

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE  
MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA  
AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS TANINOS DE  
*Caesalpinia spinosa* y *Vachellia farnesiana* EN LA  
CLARIFICACIÓN DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO,  
JAZÁN- AMAZONAS**

**Autor(a): Bach. Lady Rojas Daza**

**Asesor: Mg. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje**

**Registro:**

**CHACHAPOYAS-PERÚ**

**2022**

## DEDICATORIA

*... A la razón de mi vivir... Mi Madre.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Mi más sincero agradecimiento al laboratorio de aguas y suelos (INDES-CES)-UNTRM, por permitirme utilizar sus instalaciones, así también agradezco a mi asesor Mg. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje, a los miembros el jurado y a todos aquellos que me brindaron conocimientos para mi desarrollo como profesional y como un miembro importante en la sociedad.*

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI**

*Rector*

**Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN**

*Vicerrector Académico*

**Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN**

*Vicerrectora de Investigación*

## Visto bueno del Asesor

En mi calidad de docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, yo Ing. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje, hago constar que he asesorado la elaboración del informe de tesis titulado: Evaluación de la Eficiencia de los Taninos de *Caesalpinia spinosa* y *Vachellia farnesiana* en la Clarificación del agua para Consumo Humano, Jazán- Amazonas-2022 de la tesista Lady Rojas Daza, Egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNTRM-Amazonas.

Se da el **visto bueno** al mencionada Tesis, dándole pase para que sea sometido a la revisión del jurado evaluador, comprometiéndome a supervisar el levantamiento de las observaciones que se formulen, para su posterior sustentación.

Chachapoyas, 10 de enero del 2022



---

Ing. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje

## **Jurado Evaluador**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ricardo E. Campos Ramos', enclosed within a circular scribble.

**Dr. Ricardo Edmundo Campos Ramos**

**Presidente**

A highly stylized handwritten signature in blue ink, likely belonging to Martha Steffany Calderón Rios.

**Dra. Martha Steffany Calderón Rios**

**Secretario**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gino Alfredo Vergara Medina', with a horizontal line drawn below it.

**M.sc. Gino Alfredo Vergara Medina**

**Vocal**

# CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



REGLAMENTO GENERAL  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

## ANEXO 3-0

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Evaluación de la eficiencia de los taninos de *Caesalpinia spinosa* y *Vachellia*  
*farnesiana* en la clarificación del agua para consumo humano, Jazán- Amazonas.

presentada por el estudiante ( )/egresado (X) Lady Rojas Daza

de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

con correo electrónico institucional 7337026241@UNTRM.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- La citada Tesis tiene 20 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene \_\_\_\_\_ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas, 12 de enero del 2022



SECRETARIO

VOCAL

PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....



## Índice

<b>Resumen</b> .....	xiii
<b>Abstract</b> .....	xiv
<b>I</b> Introducción.....	15
<b>II</b> Materiales y Métodos .....	17
2.1 Lugar de estudio.....	17
2.2 Materiales.....	18
2.3 Diseño de investigación .....	19
2.4 Metodología .....	19
2.5 Método para recolección de muestras de agua.....	23
2.6 Métodos para determinar los parámetros fisicoquímicos.....	24
2.7 Análisis de datos.....	28
<b>III</b> Resultados.....	30
<b>IV</b> Discusión .....	56
<b>V</b> Conclusiones.....	58
<b>VI</b> Referencias Bibliográficas.....	59

## *Índice de Tablas*

<b>Tabla 1.</b> Materiales, equipos y reactivos utilizados.....	18
<b>Tabla 2.</b> Resultados de análisis físico-químicos y microbiológicos realizado a muestras del distrito de Jazán, Amazonas.....	30
<b>Tabla 3.</b> Parámetro del agua a tratar en el diseño experimental de este estudio. Incluye los valores modificados de los parámetros turbidez, color y pH. ....	30
<b>Tabla 4.</b> Resultados de análisis de turbidez en las diferentes repeticiones. ....	31
<b>Tabla 5.</b> Análisis de varianza de los resultados basados en la turbidez. ....	33
<b>Tabla 6.</b> Tabla de contingencia de especie por dosis.....	34
<b>Tabla 7.</b> Tabla de contingencia de especie por pH.....	35
<b>Tabla 8.</b> Tabla de contingencia de dosis por pH. ....	36
<b>Tabla 9.</b> Resultados de análisis de color en las diferentes repeticiones. ....	40
<b>Tabla 10.</b> Análisis de varianza de los resultados basados en el color. ....	42
<b>Tabla 11.</b> Tabla de contingencia de especie por dosis.....	43
<b>Tabla 12.</b> Tabla de contingencia de especie por pH.....	44
<b>Tabla 13.</b> Tabla de contingencia de dosis por pH. ....	45
<b>Tabla 14.</b> Resultados de análisis de <i>E. coli</i> en las diferentes repeticiones. ....	48
<b>Tabla 15.</b> Análisis de Varianza de los resultados basados en <i>E. coli</i> . ....	50
<b>Tabla 16.</b> Tabla de contingencia de especie por dosis.....	51
<b>Tabla 17.</b> Tabla de contingencia especie por pH.....	52
<b>Tabla 18.</b> Tabla de contingencia de dosis por pH. ....	53

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Mapa mostrando la zona de estudio, el distrito de Jazán, provincia de Bongará, Amazonas.....	17
<b>Figura 2.</b> Flujograma mostrando el proceso de obtención de taninos de <i>Caesalpinia spinosa</i> ..	20
<b>Figura 3.</b> Proceso de extracción de taninos de <i>Caesalpinia spinosa</i> .....	21
<b>Figura 4.</b> Flujograma mostrando el proceso para la extracción de Taninos de <i>Vachellia farnesiana</i> . .....	22
<b>Figura 5.</b> Análisis de pH .....	24
<b>Figura 6.</b> Análisis de Turbidez.....	25
<b>Figura 7.</b> Análisis de Color.....	26
<b>Figura 8.</b> Esquema de modificación de pH para ambas especies <i>Caesalpinia spinosa</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> .....	27
<b>Figura 9.</b> Dosificación de Taninos a diferentes medidas de pH. ....	27
<b>Figura 10.</b> Esquema de la coagulación de las muestras.....	28
<b>Figura 11.</b> Gráfica que muestra la turbidez según las dosis de taninos aplicadas (100 mg/L, 200 mg/L y 300 mg/L) y las especies de donde se obtuvieron los taninos ( <i>Caesalpinia spinosa</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> ).....	34
<b>Figura 12.</b> Gráfica que muestra la turbidez según pH aplicado (3.91, 4.98, 7.71 y 9.55) y las especies de donde se obtuvieron los taninos ( <i>Caesalpinia spinosa</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> ). .....	35
<b>Figura 13.</b> Gráfica que muestra la turbidez según las dosis de taninos aplicadas (100 mg/L, 200 mg/L y 300 mg/L) y el pH. ....	36
<b>Figura 14.</b> Gráfica que muestra el color según las dosis de taninos aplicadas (100 mg/L, 200 mg/L y 300 mg/L) y las especies de donde se obtuvieron los taninos ( <i>Caesalpinia spinosa</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> ).....	43
<b>Figura 15.</b> Gráfica que muestra el color según pH aplicado (3.91, 4.98, 7.71 y 9.55) y las especies de donde se obtuvieron los taninos ( <i>Caesalpinia spinosa</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> ). .....	44
<b>Figura 16.</b> Gráfica que muestra el color (UPC) según las dosis de taninos aplicadas (100 mg/L, 200 mg/L y 300 mg/L) y el pH. ....	45
<b>Figura 17.</b> Gráfica que muestra a <i>E. coli</i> (UFC) según las dosis de taninos aplicadas (100 mg/L, 200 mg/L y 300 mg/L) y las especies de donde se obtuvieron los taninos ( <i>Caesalpinia spinosa</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> ).....	51

