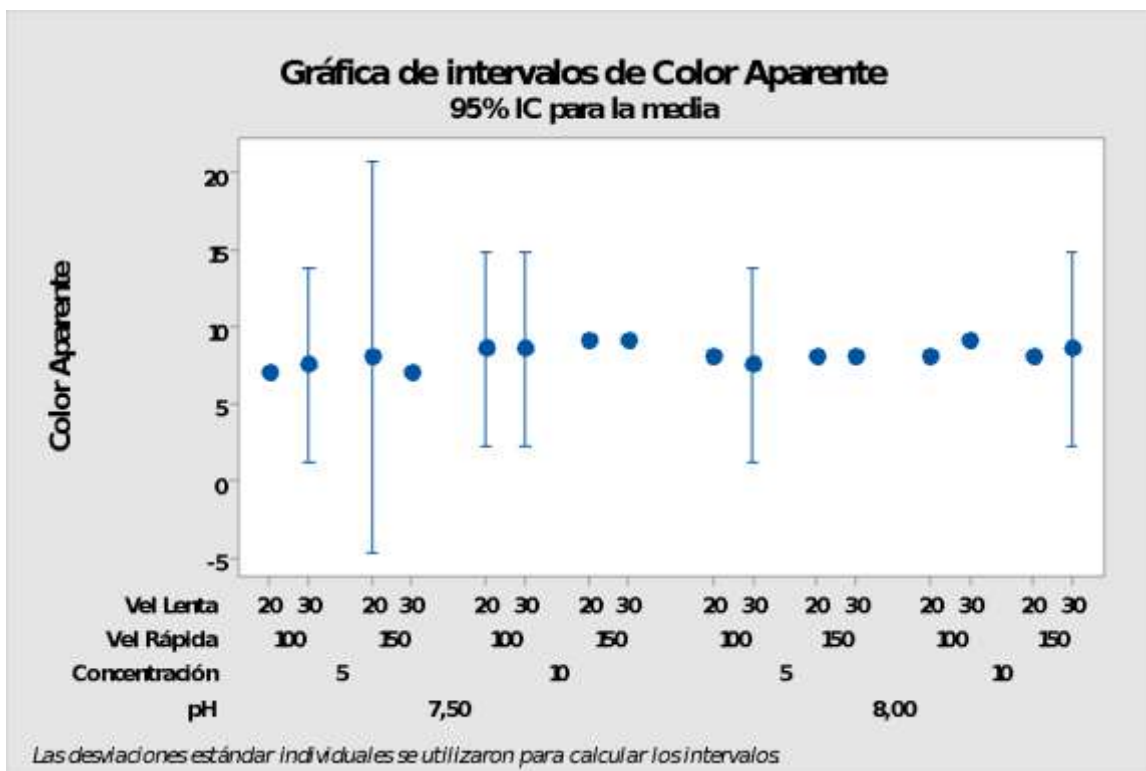
*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: Vel Lenta

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

<b>Vel</b>			
<b>Lenta</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
30	16	8,125	A
20	16	8,0625	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*



Las medias que muestran diferencias significativas (en congruencia entre LSD y Tukey) son:

- Concentración de 10 mg/L versus concentración de 5 mg/L

Las medias que no muestran diferencias significativas (en congruencia entre LSD y Tukey) son:

- pH de 8 versus pH de 7,5
- Velocidad rápida de 150 versus 100
- Velocidad lenta de 30 versus 20

### Comparaciones para Turbiedad

Comparaciones por parejas de Tukey: pH

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>pH</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
8	16	8,42688	A
7,5	16	8,36	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: pH

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

<b>pH</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
8	16	8,42688	A
7,5	16	8,36	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Concentración

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>Concentración</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
10	16	8,80063	A
5	16	7,98625	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: Concentración

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

<b>Concentración</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
10	16	8,80063	A
5	16	7,98625	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Vel Rápida

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>Vel</b>			
<b>Rápida</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
150	16	8,6925	A
100	16	8,09438	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: Vel Rápida

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

<b>Vel</b>			
<b>Rápida</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
150	16	8,6925	A
100	16	8,09438	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Vel Lenta

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>Vel</b>			
<b>Lenta</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
20	16	8,3975	A
30	16	8,38938	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

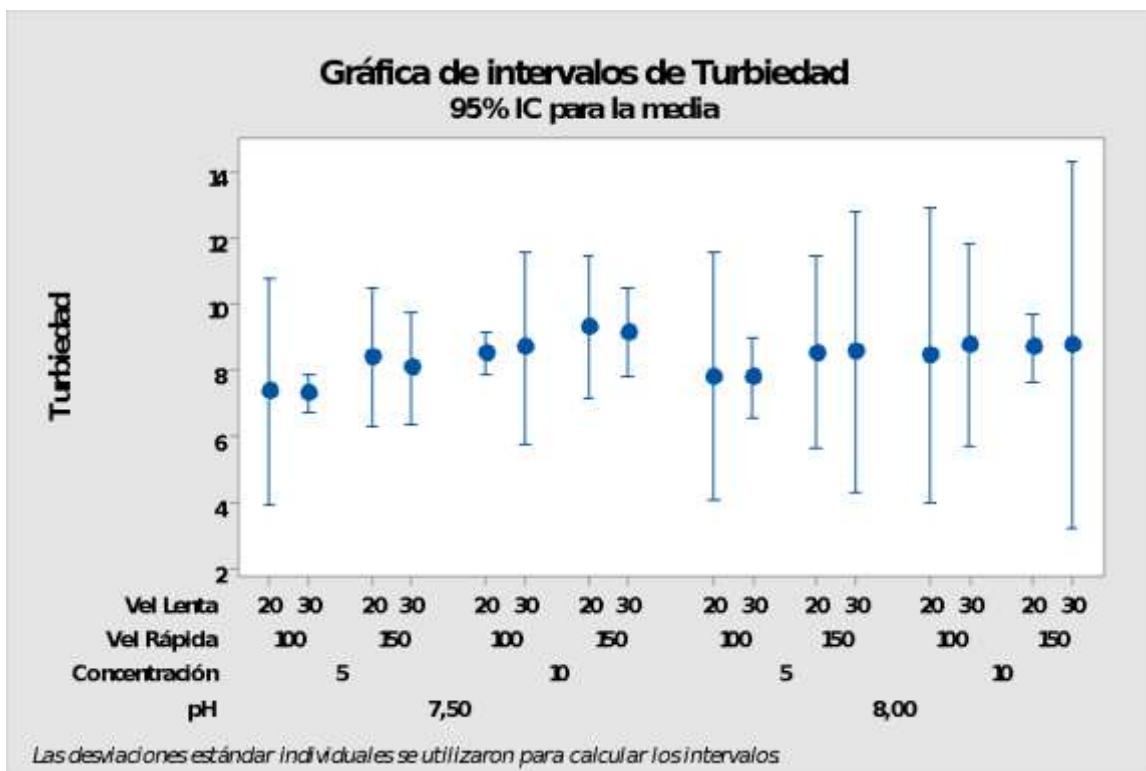
Comparaciones por parejas de Fisher: Vel Lenta

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

**Vel**

<b>Lenta</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
20	16	8,3975	A
30	16	8,38938	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*



Las medias que muestran diferencias significativas (en congruencia entre LSD y Tukey) son:

- Concentración de 10 mg/L versus concentración de 5 mg/L

- Velocidad rápida de 150 versus 100

Las medias que no muestran diferencias significativas (en congruencia entre LSD y Tukey) son:

- pH de 8 versus pH de 7,5
- Velocidad lenta de 30 versus 20

### **Post hoc del coagulante industrial**

### **Comparaciones para Color Aparente**

Comparaciones por parejas de Tukey: pH

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>pH</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
8	16	1,875	A
8,5	16	1,875	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: pH

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%



<b>pH</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
8	16	1,875	A
8,5	16	1,875	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Concentración

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>Concentración</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
10	16	2	A
5	16	1,75	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: Concentración

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

<b>Concentración</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
10	16	2	A
5	16	1,75	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Vel Rápida

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

**Vel**

<b>Rápida</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
100	16	1,9375	A
150	16	1,8125	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: Vel Rápida

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

**Vel**

<b>Rápida</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
100	16	1,9375	A
150	16	1,8125	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Vel Lenta

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

**Vel**

<b>Lenta</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
--------------	----------	--------------	-------------------