**Figura 18.** Gráfica que muestra *E. coli* (UFC) según pH aplicado (3.91, 4.98, 7.71 y 9.55) y las especies de donde se obtuvieron los taninos (*Caesalpinia spinosa* y *Vachellia farnesiana*). ..... 52

**Figura 19.** Gráfica que muestra a *E. coli* (UFC) según las dosis de taninos aplicadas (100 mg/L, 200 mg/L y 300 mg/L) y el pH. .... 53

## Resumen

La presente investigación evaluó la eficiencia de los taninos extraídos de *Caesalpinia spinosa* y *Vachellia farnesiana* utilizados como coagulantes en el tratamiento de agua para consumo humano del distrito de Jazán. Para esto, las muestras fueron extraídas dentro de la planta de agua (sistema de rejas) y; separada por grupos. Para el análisis del pH se utilizó el método del potenciómetro 4500-H+; (APHA, AWWA, WPCF), la turbidez se evaluó mediante nefelometría y el color mediante el método estándar APHA platino-cobalto. Para el análisis microbiológico de *Escherichia coli* el método fue del número más probable (NMP). Los resultados estadísticos basados en un análisis factorial determinaron que existe interacción altamente significativa entre especie, pH y dosis. Basado en esto los taninos con mayor capacidad de coagulación, con respecto al parámetro “turbidez “fueron los obtenidos de *Vachellia farnesiana* a un pH de 7.71, ya que se obtuvo una eficiencia del 56.7 %. Sin embargo, para el parámetro de “color y *E. coli*” los taninos de *Caesalpinia spinosa* mostraron una mayor capacidad de remoción con una eficiencia del 45.3% y 34.85 %, respectivamente.

***Palabras Claves: Caesalpinia spinosa, Eficiencia, Taninos, Vachellia farnesiana.***

## Abstract

The present investigation evaluated the efficiency of the tannins extracted from *Caesalpinia spinosa* and *Vachellia farnesiana* used as coagulants in the treatment of water for human consumption in the district of Jazán. For this, the samples were extracted inside the water plant (grating system) and; separated by groups. For the pH analysis, the 4500-H + potentiometer method was used; (APHA, AWWA, WPFC), the turbidity was evaluated by nephelometry and the color by the standard APHA platinum-cobalt method. For the microbiological analysis of *Escherichia coli* the method was the most probable number (MPN). The statistical results based on a factorial analysis determined that there is a highly significant interaction between species, pH and dose. Based on this, the tannins with the highest coagulation capacity, with respect to the parameter "turbidity" were those obtained from *Vachellia farnesiana* at a pH of 7.71, since an efficiency of 56.7% was obtained. However, for the parameter "color and *E. coli*" the tannins of *Caesalpinia spinosa* showed a greater removal capacity with an efficiency of 45.3% and 34.85%, respectively.

**Keywords:** *Caesalpinia spinosa*, *Efficiency*, *Tannins*, *Vachellia farnesiana*.

## I Introducción

La región de Amazonas está ubicada entre las tres regiones más pobres del país y; el acceso al agua de calidad es tal vez el mayor problema socio económico existente, el 21,0% de población cuenta con red pública fuera de la vivienda, 11,7% utiliza agua de río o manantial, 9,8% utiliza agua de pozo y el 4,7% de las viviendas son abastecidas a través de pileta de uso público (INEI, 2018). En su mayoría esta agua no es apta para consumo humano, el único tratamiento que reciben se hace a base de sulfato de aluminio y cloro, donde el aluminio utilizado como coagulante de manera deficientemente, genera exceso de trazas que se bioacumula dentro del consumidor y genera enfermedades a largo plazo (Fuentes et al., 2016).

La coagulación y floculación son procesos necesarios para la clarificación del agua (Velásquez & Tocuyo, 2018). La coagulación actúa desestabilizando las partículas suspendidas y disminuyendo la fuerza de repulsión entre ellas; la floculación, por su parte, aglutina las sustancias coloidales de mayor tamaño y permite la formación del flog (Baquerizo et al., 2016).

Se ha reportado que el uso de especies naturales como biocoagulantes pueden eliminar eficientemente sólidos disueltos y disminuir la turbidez de agua (Dávila et al. 2017) dejando claro que se puede sustituir los coagulantes químicos por coagulantes con agentes naturales.

Según el SERNAP (2015), existen 25 mil especies de flora dentro del territorio nacional, divididas entre las 11 ecorregiones existentes. En la diversidad florística de Amazonas habitan dos especies con distribución predominantes, *Caesalpinia spinosa* y *Vachellia farnesiana* y que cumplen con las condiciones para ser utilizados como biocoagulantes clarificadores por el contenido de taninos almacenados en sus semillas, hojas y corteza (Marques et al., 2015).

Los taninos de *Caesalpinia spinosa* son polímero encontrado dentro de sus semillas, vainas y tallo que al extraerse se utilizan como floculantes naturales. Esto se realiza mediante el proceso de coprecipitación, en el cual el cloruro férrico funciona como agente coagulante y el tanino de *C. spinosa* como agente floculante, optimizando así el proceso de remoción de contaminantes dentro del agua tratada (Rupay & Laureano, 2018). Además, la goma que contiene las semillas de *C. spinosa* tiene la propiedad, al igual que el sulfato de aluminio, de formar coágulos perfectos, lo que lo potencializa como un coagulante, para disminuir la turbidez, DBO y DQO del agua. Al

contrario del aluminio, estos taninos no alteran el pH del agua, lo que lo hace disminuir costos en posibles tratamientos (Pérez, 2019).

Para una coagulación óptima se requiere de un rango de pH estable (Dávila 2013). Según la turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el cual se obtiene la turbidez más baja, que correspondo a la dosis óptima, cuando la turbidez es alta, la dosis óptima será aumentada; cuando el agua presenta menor turbidez, la dosis será igual o mayor que si la turbidez fuese alta. Además, el uso de estos taninos coagulantes reduce en un 85 % el volumen de lodos generados, esto en comparación con el Policloruro de Aluminio (PCA), debido a que el grado de compactación de los lodos generados por biocoagulantes es superior a las generadas por le PCA (Revelo et al.2015).