20	16	2	A
30	16	1,75	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

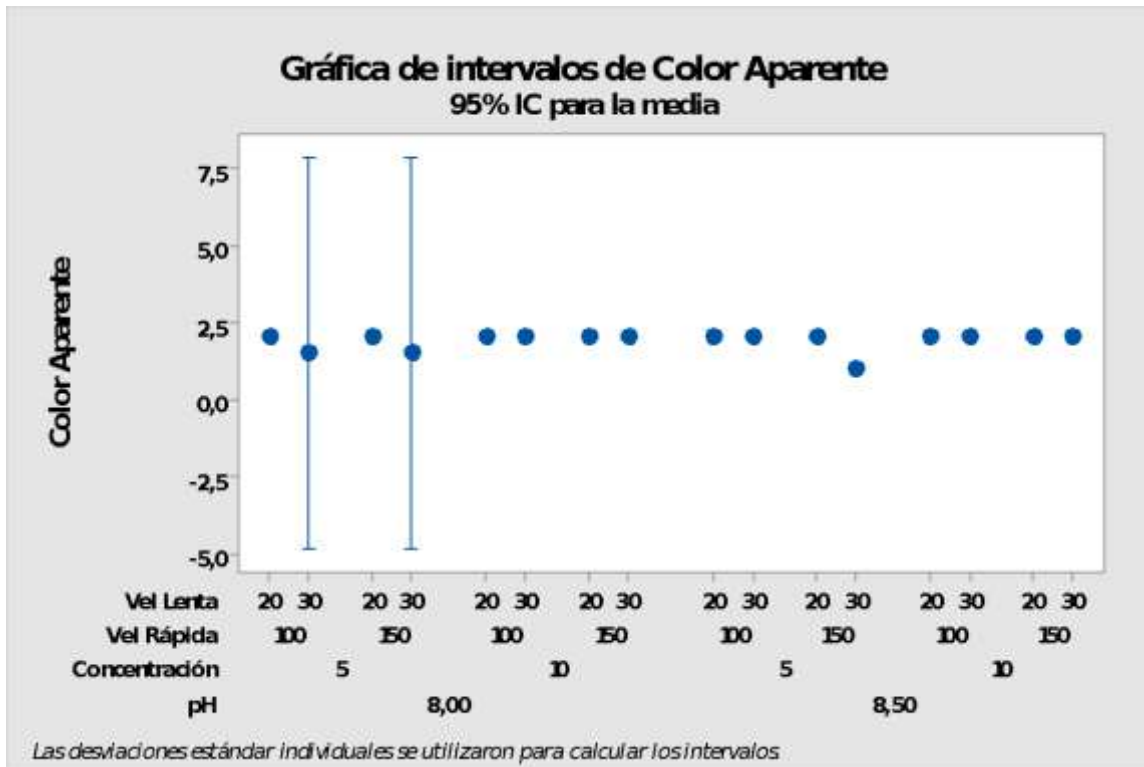
Comparaciones por parejas de Fisher: Vel Lenta

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

**Vel**

Lenta	N	Media	Agrupación
20	16	2	A
30	16	1,75	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*



Las medias que muestran diferencias significativas (en congruencia entre LSD y Tukey) son:

- Concentración de 10 mg/L versus concentración de 5 mg/L
- Velocidad lenta de 30 versus 20

Las medias que no muestran diferencias significativas (en congruencia entre LSD y Tukey) son:

- pH de 8 versus pH de 7,5
- Velocidad rápida de 150 versus 100

### Comparaciones para Turbiedad

Comparaciones por parejas de Tukey: pH

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>pH</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
8	16	1,03875	A
8,5	16	0,97938	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: pH

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

<b>pH</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
-----------	----------	--------------	-------------------

8	16	1,03875	A
8,5	16	0,97938	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Concentración

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>Concentración</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
10	16	1,395	A
5	16	0,62313	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: Concentración

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

<b>Concentración</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
10	16	1,395	A
5	16	0,62313	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Vel Rápida

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>Vel</b>			
<b>Rápida</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
100	16	1,01125	A
150	16	1,00688	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: Vel Rápida

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

<b>Vel</b>			
<b>Rápida</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
100	16	1,01125	A
150	16	1,00688	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Tukey: Vel Lenta

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<b>Vel</b>			
<b>Lenta</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
30	16	1,06063	A
20	16	0,9575	A

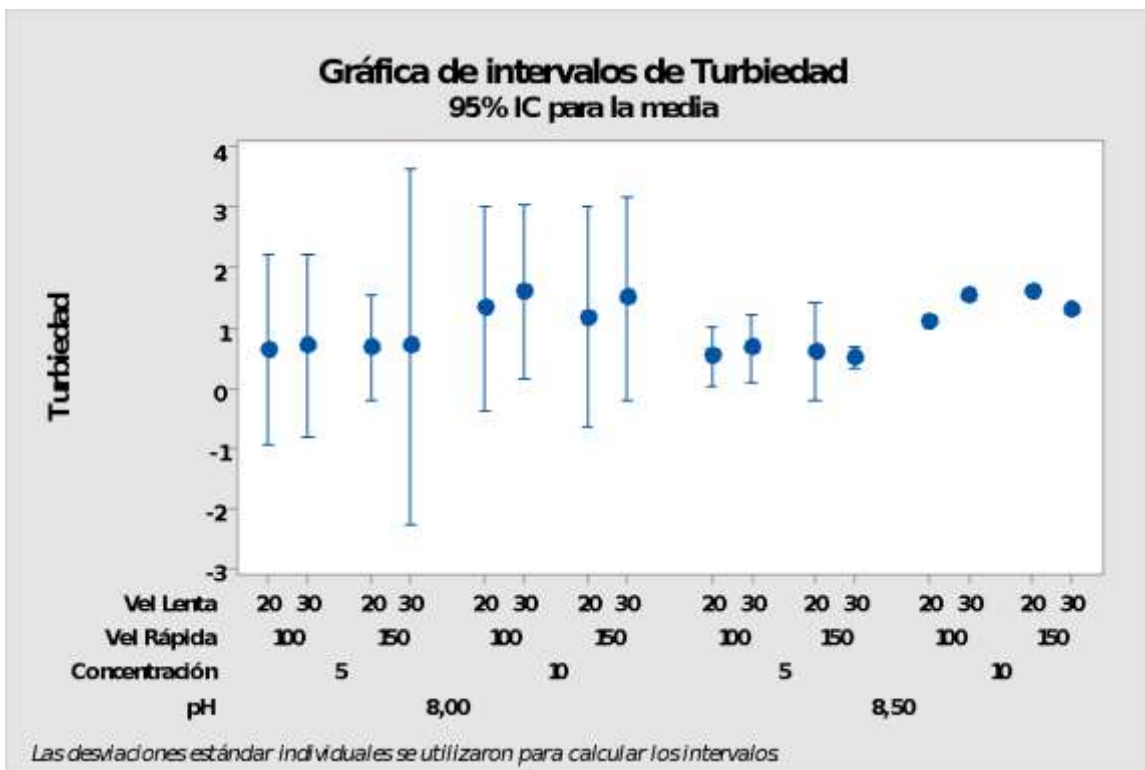
*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Comparaciones por parejas de Fisher: Vel Lenta

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

<b>Vel</b>			
<b>Lenta</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
30	16	1,06063	A
20	16	0,9575	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*



Las medias que muestran diferencias significativas (en congruencia entre LSD y Tukey) son:

- Concentración de 10 mg/L versus concentración de 5 mg/L

Las medias que no muestran diferencias significativas (en congruencia entre LSD y Tukey) son:

- pH de 8 versus pH de 7,5
- Velocidad lenta de 30 versus 20
- Velocidad rápida de 150 versus 100



### Conclusión del post hoc

	Color Aparente				Turbiedad			
	pH	Concentración	Vel Rápida	Vel Lenta	pH	Concentración	Vel Rápida	Vel Lenta
Maíz	Significativa	Significativa	No significativa	No significativa	Significativa	Significativa	Significativa	No significativa
Trigo	No significativa	Significativa	No significativa	No significativa	No significativa	Significativa	Significativa	No significativa
Industrial	No significativa	Significativa	No significativa	Significativa	No significativa	Significativa	No significativa	No significativa

1. El color aparente y la turbiedad de todos los coagulantes se ven afectados por la diferencia de concentración.
2. El único coagulante que varía su color aparente y su turbiedad dada la diferencia de pH es el basado en maíz.
3. Mientras que la turbiedad de los coagulantes basados en Maíz y Trigo se ve afectada por la diferencia en la velocidad rápida, el Industrial parece insensible a ello.
4. El color aparente del coagulante industrial se ve afectado por la diferencia en la velocidad lenta. Los otros dos tipos, son insensibles a ello.

## Manova

A diferencia del ANOVA, el MANOVA (análisis multivariado de la varianza) representa la relación entre los predictores categóricos escogidos y múltiples variables de respuesta a la vez.

Beneficios:

- Aumento de la potencia: Se implementa la covarianza entre las variables de respuesta, mostrando niveles de correlación entre ellas.
- Algo imposible realizando ANOVA individuales.
- Detección de patrones de respuesta multivariados: Muestra si un factor repercute en la interacción entre las diversas Y (No la respuesta individual).
- Controla la tasa de error por familia: Con una serie sucesiva de ANOVA se puede aumentar el error de tipo 1 (rechazar la hipótesis nula siendo verdadera).
- Con el MANOVA se mantiene el mismo nivel alfa.

Estadísticos de prueba:

- Prueba de Wilk
- Prueba de Lawley-Hotelling
- Prueba de Pillai
- Prueba de la raíz más grande de Roy

Todas ellas, se basan en dos matrices SSCP (sumas de cuadrados y productos cruzados), que muestran error entre los factores y dentro de los factores.