Por su parte, los taninos extraídos de *Vachellia farnesiana* eliminan compuestos recalcitrantes existentes en las aguas residuales no domiciliarias, a través de métodos fisicoquímicos como coagulación, floculación y oxidación (Skoronski et al., 2014).

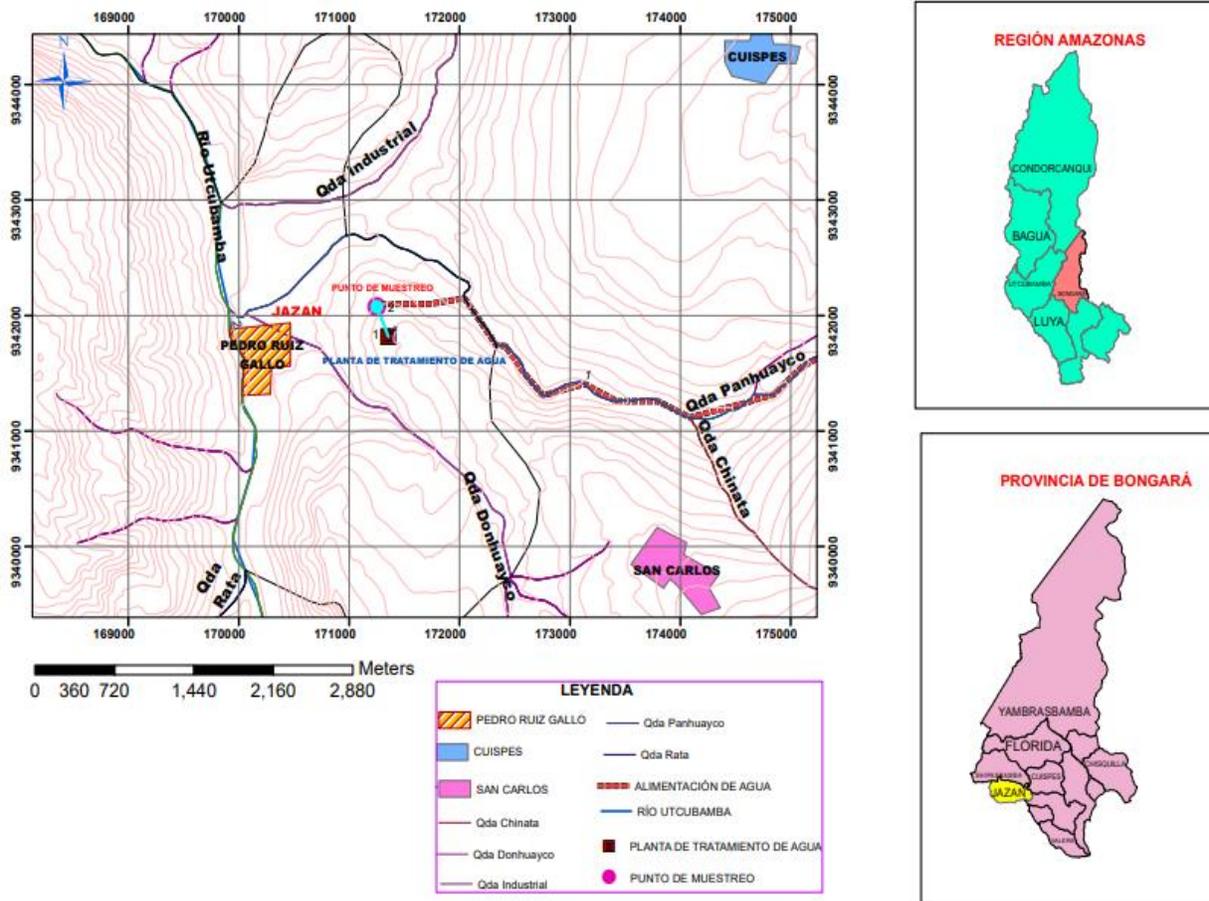
Para determinar si el uso de estos taninos son una alternativa para sustituir los coagulantes químicos, será preciso verificar si tras su aplicación los parámetros físico químicos y microbiológicos se encuentran dentro del rango establecido por los Límites Máximos permitidos para consumo humano. Así lo determina Guzman et al. (2015), que luego de estudiar los taninos de *Vachellia farnesiana*, recomienda su uso como biocoagulantes, basándose en los resultados alentadores obtenidos.

Es recomendable profundizar las investigaciones sobre el uso de biocoagulantes taninicos naturales, ya que representan alternativas accesibles para el tratamiento de aguas. Mediante esta investigación se busca aportar conocimiento al evaluar la eficiencia de los taninos de *Caesalpinia spinosa* y *Vachellia farnesiana* para la clarificación de agua en el distrito de Jazán, esto mediante la obtención de la dosis óptima para la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

## II Materiales y Métodos

### 2.1 Lugar de estudio

El presente trabajo tiene como lugar de estudio al distrito de Jazán, ubicado a 1315 m.s.n.m., el cual cuenta con servicio de agua potable, a través del afluente de la quebrada el Ingenio (Figura 1). El sistema de agua consta de un lugar de captación, un desarenador, un filtro lento y las líneas de conducción; la toma de muestras para su posterior análisis, se realizó dentro del filtro lento.



**Figura 1.** Mapa mostrando la zona de estudio, el distrito de Jazán, provincia de Bongará, Amazonas.

## 2.2 Materiales

### a) Materiales y equipos para la toma de muestras *Caesalpinia spinosa* y *Vachellia farnesiana*

- Tijeras
- Wincha
- Escalera
- Cuerdas

### b) Materiales para la toma de muestras de agua

- Libreta de campo
- Papel para etiquetas
- Plumón
- Cinta masking

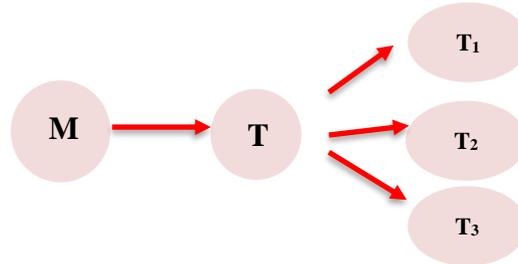
### c) Materiales, equipos y reactivos para el análisis del estudio

**Tabla 1.** Materiales, equipos y reactivos utilizados.

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Vasos de Beacker de 500 ml	pH-Metro	Metanol 10%
Tamizador	Equipo multiparámetro	Acetona 10%
Balanza Analítica	Estufa	Sulfito de sodio al 4%
Cucharillas	Baño María	Alcohol 96%
Pizetas con agua destilada	Molino	Hidróxido de potasio
Pipetas		Ácido Clorhídrico
Papel Aluminio		
Probeta		
Varillas de Agitación		

### 2.3 Diseño de investigación

Esta Investigación es cuantitativa de tipo experimental, y los estudios están basados en los resultados obtenidos en el Laboratorio de aguas de la UNTRM.



**M** = Muestra de Agua

**T** = Tratamiento

**T<sub>1</sub>** = Turbidez

**T<sub>2</sub>** = Color

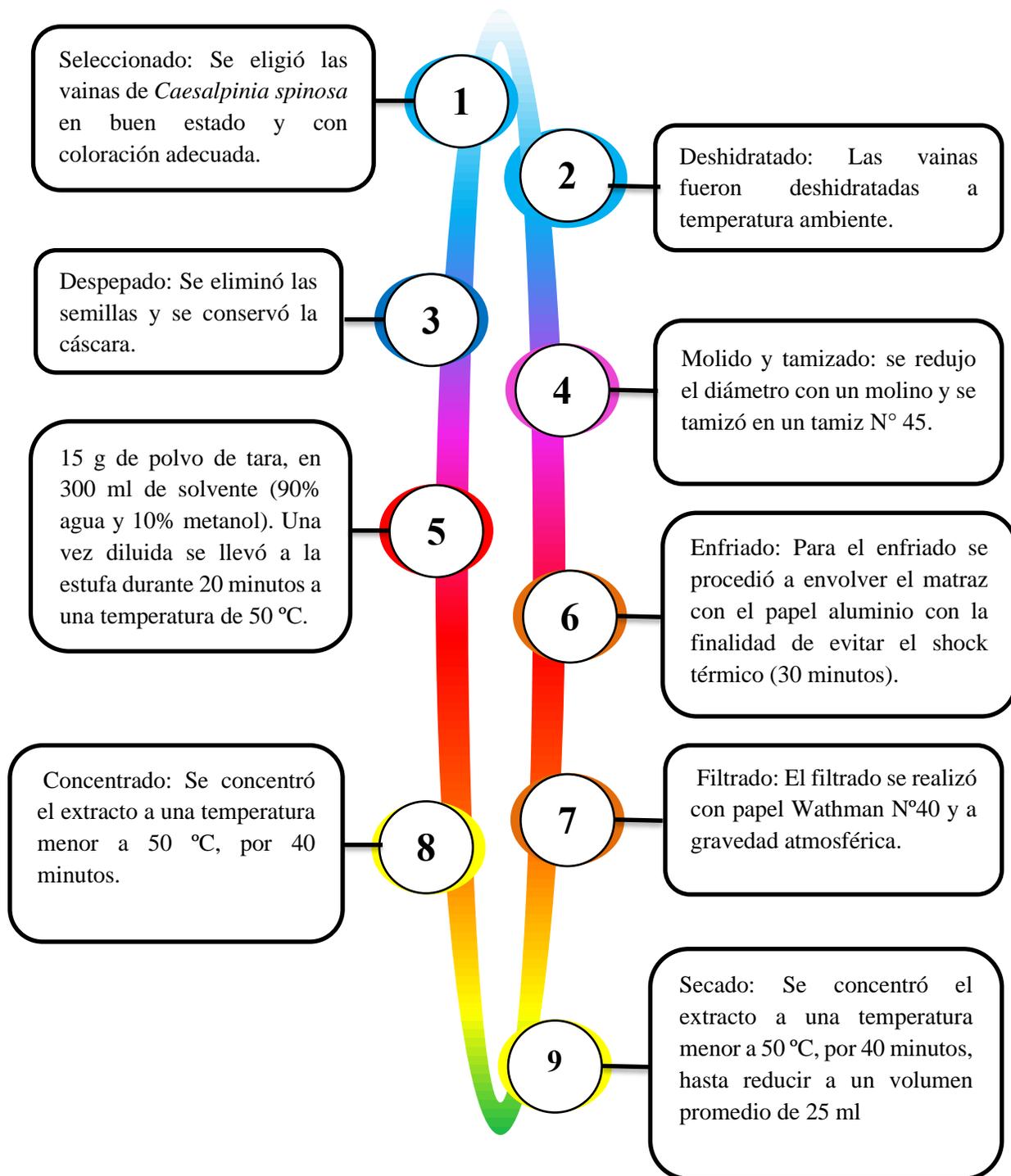
**T<sub>3</sub>** = *E. coli*

### 2.4 Metodología

#### Recolección de muestras de *Caesalpinia spinosa*

La Tara (*Caesalpinia spinosa*) se recolectó, en el sector Achamaqui a inmediaciones de la ciudad de Chachapoyas, en la época de verano, se eligieron vainas con frutos maduros (rojizo a café claro) a punto de caer de las ramas, de 5 a 10 cm de largo y 2 cm de ancho.

## Obtención del Tanino de *Caesalpinia spinosa*



**Figura 2.** Flujograma mostrando el proceso de obtención de taninos de *Caesalpinia spinosa*.



Selección y Deshidratación de las vainas de tara



Molienda y disminución de diámetro



Tamizado



15 g de polvo de Tara



Solvente: 10% Metanol -  
90% agua destilada  
(10% Acetona- 90% agua)  
\* destilada



Concentrado hasta 25 ml  
aproximado



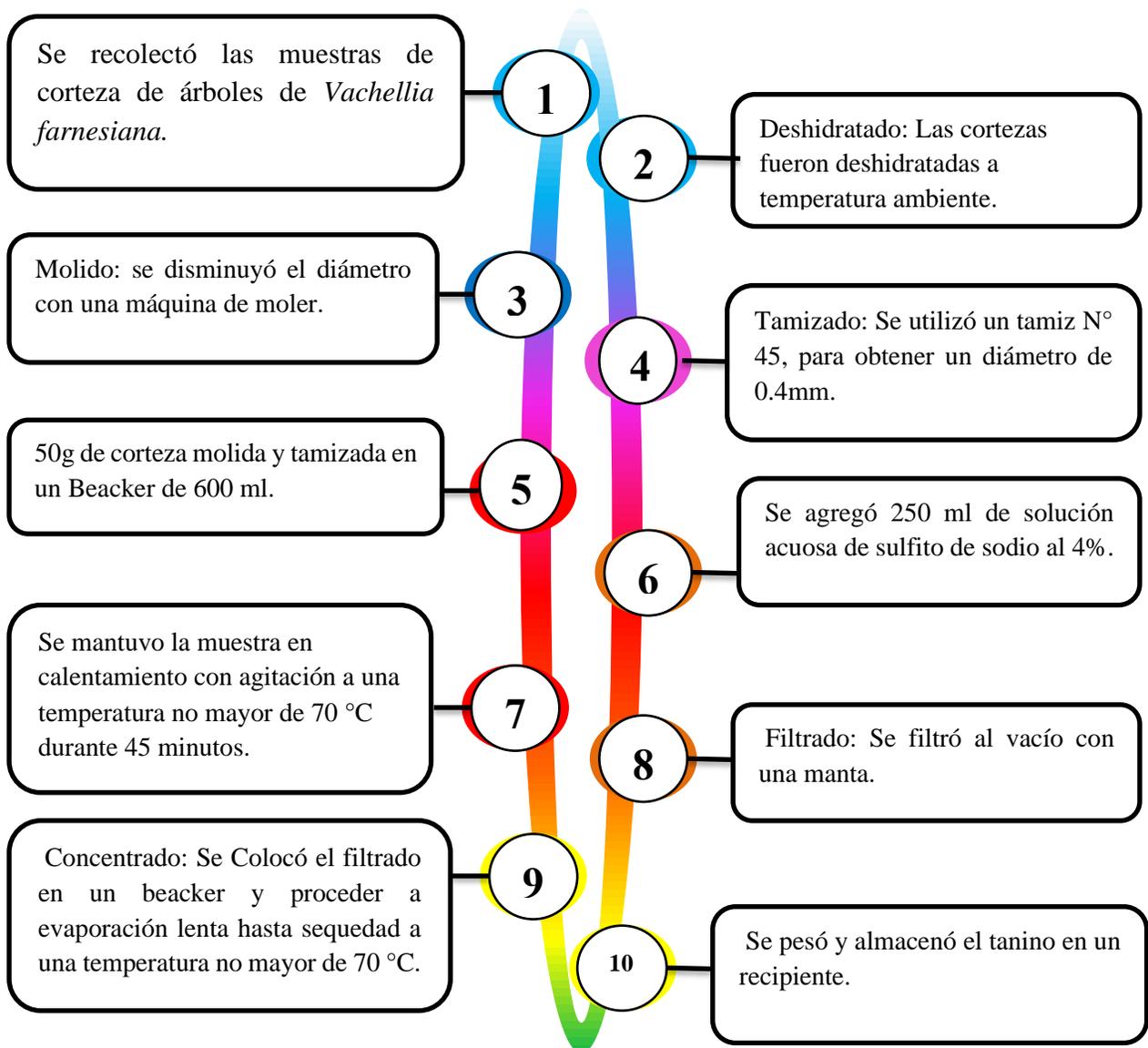
Secado en capsulas de crisol  
y almacenamiento.