### Manova para el coagulante natural a base de maíz

#### Pruebas MANOVA para pH

Criterio	Estadística de prueba	F	GL		P
			Núm	Denom	
De Wilks	0,6606	6,679	2	26	0,005
Lawley-Hotel	0,51378	6,679	2	26	0,005
De Pillai	0,3394	6,679	2	26	0,005
De Roy	0,51378				

$s = 1$   $m = 0,0$   $n = 12,0$

#### Pruebas MANOVA para Concentracion

Criterio	Estadística de prueba	F	GL		P
			Núm	Denom	
De Wilks	0,45545	15,543	2	26	0
Lawley-Hotel	1,19562	15,543	2	26	0
De Pillai	0,54455	15,543	2	26	0
De Roy	1,19562				

$s = 1$   $m = 0,0$   $n = 12,0$

### Pruebas MANOVA para Vel Lenta

Criterio	Estadística de prueba	F	GL		P
			Núm	Denom	
De Wilks	0,8036	3,177	2	26	0,058
Lawley-Hotel	0,2444	3,177	2	26	0,058
De Pillai	0,1964	3,177	2	26	0,058
De Roy	0,2444				

$s = 1$   $m = 0,0$   $n = 12,0$

### Pruebas MANOVA para Vel Rapida

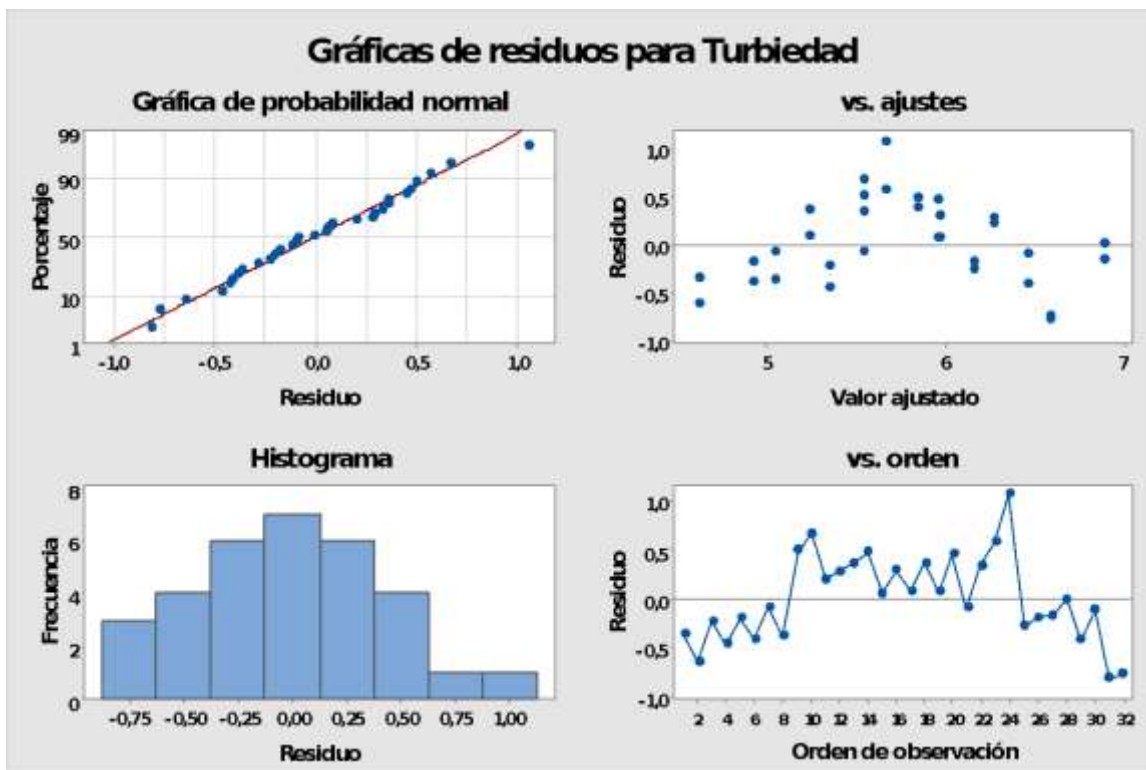
Criterio	Estadística de prueba	F	GL		P
			Núm	Denom	
De Wilks	0,87219	1,905	2	26	0,169
Lawley-Hotel	0,14654	1,905	2	26	0,169
De Pillai	0,12781	1,905	2	26	0,169
De Roy	0,14654				

$s = 1$   $m = 0,0$   $n = 12,0$

Las variables que inciden transversalmente y significativamente ( $p < 0,05$ ) en la turbiedad y color aparente son:

- pH
- Concentración

Descartando del Post Hoc la velocidad rápida que solo afecta la turbiedad.



### Supuestos para turbiedad:

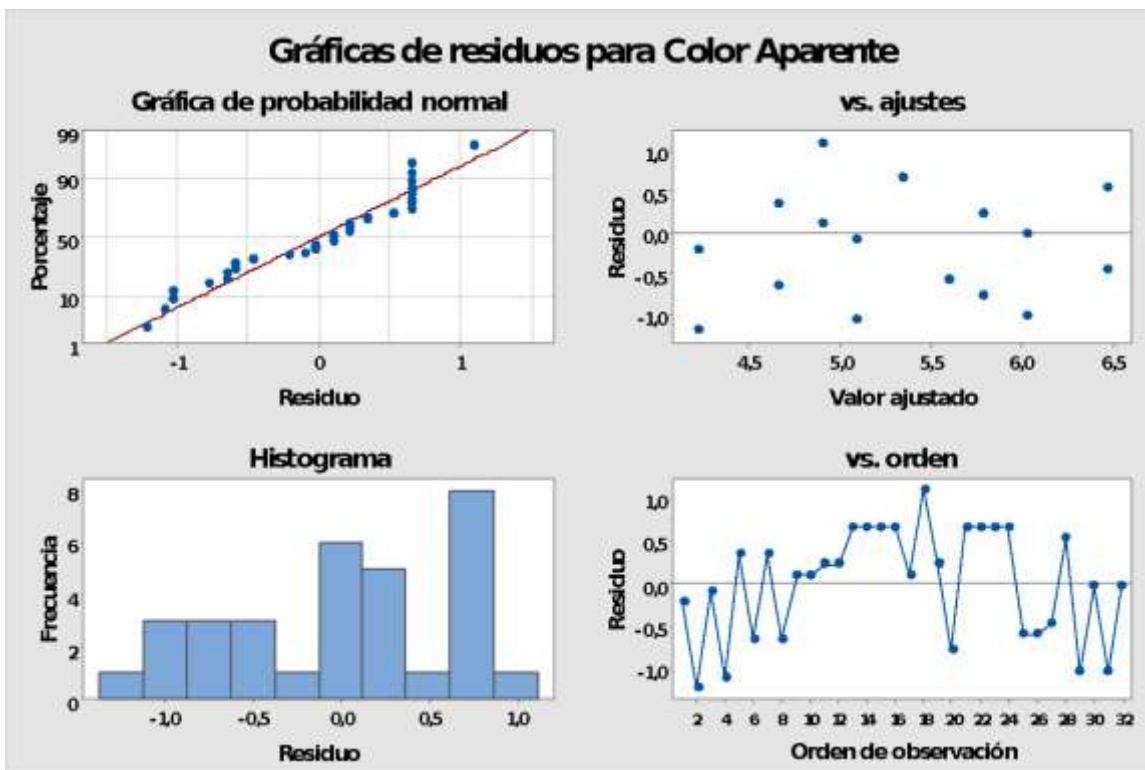
Normalidad:  $H_0$  Los residuos son normales.

Independencia:  $H_1$  Se requiere de una prueba de rachas para corroborar.

### Prueba.

Observado	Esperado	Valor p
6	15,44	0

$H_1$ : El orden de los datos no es aleatorio



### Supuestos para color aparente:

Normalidad:  $H_0$  Los residuos son normales.

Independencia:  $H_0$  Los residuos son independientes.

## Manova para el coagulante natural a base de trigo

### Pruebas MANOVA para pH

Criterio	Estadística de prueba	F	GL		P
			Núm	Denom	
De Wilks	0,98952	0,138	2	26	0,872
Lawley-Hotel	0,01059	0,138	2	26	0,872
De Pillai	0,01048	0,138	2	26	0,872
De Roy	0,01059				

$s = 1$   $m = 0,0$   $n = 12,0$

### Pruebas MANOVA para Concentracion

Criterio	Estadística de prueba	F	GL		P
			Núm	Denom	
De Wilks	0,37228	21,92	2	26	0
Lawley-Hotel	1,68615	21,92	2	26	0
De Pillai	0,62772	21,92	2	26	0
De Roy	1,68615				

$s = 1$   $m = 0,0$   $n = 12,0$

### Pruebas MANOVA para Vel Lenta

Criterio	Estadística de prueba	F	GL		P
			Núm	Denom	
De Wilks	0,53836	11,147	2	26	0
Lawley-Hotel	0,85748	11,147	2	26	0
De Pillai	0,46164	11,147	2	26	0
De Roy	0,85748				

$s = 1$   $m = 0,0$   $n = 12,0$

## Pruebas MANOVA para Vel Rapida

Criterio	Estadística de prueba	F	GL		P
			Núm	Denom	
De Wilks	0,99521	0,063	2	26	0,939
Lawley-Hotel	0,00481	0,063	2	26	0,939
De Pillai	0,00479	0,063	2	26	0,939
De Roy	0,00481				