**Figura 3.** Proceso de extracción de taninos de *Caesalpinia spinosa*.

### Criterios para recolectar las muestras de *Vachellia farnesiana*

La *Vachellia farnesiana* se recolectó en el sector Achamaqui, en el mes noviembre antes del inicio de las lluvias, se seleccionó de manera aleatoria, eligiendo, ejemplares jóvenes con basal frondosa, procediendo a extraer la corteza con medidas de 6 cm de ancho y 15 cm de largo.

### Obtención del Tanino de *Vachellia farnesiana*



**Figura 4.** Flujograma mostrando el proceso para la extracción de Taninos de *Vachellia farnesiana*.

## **2.5 Método para recolección de muestras de agua**

### **Puntos de Muestreo:**

Se tomó un punto de muestreo ubicado en la planta de agua del distrito de Jazán. Se siguió la recomendación dada por DIGESA (2015), quien menciona que si el muestreo se da en una fuente que es utilizada para consumo humano, obligatoriamente se debe de hacer un punto de muestreo dentro de la captación.

### **Muestreo:**

El protocolo elaborado por DIGESA, (2015); basado en los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (APHA 1998), menciona los diferentes aspectos bajos las cuales se debe de recolectar una muestra. Una de ellas y la que fue utilizada es la de toma de muestra en corrientes, la que indica que se debe muestrear no en la superficie, ni tampoco a las orillas si no en el centro a una profundidad mayor de 20 cm (dependiendo del parámetro) en contra de la corriente.

Las muestras se recolectaron en noviembre del 2020 en la cual, para el análisis fisicoquímico se recolectaron en depósitos de plástico, sin preservantes, sin necesidad de enjuagar, siempre en contra la corriente y a una profundidad de 30 cm. Para las muestras microbiológicas se utilizó recipientes de vidrio, debidamente esterilizados, de uno y medio litro de capacidad, en total se tomó 3 muestras en tiempos diferentes.

**Rotulado:** Para el rotulado se utilizó plumón indeleble y cinta, describiendo datos como: número de muestra, fecha y hora, ubicación y coordenadas, análisis requerido y el nombre del muestreador.

**Transporte:** Las muestras microbiológicas fueron guardadas en un cooler para evitar posible contaminación, en conjunto con las muestras fisicoquímicas fueron trasladadas en un vehículo desde Jazán hasta las instalaciones del laboratorio de aguas y suelos de la UNTRM-A.

## 2.6 Métodos para determinar los parámetros fisicoquímicos

### Análisis del pH (Potencial de Hidrogeno)

Para el análisis se utilizó el método 4500-H<sup>+</sup>; APHA, AWWA, WPCF del potenciómetro, que mediante un voltímetro muy sensible y a los electrodos conectados a este, generan una corriente eléctrica cuando se sumergen en diferentes soluciones, logrando así determinar la concentración de iones hidrógeno en la solución evaluada.

Uso:

- Se encendió el potenciómetro
- Se extrajo el electrodo cuidadosamente de la solución que lo almacena, y se lavó a chorro con agua destilada (en una pizeta). Evitando el contacto con el contacto con la membrana.
- Se sumergió parte del electrodo dentro de la muestra y se esperó unos segundos hasta su estabilización (hasta que el icono de pH deje de parpadear).
- Obtenido los datos requeridos se enjuaga el electrodo con agua destilada a chorro, se seca a toquecitos y se sumerge el electrodo dentro de la solución preservante.



*Figura 5.* Análisis de pH.

### Análisis de Turbidez

Para este análisis se utilizó la nefelometría, la cual está basada en la medición de la radiación que causan las partículas (sea diluidas o suspendidas), determinando así la potencia de la radiación diseminada en un ángulo diferente a la dirección de la radiación incidente. En cuanto una partícula es alcanzada por un haz de luz, existe una parte de luz que se refleja, otra que es absorbida, otra desviada y una parte es transmitida (García & González, 2013).

**Uso:**

- Se desencajó el multiparámetro para encender el equipo. Se debe cerciorar que se encuentre en la opción para medir “turbidez”.
- En una de las cubetas de calibración se agregó agua destilada y se cerró suavemente. Se puso la cubeta en el compartimiento de medición y se procedió a tapar y a dar lectura, esta será nuestra “muestra cero”.
- En la otra cubeta de calibración se agregó la muestra de agua de estudio, se limpió e introdujo en el compartimiento de medición, luego se tapó (para evitar la filtración de la luz) y procedió a dar lectura.
- Se enjuagó las cubetas con agua destilada para ser guardadas, así mismo se apagó el equipo y se guardó.



**Figura 6.** Análisis de Turbidez.

**Análisis de color**

Para analizar las impurezas en las muestras y complementar los resultados con la turbidez, se realizó el análisis del color aparente donde se utilizó el método 8025: Método Estándar APHA platino-cobalto. Con la ayuda de un multiparámetro (2100Q-HACH) en el laboratorio de aguas y suelos (INDES-CES) de la UNTRM-A.

**Uso:**

- Al momento de encender el equipo se verificó que se encontrara activada la función “color”
- En una de las cubetas de calibración se agregó agua destilada y se cerró suavemente. Se puso la cubeta en el compartimiento de medición y se procedió a tapar y a dar lectura, esta será nuestra “muestra cero”.

- En la otra cubeta de calibración se agregó la muestra de agua de estudio, se limpió e introdujo en el compartimiento de medición, luego se tapó (para evitar la filtración de la luz) y procedió a dar lectura.
- Se enjuagó las cubetas con agua destilada para ser guardadas, así mismo se apagó el equipo y se guardó.