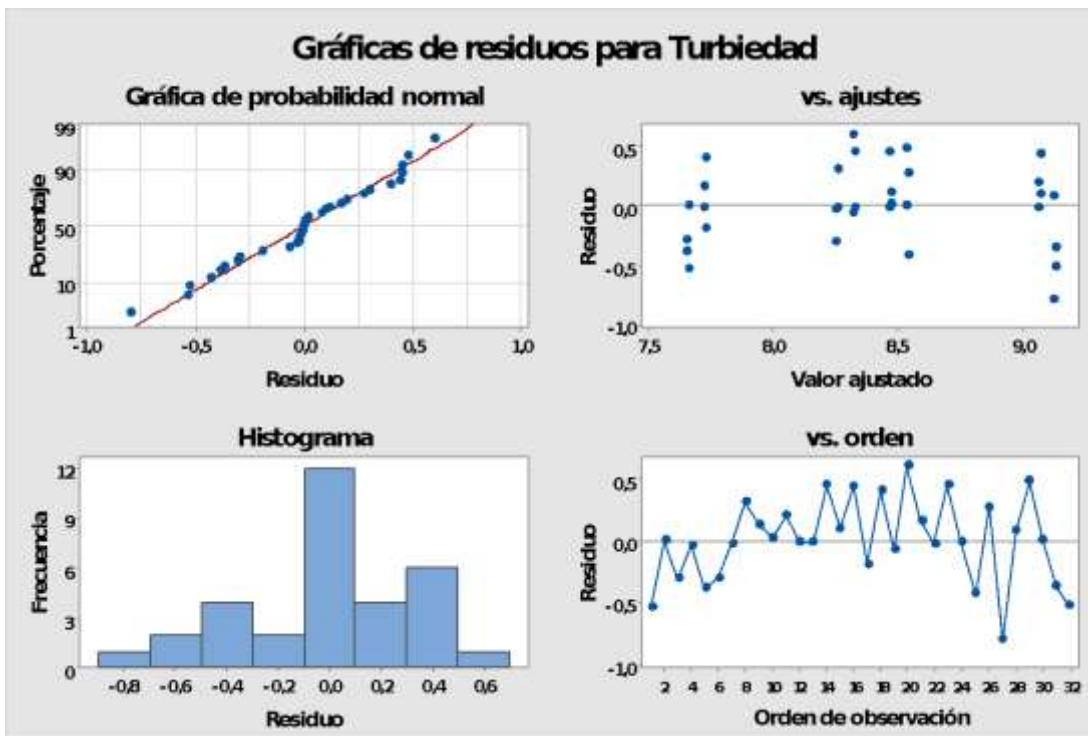
*s = 1 m = 0,0 n = 12,0*

Las variables que inciden transversalmente y significativamente ( $p < 0,05$ ) en la turbiedad y color aparente son:

- Concentración
- Velocidad Lenta

Si bien, en el Post Hoc la velocidad rápida afectaba a la turbiedad, el MANOVA muestra que la velocidad lenta tiene mayor impacto en la interacción entre las Y.





### Supuestos para turbiedad:

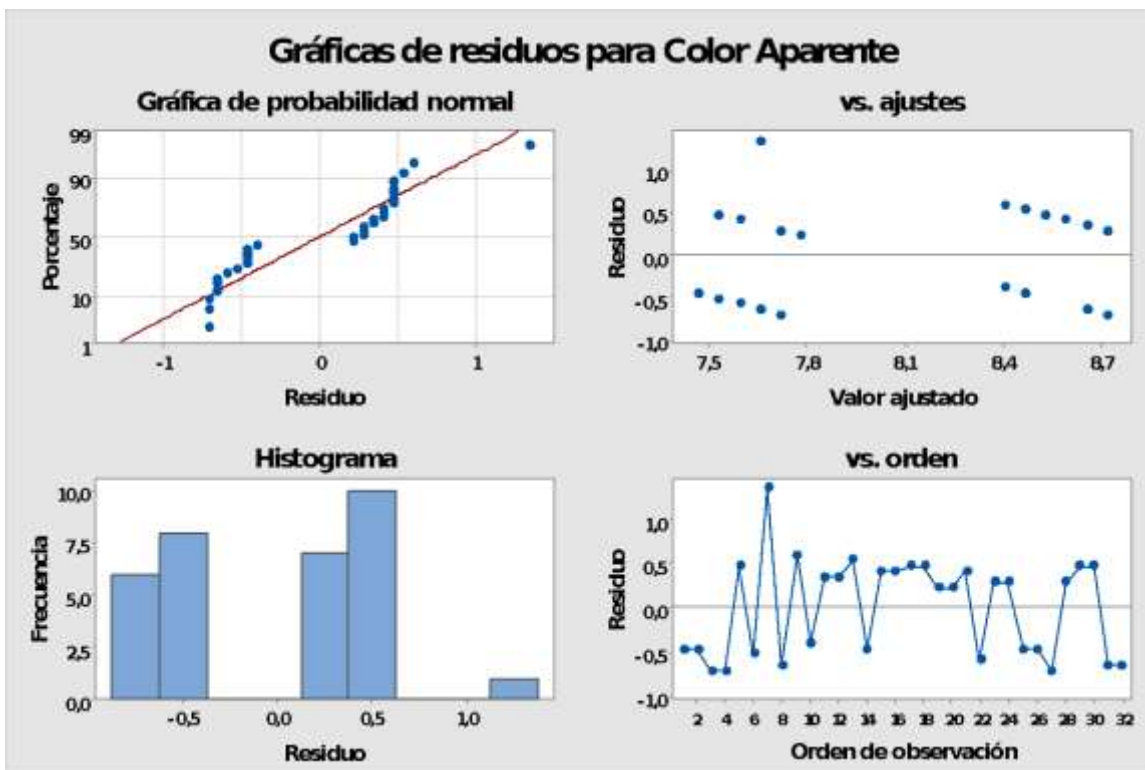
Normalidad:  $H_0$  Los residuos son normales.

Independencia:  $H_1$  Se requiere de una prueba de rachas para corroborar.

### Prueba.

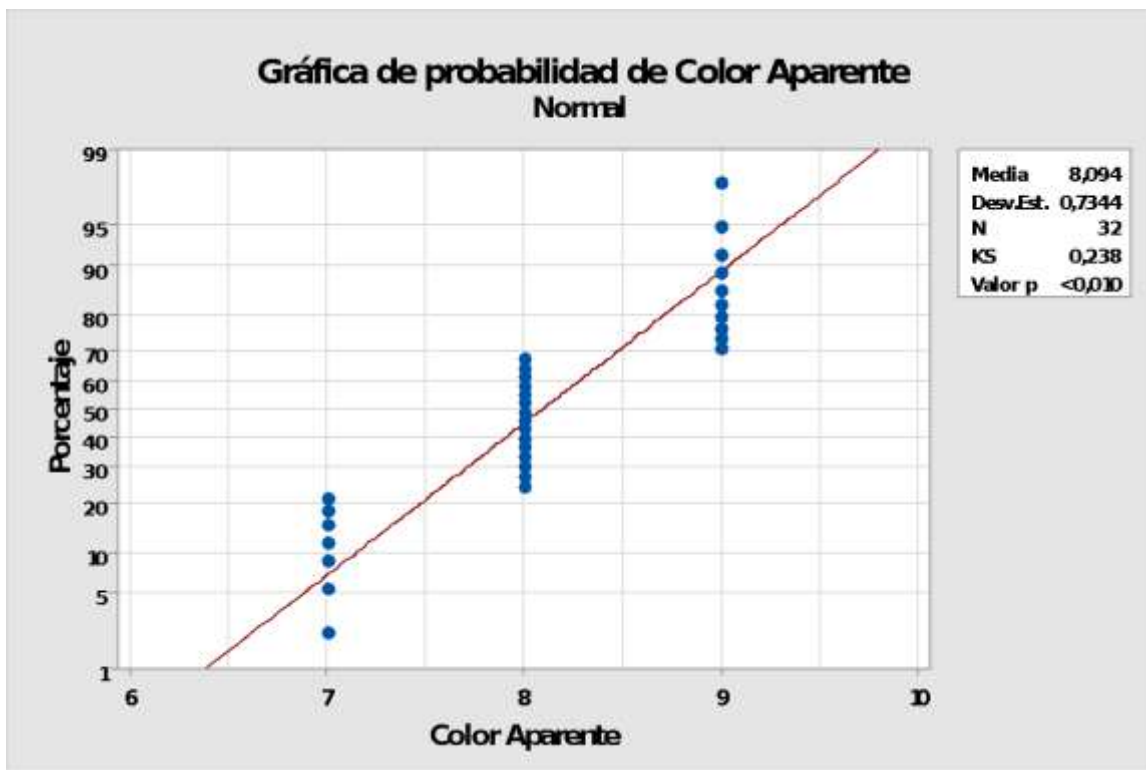
Observado	Esperado	Valor p
10	16,94	0,012

$H_1$ : El orden de los datos no es aleatorio



**Supuestos para color aparente:**

Normalidad: H1 Se requiere de una prueba Kolmogorov Smirnov para corroborar.



$p < 0,05$ , H1 Los residuos no son normales.

Independencia: H0 Los residuos son independientes.

**Manova para el coagulante industrial.**

### Pruebas MANOVA para pH

Criterio	Estadística de prueba	F	GL		P
			Núm	Denom	
De Wilks	0,95904	0,555	2	26	0,581
Lawley-Hotel	0,04271	0,555	2	26	0,581
De Pillai	0,04096	0,555	2	26	0,581
De Roy	0,04271				

$s = 1 \quad m = 0,0 \quad n = 12,0$

### Pruebas MANOVA para Concentracion

Criterio	Estadística de prueba	F	GL		P
			Núm	Denom	
De Wilks	0,13997	79,877	2	26	0
Lawley-Hotel	6,14442	79,877	2	26	0
De Pillai	0,86003	79,877	2	26	0
De Roy	6,14442				

$s = 1$   $m = 0,0$   $n = 12,0$

### Pruebas MANOVA para Vel Lenta

Criterio	Estadística de prueba	F	GL		P
			Núm	Denom	
De Wilks	0,93918	0,842	2	26	0,442
Lawley-Hotel	0,06476	0,842	2	26	0,442
De Pillai	0,06082	0,842	2	26	0,442
De Roy	0,06476				

$s = 1$   $m = 0,0$   $n = 12,0$

### Pruebas MANOVA para Vel Rapida

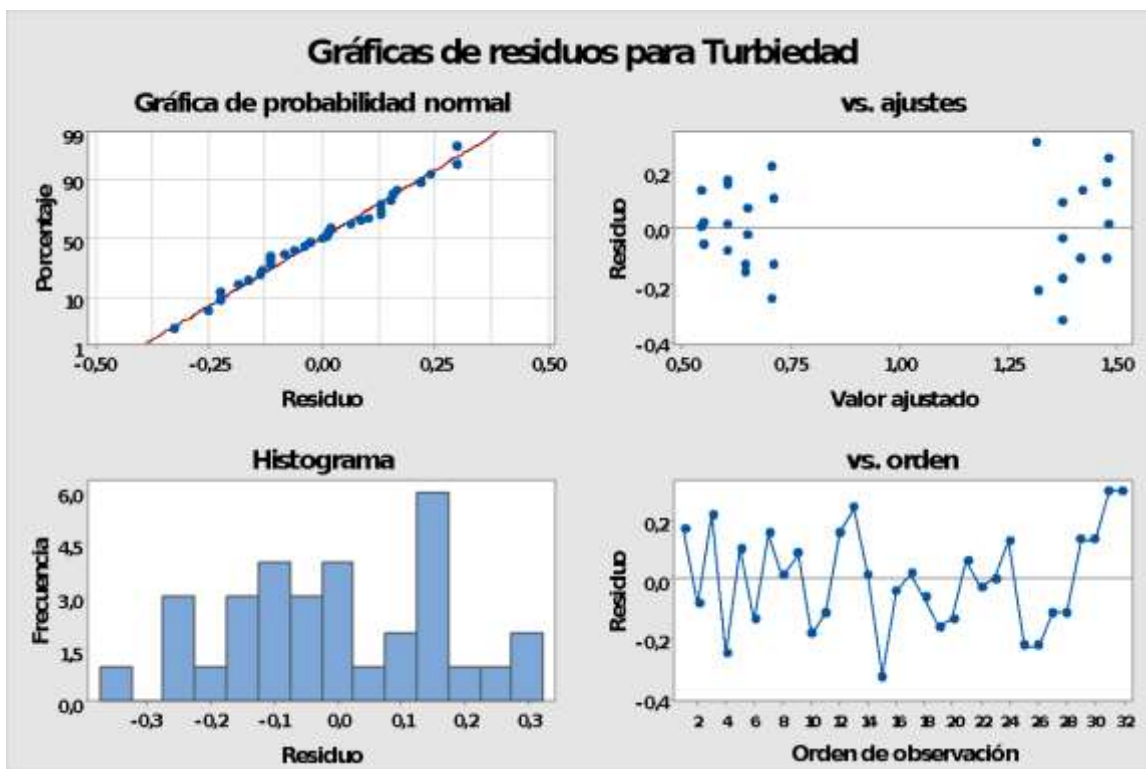
Criterio	Estadística de prueba	F	GL		P
			Núm	Denom	
De Wilks	0,632	7,569	2	26	0,003
Lawley-Hotel	0,58227	7,569	2	26	0,003
De Pillai	0,368	7,569	2	26	0,003
De Roy	0,58227				

$s = 1$   $m = 0,0$   $n = 12,0$

Las variables que inciden transversalmente y significativamente ( $p < 0,05$ ) en la turbiedad y color aparente son:

- Concentración
- Velocidad Rápida

Si bien, en el Post Hoc la velocidad lenta afectaba al color aparente, el MANOVA muestra que la velocidad rápida tiene mayor impacto en la interacción entre las Y.



## Supuestos para turbiedad:

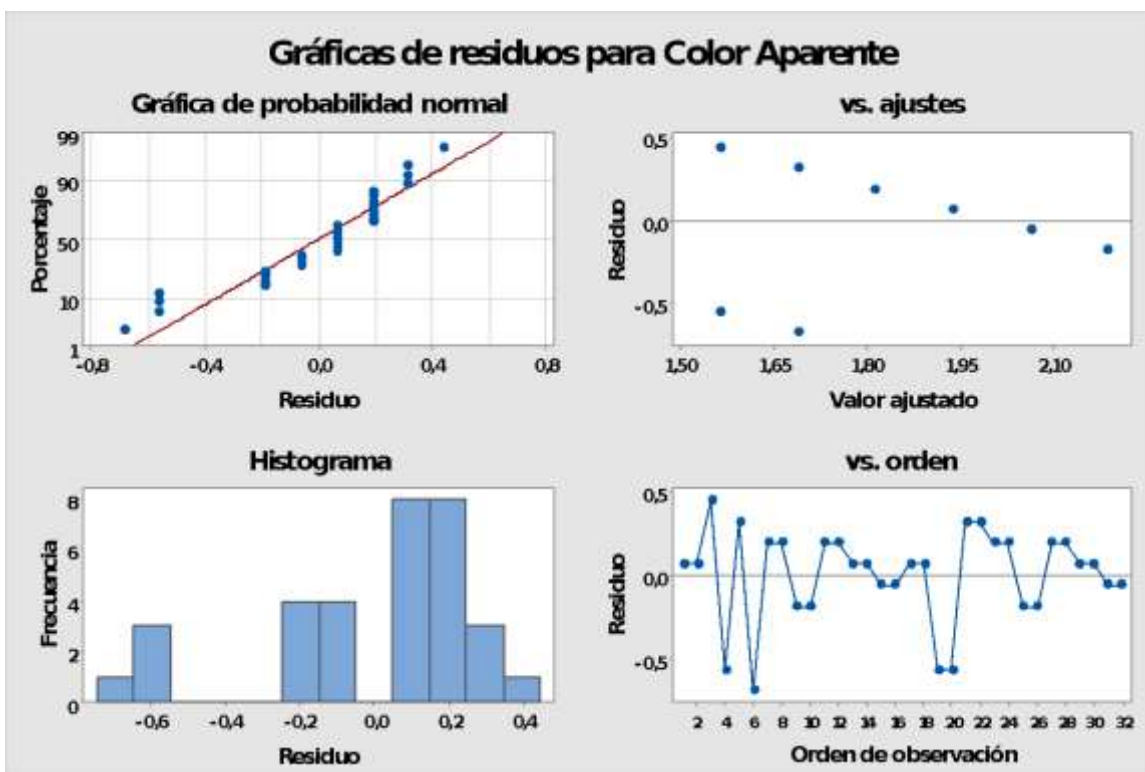
Normalidad:  $H_0$  Los residuos son normales.

Independencia:  $H_1$  Se requiere de una prueba de rachas para corroborar.

### Prueba

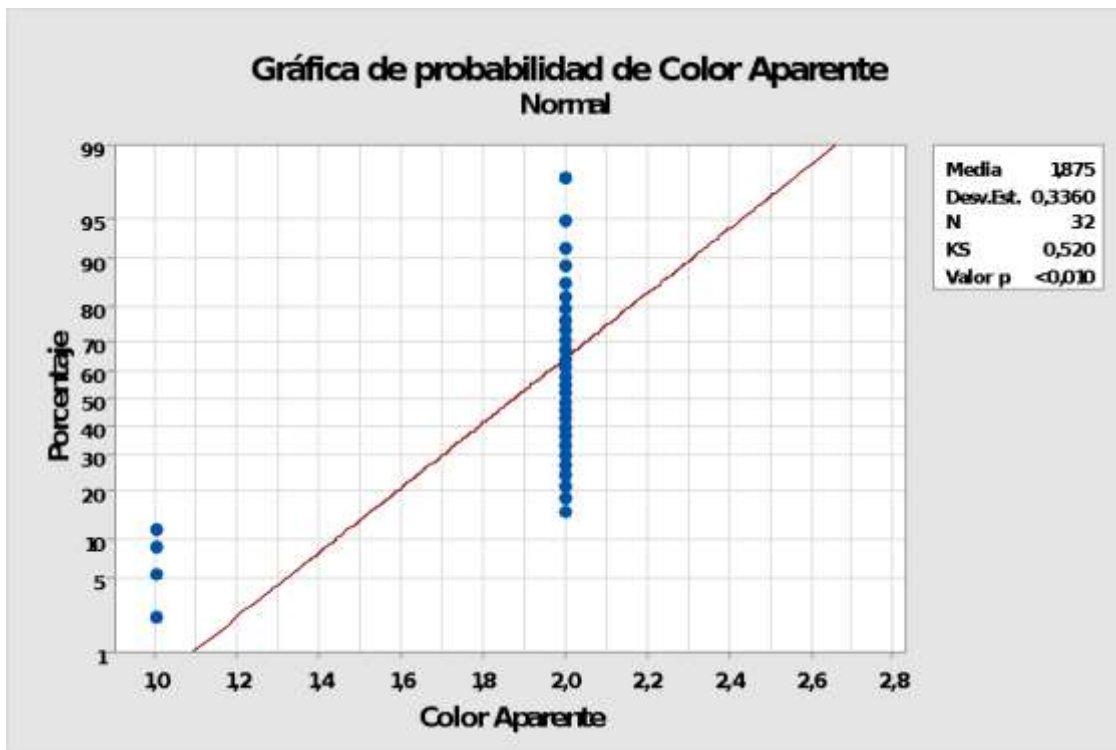
Observado	Esperado	Valor p
4	17	0

$H_1$ : El orden de los datos no es aleatorio



### Supuestos para color aparente:

Normalidad: H1 Se requiere de una prueba Kolmogorov Smirnov para corroborar.