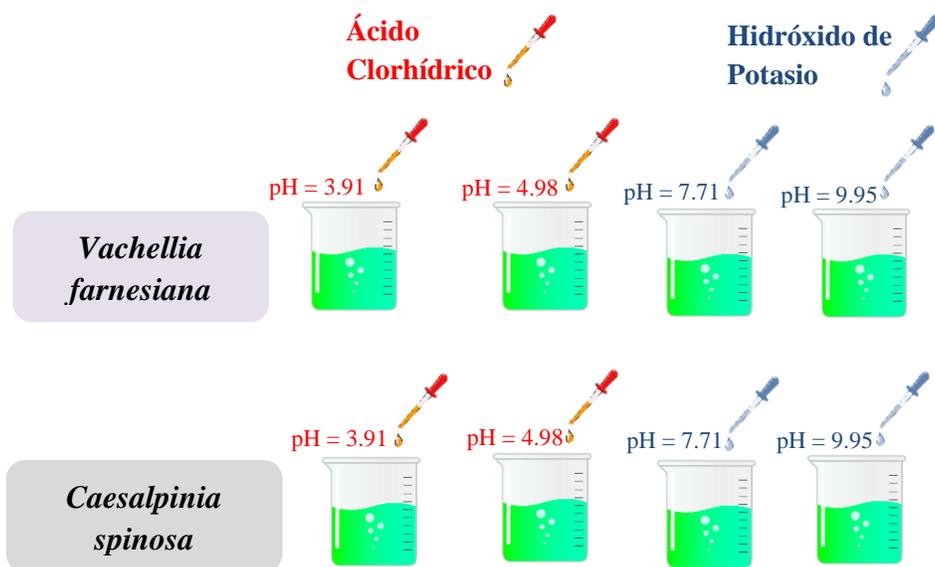


**Figura 7.** Análisis de Color.

### **Dosis óptima de *Caesalpinia spinosa* y *Vachellia farnesiana***

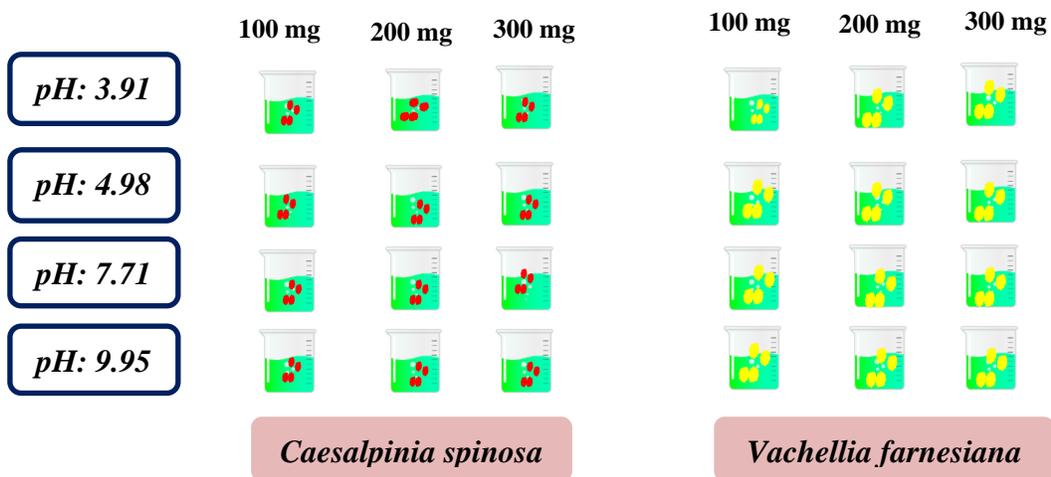
Para el análisis de los coagulantes y evaluación de la eficiencia de los taninos, se trabajó con datos bases extraídos de los análisis de las muestras evaluadas en el laboratorio de aguas y suelos (INDES-CES), estos son la serie de pasos con las cuales se trabajó.

- Para que el coagulante actúe es necesario establecer ciertas condiciones con las cuales funcionará de manera efectiva, por esta razón y por motivos de estudio se inició modificando el pH a diferentes niveles. Se utilizaron 8 vasos de 500 ml, 4 de ellos para *Caesalpinia spinosa* y el resto para *Vachellia farnesiana*. Se hicieron cuatro modificaciones de pH 3.91, 4.98, 7.71 y 9.95. Para aumentar el pH se utilizó hidróxido de potasio (KOH) al 10%, mientras que para disminuir se usó ácido clorhídrico (HCl<sub>2</sub>) al 36%, ambos diluidos homogéneamente dentro de las muestras extraídas en Jazán.



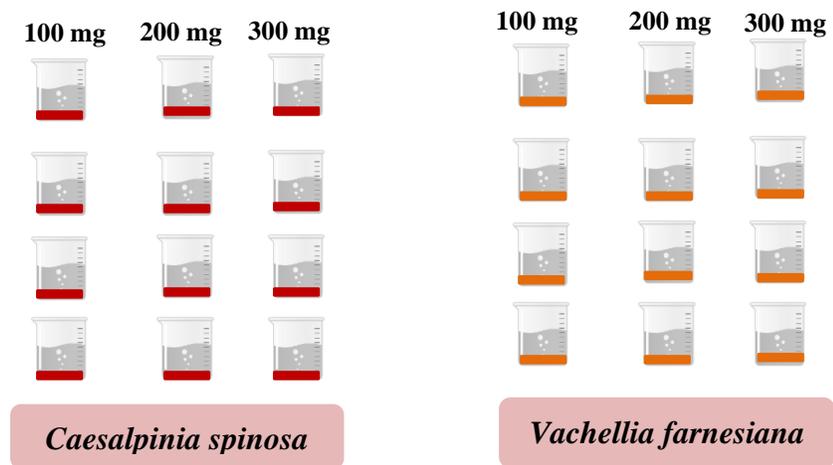
**Figura 8.** Esquema de modificación de pH para ambas especies *Caesalpinia spinosa* y *Vachellia farnesiana*.

- b. Con los pH establecidos se procede a pesar los taninos obtenidos anteriormente, se pesó 100 mg, 200 mg, y 300 mg y se disolvió en los vasos de agua (con pH modificado previamente descrito) agitando constantemente por espacio de 5 min.



**Figura 9.** Dosificación de Taninos a diferentes medidas de pH.

- c. Se dejó reposar las muestras por un lapso de 24 horas, para posteriormente ser analizadas física, química y microbiológicamente.