$p < 0,05$ , H1 Los residuos no son normales.

Independencia: H0 Se requiere de una prueba de rachas para corroborar.

### Prueba

Observa do	Espera do	Valor p
7	8	0,39

$H_0$ : El orden de los datos es aleatorio

### Conclusión del manova.

	Turbiedad y Color Aparente			
	pH	Concentración	Vel Rápida	Vel Lenta
<b>Maíz</b>	Significativa	Significativa	No significativa	No significativa
<b>Trigo</b>	No significativa	Significativa	No significativa	Significativa
<b>Industrial</b>	No significativa	Significativa	Significativa	No significativa

	Color Aparente		Turbiedad	
	Normalidad	Independencia	Normalidad	Independencia
<b>Maíz</b>	Si	Si	Si	No
<b>Trigo</b>	No	Si	Si	No
<b>Industrial</b>	No	Si	Si	No

1. Se evidencian diferencias entre la interpretación Post Hoc (una Y) y MANOVA (dos Y). Específicamente para la velocidad rápida y lenta.
2. El pH solo afecta la interacción entre turbiedad y color aparente del coagulante de maíz.
3. La concentración afecta la interacción entre turbiedad y color aparente de los tres coagulantes.
4. Los residuos de la turbiedad no son aleatorios, lo que determina la presencia de causas especiales.
5. Los residuos del color aparente no son normales para los coagulantes de Trigo e Industrial. Siguen otra distribución.



## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

Por medio de un análisis de Anova realizado para los tres tratamientos maíz trigo y coagulante industrial se pudo identificar que con una confianza del 95% Anova permitió determinar que el P-valor es superior a  $\alpha$  0,05 el caso real del estudio con niveles de confianza del 95%.

En el análisis Anova determinó que cumple con los supuestos de significancia, homogeneidad y varianza e independencia de las variables de estudio vs las variables de respuesta de manera positiva con un P-Valor > 0,05

Mediante un análisis de comparaciones de medias Post Hoc Tukey al medir las interacciones de las variables vs la remoción de los parámetros de turbiedad y color aparente para los coagulantes naturales expreso para el coagulante de maíz una significancia en el pH y la concentración, en el del trigo en la concentración y en el coagulante industrial en el pH y la velocidad de agitación lenta respecto a la variable de color aparente. En cuanto a la variable de turbiedad para el maíz fue en el PH, concentración y velocidad de agitación rápida; en el coagulante del trigo impacta en la concentración y velocidad de agitación rápida, en el coagulante industrial en la concentración.

El modelo estadístico con el Manova determinó que los coagulantes naturales expresan un nivel de confianza del 95% se pudo identificar para el coagulante de maíz una significancia den el pH y la concentración con un porcentaje de remoción del 92,4% para turbiedad y del 94,9 para color aparente. El coagulante

del trigo identifico que las variables de concentración y velocidad lenta tienen una significancia sobre los parámetros de estudio obteniendo un porcentaje de remoción del 87,4% para turbiedad y 88,1% para color aparente respectivamente el coagulante industrial obtuvo porcentajes superiores al 90% en los dos parámetros de estudio. Lo cual los coagulantes naturales son comparables con el industrial ya que presentan excelentes porcentajes de remoción superiores al 80%.

Se puede concluir que los coagulantes naturales son adecuados para el tratamiento de aguas, debido a su poder de coagulación-floculación el maíz y el trigo son almidones que se pueden extraer y gelatinizar de manera fácil. Su poder de rendimiento para el almidón de maíz es de 7,46%, y para el almidón del trigo 7,10% no presentaron buen rendimiento, pero sus características indican una calidad óptima para emplearlo como coagulante en la potabilización de agua.

El coagulante a base de maíz y trigo es apto para usarse como coagulante en la depuración de aguas veredales o acueductos sin ningún tipo de tratamiento, pues remueve altos porcentajes de turbiedad y color aparente siempre y cuando se utilice dentro de un sistema de tratamiento completo que cuente con las etapas de pretratamiento, tratamiento secundario y terciario, De lo contrario puede usarse como ayudante de coagulación para reducir significativamente las dosis de productos químicos usados en estos procesos de tratamiento y mejorar sus rendimientos.

Los coagulantes naturales emergen de manera importante en el tratamiento de agua cada día que se estudia a profundidad la importancia de estos y su

aplicación, presentan propiedades importantes como un aporte esencial en la clarificación del agua, en el caso del maíz y el trigo sirven de manera importante en la eliminación de sólidos coloidales y color. Pueden ser utilizados en la fase de coagulación para el tratamiento de agua, pueden ser un sustituto importante respecto a los coagulantes industriales, ya que son menos contaminantes y dañinos al medio ambiente ya que sus propiedades de remoción son superiores al 80%.

### **Recomendaciones**

Se busca que en el proceso de lavado sea mucho más homogéneo para no tener una pérdida grande de masa y que afecte el rendimiento de la masa final, se sugiere realizar un solo lavado a la harina obtenida.

La temperatura, juega un papel importante a la hora de secar los coagulantes de maíz y trigo para que queda totalmente compacta a la hora de macerar y así no tener una pérdida importante para la obtención del coagulante

Se recomienda a la hora de realizar la maceración para obtener el polvo fino en la preparación del coagulante, reemplazar este paso con una licuadora y hacerlo en seco, esta harina es más fina y permite una mejor solubilidad del producto.

Se recomienda ampliar los estudios del maíz y el trigo como coagulante en el tratamiento de aguas veredales, empleando concentraciones diferentes del polímero y tomando efluentes de diversas actividades productivas, pues sus propiedades hacen que sea una alternativa eficiente y sustentable para este tipo de procesos.

Se sugiere avanzar en diferentes métodos de obtención del coagulante de maíz y trigo para obtener resultados importantes en el tratamiento de agua.

Se debe promover el uso del maíz y trigo como coagulante o ayudante de coagulación en los procesos de tratamiento para otras industrias, para disminuir el uso químico en este tipo de procesos.

La clarificación es un proceso fundamental en el tratamiento de aguas residuales industriales; en el mercado existen coagulantes convencionales que, si bien son efectivos en la desestabilización de las partículas coloidales, tienen efectos adversos en el medio ambiente y la salud, por eso alternativas convencionales como los coagulantes polimerizados a base de productos naturales son una buena alternativa para lograr mejores desempeños en los procesos de clarificación.

## Bibliografía

Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades. (s.f). *Resumen de salud pública-*

*Aluminio*. Recuperado el 31 de 08 de 2017, de

[https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs22.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs22.html)

Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua. Coagulación y Floculación*. (SEDAPAL, Ed.)

Recuperado el 30 de 09 de 2017, de

[http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)

ANGARITA, Y. A. (Septiembre de 2013). *EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO*

*DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE GARZÓN – HUILA*. Obtenido de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11706/Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20planta%20de%20tratamiento%20de%20agua%20potable%20del%20municipio%20de%20Garz%C3%B3n%20-%20Huila.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Flaten, TP (2001). Aluminium as a risk factor in Alzheimer´s disease, with emphasis on drinking water.

Aparicio, M. A. (2013). *Caracterización fisicoquímica de los almidones nativos y modificados de yuca (Manihot esculenta Crantz), camote (Ipomeae batata Lam) y plátano valery (Musa cavendish)*. México: Tesis Doctoral, Universidad Veracruzana.

Arboleda V., J. C. (1975). *Polimeros Naturales y su aplicación como ayudantes de floculación*.

Peru: CentroPanamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

Barrenechea, A. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Capítulo 4 Coagulación.*

Recuperado el 22 de 09 de 2017, de

<http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

Betancur-Ancona, D. (2001). Caracterización Molecular, Nutricia y Funcional de Almidones de

*Phaseolus lunatus* y *Mucuna pruriens*. *Tesis (Doctorado en Ciencias, Alimentos).*

Mexico: Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas.