**Figura 10.** Esquema de la coagulación de las muestras.

## 2.7 Análisis de datos

### Hipótesis:

Para **Tratamiento**:  $H_0 = u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5 = u_6 = u_7 = u_8$  (No existe diferencia entre los tratamientos)

$H_a$  = al menos dos de los tratamientos son diferentes

Para **Especie (E)** =  $H_0 = E_1 = E_2$

$$H_a = E_1 \neq E_2$$

Para **Dosis (D)** =  $H_0 = D_{100} = D_{200} = D_{300}$

$$H_a = D_{100} \neq D_{200} \neq D_{300}$$

Para **pH (P)** =  $H_0 = P_{3.91} = P_{4.98} = P_{7.71} = P_{9.55}$

$H_a$  = al menos 2 son diferentes

Para  $E^*D = H_0 = E^*D = 0$

$$H_a = E^*D \neq 0$$

Para  $E^*P = H_0 = E^*P = 0$

$$H_a = E^*P \neq 0$$

Para  $D^*P = H_0 = D^*P = 0$

$$H_a = D^*P \neq 0$$

Para  $E^*D^*P = H_0 = E^*D^*P = 0$

$$H_a = E^*D^*P \neq 0$$

### Análisis de varianza

Donde las diferencias son:

Tipo de Diferencia	Cuando
Significativo (*)	F calculado > F tabulado 5%
Altamente Significativo (**)	F calculado > F tabulado 1%
No significativo (ns)	F tabulado 5% - 1% > F calculado

### Coefficiente de variación (CV)

$$CV = \frac{\sqrt{CMEE}}{x} \times 100$$

Los resultados son confiables si el resultado es menor a 35 %

### Diferencia Mínima Significativa (DMS)

$$DMS = T_t \left( \frac{\alpha}{2}; GLEE \right) * \sqrt{\frac{2CMEE}{n}}$$

cuando en los datos no se obtiene diferencia altamente significativa, no se pueden realizar las pruebas de comparaciones múltiples debido a que los datos son iguales y no existe varianza

### III Resultados

#### Análisis de agua

El reglamento de calidad del agua para consumo humano indica que los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos para el parámetro de turbidez es de 5 UNT, 15 UCV escala pt/Co para color, de 6.5 a 8.5 para Potencial de Hidrogeno (pH) y de “0” UFC/100 mL para el parámetro microbiológico *E. coli*. El resultado de los análisis de laboratorio demuestra que los parámetros turbidez, color y pH se encuentra dentro de los límites establecidos, lo que no sucede con los valores de *E. coli* ya que al exceder en 33 UFC convierte a nuestra muestra en un agua no apta para consumo humano.

**Tabla 2.** Resultados de análisis físico-químicos y microbiológicos realizado a muestras del distrito de Jazán, Amazonas.

<b>Análisis físicoquímicos y microbiológicos</b>				
<b>Parámetros</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultados</b>	<b>Valores LMP</b>
	Turbidez	UNT	7	5
<b>Físicoquímicos</b>	Color	UCV	12	15
	pH	pH	7.5	6.5 - 8.5
<b>Microbiológico</b>	<i>E. coli</i>	UFC/100mL	33	0

Considerando que los resultados en la tabla 2 demuestran que algunos parámetros se encuentran dentro del rango establecido por los LMP (lo cual implicaría que no requieren de tratamiento), se optó por modificar los valores presentados en la tabla 3, basados en estudios de campo realizados con anterioridad.

**Tabla 3.** Parámetro del agua a tratar en el diseño experimental de este estudio (incluye los valores modificados de los parámetros turbidez, color y pH)

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Turbidez	150 UNT
Color	300 UCV
pH	(3.91; 4.98; 7.71; 9.55)
<i>E. coli</i>	33 UFC

## Análisis Factorial 2x3x4

### ➤ Análisis estadístico para la turbidez

**Tabla 4.** Resultados de análisis de turbidez en las diferentes repeticiones.

	Dosis (mg/L)	pH	Turbidez 1	Turbidez 2	$\Sigma Ti$	$\Sigma Ti^2$	$\Sigma y_{ij}^2$
<b>C</b>	100	3.91	104	103	207	102503	51259
		4.98	80	82	162		
		7.71	53	50	103		
		9.55	75	76	151		
	200	3.91	103	105	208	85990	43000
		4.98	78	77	155		
		7.71	57	58	115		
		9.55	55	60	74		
	300	3.91	107	106	213	137100	68568
		4.98	75	80	155		
		7.71	76	79	155		
		9.55	105	104	209		
<b>V</b>	100	3.91	105	104	209	83262	41636
		4.98	55	54	109		
		7.71	77	79	156		
		9.55	86	84	170		
	200	3.91	96	98	194	80010	40014
		4.98	51	50	101		
		7.71	80	82	162		
		9.55	83	86	169		
	300	3.91	110	108	218	145135	72575
		4.98	53	56	109		
		7.71	105	106	211		
		9.55	101	102	203		
<b>Total</b>			1850	1864	3714	634000	317052

**C=Caesalpinia spinosa**

**V= Vachellia farnesiana**

**Hipótesis en la cual:**

$$\mathbf{N} = 48$$

$$\mathbf{n} = 2$$

$$\mathbf{E} = 2$$

$$\mathbf{D} = 3$$

$$\mathbf{P} = 4$$

$$\sum y_{ij} = 3495$$

$$\sum y_{ij}^2 = 268417$$

$$\sum T_i^2 = 53675$$

$$F_{\text{corrección}} = \frac{(\sum y_{ij})^2}{N} = \frac{(3714)^2}{48} = \mathbf{287370.8}$$

$$SC_T = \sum y_{ij}^2 - F_{\text{corrección}} = 317052 - 287370.8 = \mathbf{29681.3}$$

$$SC_t = \frac{\sum T_i^2}{n} - F_{\text{corrección}} = \frac{(634000)}{2} - 287370.8 = \mathbf{29629.3}$$

$$SC_E = \frac{\sum E_j^2}{24} - F_{\text{corrección}} = \frac{(1907)^2 + (1807)^2}{24} - 287370.8 = \mathbf{208.3}$$

$$SC_D = \frac{\sum D_k^2}{16} - F_{\text{corrección}} = \frac{(1155)^2 + (1086)^2 + (1473)^2}{16} - 287370.8 = \mathbf{5326.1}$$

$$SC_p = \frac{\sum p_H^2}{12} - F_{\text{corrección}} = \frac{(1249)^2 + (791)^2 + (902)^2 + (772)^2}{12} - 287370.8 = \mathbf{12235.1}$$

$$SC_{E*D} = \frac{(623)^2 + (552)^2 + (732)^2 + (532)^2 + (534)^2 + (741)^2}{8} - F_{\text{corrección}} - SC_E - SC_D$$

$$SC_{E*D} = 293239.8 - 287370.8 - 208.3 - 5326.1 = \mathbf{334.6}$$

$$SC_{E*P} = \frac{(628)^2 + (472)^2 + (373)^2 + (434)^2 + \dots + (338)^2}{6} - F_{\text{corrección}} - SC_E - SC_D$$

$$SC_{E*P} = 266210.5 - 287370.8 - 208.3 - 5326.1 = \mathbf{11451.5}$$

$$SC_{D*P} = \frac{(416)^2 + (271)^2 + (259)^2 + (209)^2 + \dots + (412)^2}{6} - F_{\text{corrección}} - SC_E - SC_D$$

$$SC_{D*P} = 176133.1 - 254479.7 - 357.5 - 465.5 = \mathbf{74655.4}$$

*Análisis de Varianza para el parámetro turbidez*

**Tabla 5.** Análisis de varianza de los resultados basados en la turbidez.

Factor de variación	GL	SC	CM	F calculado Fc	F tabulado 5%	F tabulado 1%
<b>Tratamiento</b>	23	29681.3	1290.5	595.6**	1.98	2.66
<b>E</b>	1	208.3	208.3	96.1**	4.26	7.82
<b>D</b>	2	5326.1	2663.1	1229.1**	3.4	5.61
<b>P</b>	3	12235.1	4078.4	2399**	3.01	4.72
<b>E*D</b>	2	334.6	167.3	98.4**	3.4	5.61
<b>E*P</b>	3	11451.5	3817.2	2245.4**	3.01	4.72
<b>D*P</b>	6	74655.4	12442.6	7319.2**	2.51	3.67
<b>E*D*P</b>	6			0	2.51	3.67
<b>EE</b>	24	52	2.2			
<b>TOTAL</b>	47					

**Contrastación de hipótesis para el parámetro de turbidez**

**Tratamiento:** Rechazamos la hipótesis nula ( $H_0$ ) ya que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos con relación a la turbidez.