Brown, I. L. (2019). Applications and Uses of Resistant Starch. *Journal of AOAC*

*INTERNATIONAL*, 721-732.

CEPIS. (1975). *Polimeros naturales y su aplicacion como ayudantes de floculacion.* Lima,

Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Choy, S. Y., Prasad, K. N., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., & Ramanan, R. N. (2016).

Performance of conventional starches as natural coagulants for turbidity removal.

*Ecological Engineering*, 352-364.

Cogollo F, J. M. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados. *Revista*

*UNAL*, 78(165), 1-9. Recuperado el 22 de 09 de 2017, de

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133>

De Vargas, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida.*

Recuperado el 30 de 09 de 2017, de

<http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

Diaz Claros, J. (2014). *Coagulantes- Floculantes organicos e inorganicos elaborados de plantas*

*y del reciclaje de la chatarra para el tratamiento de aguas contaminadas.* Recuperado el

22 de 09 de 2017, de file:///D:/Downloads/coagulantes-floculantes-organicos-e-inorganicos-elaborados-de-plantas-y-del-reciclaje-de-la-chatarra-para-el-tratamiento-de-aguas-contaminadas%20(1).pdf

Dominguez Amoroch, M. F. (2010). *Optimización de la coagulación- floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional campo alegre-Cajasan.*

Recuperado el 10 de 10 de 2017, de

[https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/848/digital\\_19174.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/848/digital_19174.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ellis, R. C. (1998). Starch production and industrial use. *Sci Food Adric*, 77, 289.

F. He, D. Z. (2005). Preparation and Characterization of a New Class of Starch-Stabilized Bimetallic Nanoparticles for Degradation of Chlorinated Hydrocarbons in Water. *Environ. Sci. Technol* , 3314-3320.

Fontanills Seisedos, Luis Antonio. Una tecnología apropiada para la clarificación de aguas de consumo humano en poblaciones periurbanas y rurales. Tesis de Maestría.1998

Gomez Puentes, N. A. (2005). *Remoción de materia orgánica por coagulación- floculación.*

Recuperado el 10 de 10 de 2017, de

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1214/1/nestoralejandrogomezpuentes.2005.pdf>

GUAN, J., & HANNA, A. M. (2004). Extruding foams from corn starch acetate and native corn starch. *Biomacromolecules*, 2329-2339.

Jia-QianJiang. (2015). The role of coagulation in water treatment. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 36-44.



- KNUTZON, C. A., & GROVE, M. J. (1994). Rapid method for estimation of amylose in maize starches. *Cereal Chemistry*, 469.
- Lenntech. (s.f). *Aluminio*. Recuperado el 23 de 09 de 2017, de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>
- MikaSillanpää, A. M. (2010). Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 189-197.
- Miller, S., Fugate, E., Oyanedel, V., Smith, J., & Zimmerman, J. (2008). Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia* spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment. *Environmental Science Technology*, 4274 - 4279.
- MINSALUD. (2019). Informe Nacional De La Calidad Del Agua Para Consumo Humano – INCA 2017
- Murphy, B. L. (2009). *Química la ciencia central*. México: Pearson Education .
- NTC Norma Técnica Colombiana NTC 3903*
- Ogunsona, E., Ojogbo, E., & Mekonnen, T. (2018). Advanced material applications of starch and its derivatives. . *European Polymer Journal*, 570-581.
- Olivero, R, Mercado, I., & Montes, L. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción + Limpia*. , 19-27.
- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*.

- P. Raveendran, J. F. (2003). Synthesis and stabilization of metal nanoparticles. *Am. Chem Soc*, 13940-13941.
- Quiñones & Rojas (2017). Diseño del Plan de Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de La Vereda El Tobal, Subachoque. Proyecto de Grado para Optar al título de: ingeniero ambiental. Universidad Santo Tomas. Recuperado de:  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2660/Quinonesdavid2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramirez, H., & Jaramillo, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento de agua. 136-153. Recuperado el 31 de 08 de 2017, de  
<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/viewFile/1303/1359>
- Restrepo, H. (2009). *Evaluación del proceso de Coagulación- Floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. (U. N. Colombia, Ed.) Recuperado el 30 de 09 de 2017, de  
[http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239\\_2009.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf)
- Rice, E., Baird , R., & Eaton, A. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23 ed.).
- Ríos, A (2017). Diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Agua del Municipio de Guataquí Cundinamarca. Proyecto de grado para optar al título de: Tecnología En Gestión Ambiental Y Servicios Públicos. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de:  
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7146/1/Rodr%C3%ADguezTafurAnderssonDavid2017.pdf>

Servyeco. (s.f). *Coagulantes: definición y tipos*. Recuperado el 07 de 10 de 2017, de

<http://www.servyeco.com/coagulantes-definiciones-y-tipos-servyeco.html>

Tafur, L., & Quevedo, R. (2014). *Alternativa para el tratamiento de aguas residuales cromadas*

*con quitosano extraído del exoesqueleto del camarón*. Ibagué: Universidad del Tolima.

Recuperado el 06 de 01 de 2020, de <http://repository.ut.edu.co/handle/001/1250>.

Tetlow, I. J. (2004). Recent developments in understanding the regulation of starch metabolism

in higher plants. *J. Exp. Bot*, 2131-2145.

UNICEF. (s.f). *Agua, saneamiento e higiene*. Recuperado el 31 de 08 de 2017, de

[https://www.unicef.org/spanish/wash/index\\_3951.html](https://www.unicef.org/spanish/wash/index_3951.html)

Usefi, S. (2019). The Performance of Starch as a Natural Coagulant for Turbidity Removal from

Wastewater in Stone Cutting Industry. *Environmental Pollutants*, 17-26.

WANG, L. Z., & WHITE, P. J. (1994). Structure and properties of amylose, amylopectin and

Intermediate materials of oat starches. *Cereal Chemistry*, 263-268.

Water Technologies GmbH. (2016). *Tratamiento del agua*. Obtenido de

<https://www.tratamientodelagua.com.mx/coagulantes-para-tratamiento-de-agua/>

## Anexos

### Anexos 1. Registro fotográfico

#### Anexo 6.1. Proceso de obtención del almidón de maíz y trigo

**Fotografía 3:** Harina de maíz obtenida de la molienda (500g)



**Fotografía 4:** Harina de trigo obtenida de la molienda (500g)



**Fotografía 5:** Mezcla de harina de maíz y trigo con NaOH 0,1%



**Fotografía 4:** Proceso de licuado de la harina de maíz y trigo con NaOH 0,1%

Harina de maíz licuada con NaOH



b) Harina de trigo licuada con NaOH



**Fotografía 7:** Proceso de Tamizado de la suspensión de harina de maíz y trigo con NaOH 0,1% empleando malla N° 100 (0,150 mm).



a) Harina de maíz malla N° 100



B) Harina de trigo, malla N°100

**Fotografía 8:** Proceso de Tamizado de la suspensión de harina de maíz y trigo con NaoH 0,1% empleando malla N° 200 (0,075 mm).



a) Harina de maíz malla N° 200



b) Harina de trigo malla N° 200

**Fotografía 9:** Proceso de centrifugado de harina de maíz y trigo con NaoH 0,1% después de emplear malla N°100 y 200 (0,150 y 0,075 mm).



**Fotografía 10:** Sobrenadante fase sólida y la fase acuosa, de la harina de maíz y harina de trigo



a) Centrifugado Harina de maíz



b) Centrifugado harina de trigo

**Fotografía 11:** Extracción del almidón del maíz y el trigo después del proceso de centrifugado final



a) Harina de maíz para secado



b) Harina de trigo para secado



**Fotografía 12:** Proceso de secado en horno a 40-45°C



**Fotografía 13:** Proceso de pesaje de la harina maíz y trigo



a) Pesaje harina de maíz

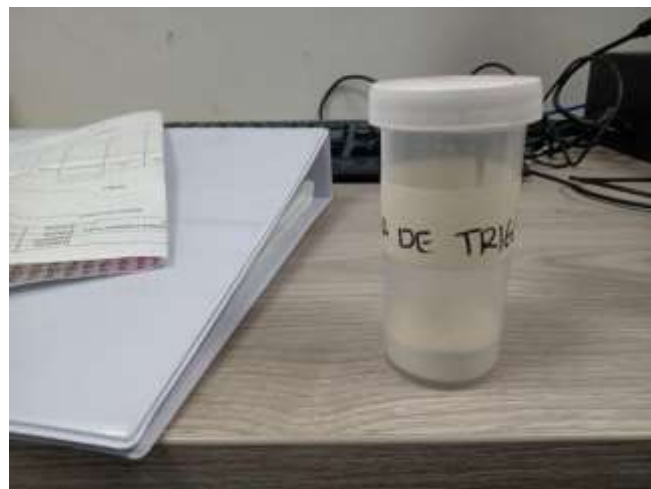


b) pesaje de harina de trigo

**Fotografía 14:** Almacenamiento de la harina de maíz y trigo



a) Almacenamiento harina de maíz



b) Almacenamiento harina de trigo

## Anexo 6.2. Proceso de gelatinización de la suspensión del almidón de maíz y trigo

**Fotografía 1:** Mezcla de 2000 mg del almidón de maíz y trigo con cerca de 10 a 20 ml de agua destilada



a) Mezcla con harina de maíz



b) mezcla con harina de trigo

**Fotografía 2:** Mezcla de NaOH con la harina maíz y trigo



a) Harina de maíz con NaOH



b) Harina de trigo con NaOH

**Fotografía 3:** Gelatinización de la suspensión de la harina de maíz y trigo



a) Gelatinización del maíz



b) Gelatinización del trigo.

**Fotografía 4:** Gelatinización de la suspensión en un balón volumétrico de 100 ml aforado de la harina de maíz y trigo



a) Coagulante a base de maíz



b) Coagulante a base de trigo

### Anexo 6.3. Ensayo del Test de Jarras

**Fotografía 1:** Toma de la muestra, para el ensayo de jarras



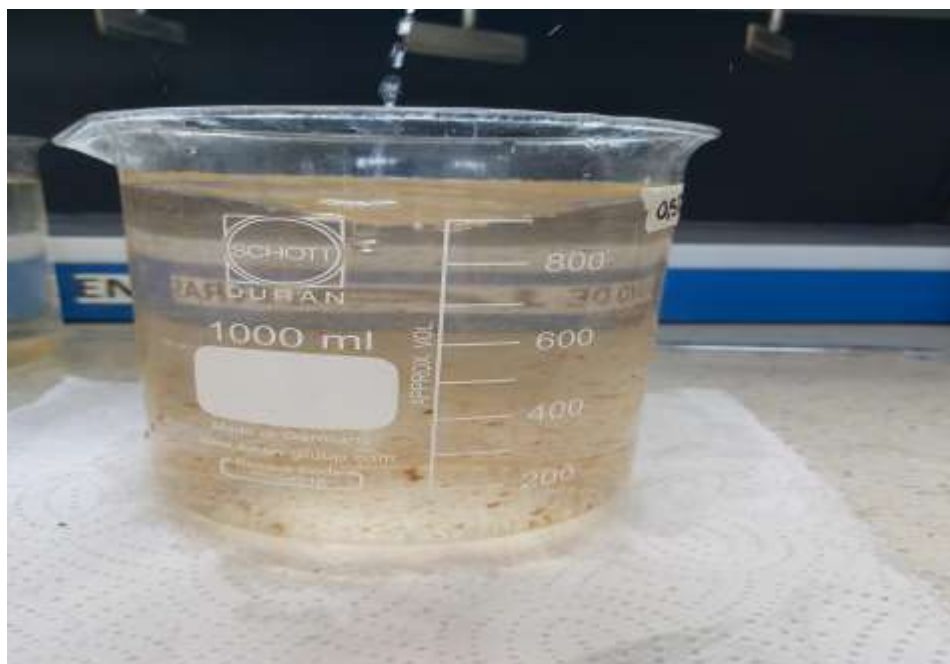
a) Acueducto veredal de Madrid Cundinamarca



**Fotografía 2:** Vaciado y mezclado de la muestra en un recipiente de capacidad de 100 lts



**Fotografía 3:** Muestra de agua trasvasada a Beaker de 1000 ml



**Fotografía 4:** Proceso de aplicación del coagulante

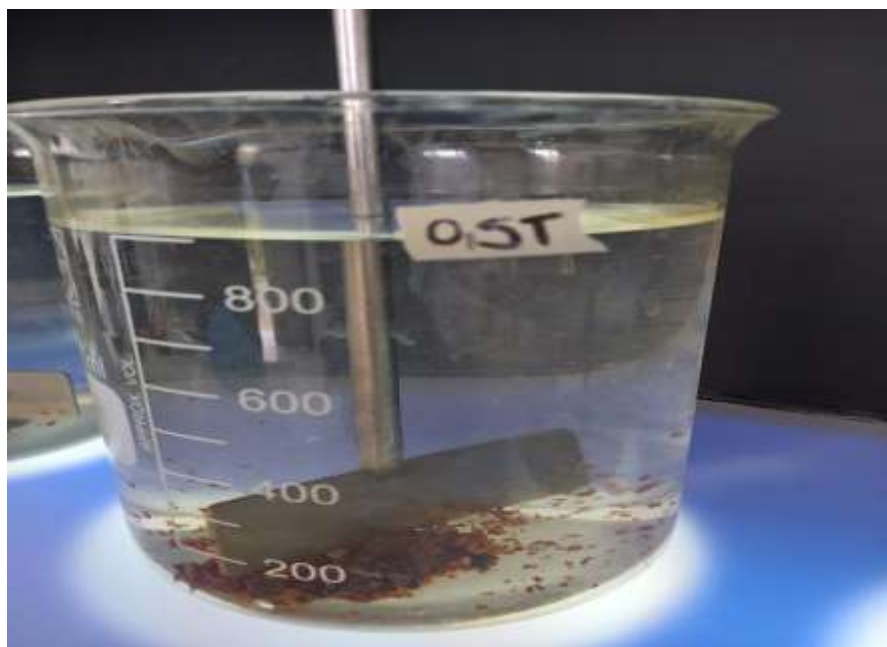




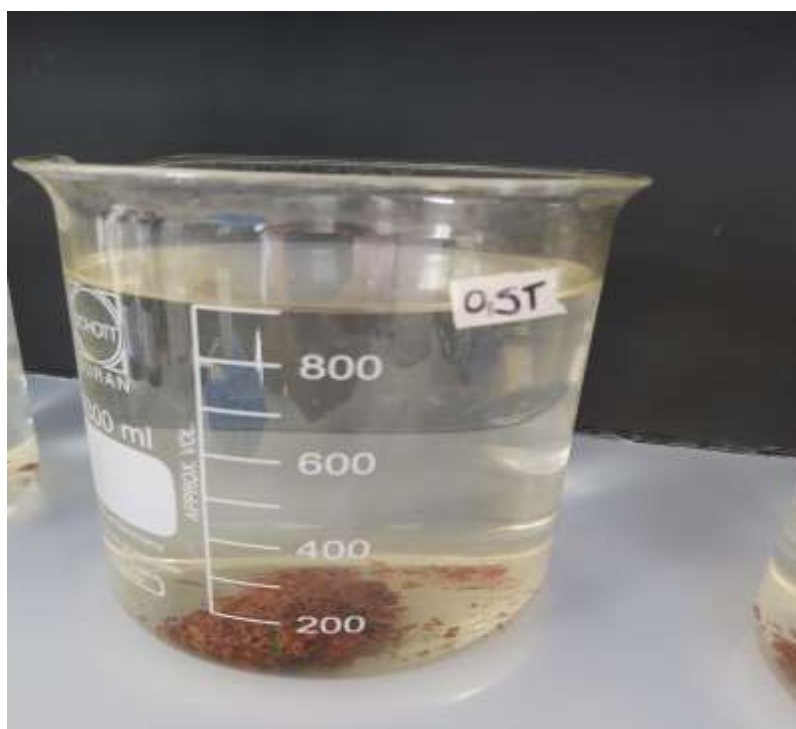
**Fotografía 5:** Montaje del test de jarras



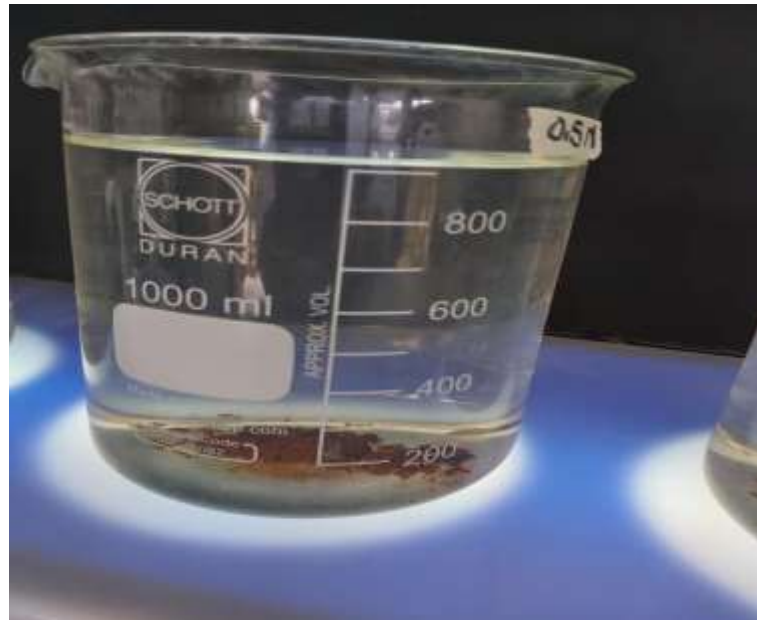
**Fotografía 6:** Muestra de agua en proceso de sedimentación del coagulante a base de maíz



**Fotografía 7:** Muestra de agua en proceso de sedimentación del coagulante a base de trigo



**Fotografía 8:** Muestra de agua en proceso de sedimentación del coagulante de sulfato de aluminio



## ANEXO 6.4. Proceso de lectura de Turbiedad y Color Aparente

**Fotografía 1:** Toma de lectura de turbiedad para los procesos de coagulación



**Fotografía 2:** Equipo de medición de turbiedad



**Fotografía 3:** Toma de lectura de color aparente para los procesos de coagulación



**Fotografía 4:** Equipo de medición de Color aparente (Espectrofotómetro)