**Especie:** Rechazamos la hipótesis nula ( $H_0$ ) ya que existen diferencias altamente significativas entre las especies con relación a la turbidez.

**Dosis:** Rechazamos la hipótesis nula ( $H_0$ ) ya que existen diferencias altamente significativas entre las dosis con relación a la turbidez.

**pH:** Rechazamos la hipótesis nula ( $H_0$ ) ya que existen diferencias altamente significativas entre el pH con relación a la turbidez.

**E\*D:** Existen diferencias altamente significativas entre las interacciones de especie (E) y dosis (D).

**E\*P:** Existen diferencias altamente significativas entre las interacciones de especie (E) y pH (P).

**D\*P:** Existen diferencias altamente significativas entre las interacciones de dosis (D) y pH (P).

**E\*D\*P:** Existen diferencias significativas entre las interacciones de especie (E) dosis (D) y el pH (P).

### Coefficiente de Variación.

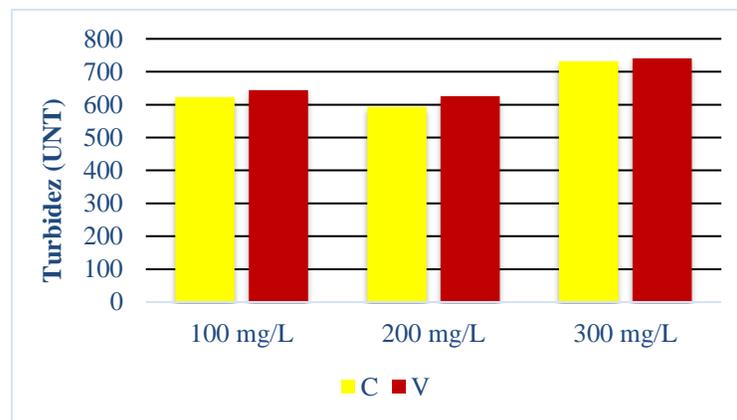
$$CV = 1.92\%$$

Con un coeficiente de 1.92% se demuestra que los resultados obtenidos son confiables y en consecuencia las contrastaciones de hipótesis formuladas a partir del análisis de varianza también son confiables.

### Tablas de Contingencia para el parámetro turbidez

**Tabla 6.** Tabla de contingencia de especie por dosis.

E/D	100 mg/L	200 mg/L	300 mg/L	Total
C	623	593	732	1948
V	644	626	741	2011
<b>Total</b>	1155	1086	1473	3959

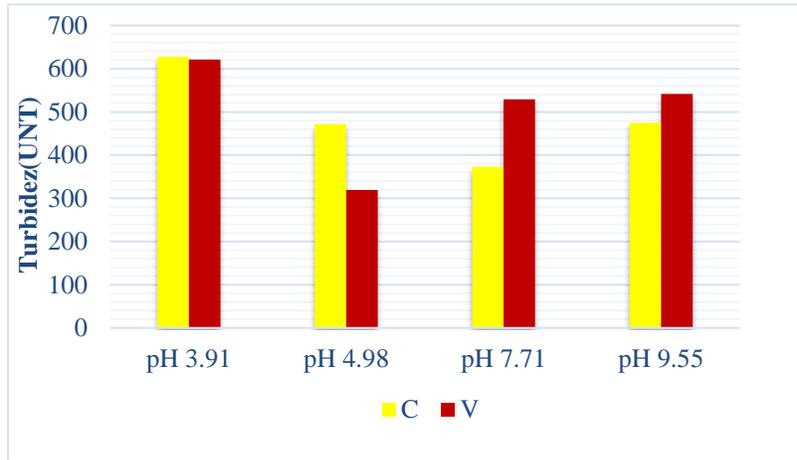


**Figura 11.** Gráfica que muestra la turbidez según las dosis de taninos aplicadas (100 mg/L, 200 mg/L y 300 mg/L) y las especies de donde se obtuvieron los taninos (*Caesalpinia spinosa* y *Vachellia farnesiana*).

En la figura 11. se puede observar que existe una disminución de la turbidez al aplicar una menor dosis de cualquiera de las dos especies, así también tras la aplicación de una dosis más elevada las muestras tienden a aumentar su turbidez. Tanto para *Caesalpinia spinosa* (C) y *Vachellia farnesiana* (V) la dosis que presenta mayor eficiencia es la de 200 mg/l.

**Tabla 7.** Tabla de contingencia de especie por pH.

E/pH	pH 3.91	pH 4.98	pH 7.71	pH 9.55	Total
<b>C</b>	628	472	373	475	1948
<b>V</b>	621	319	529	542	2011
<b>Total</b>	1249	791	902	1017	3959

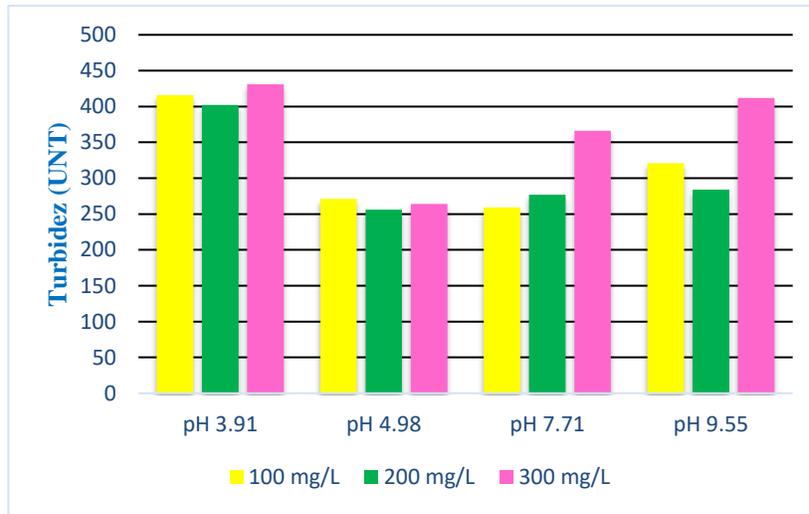


**Figura 12.** Gráfica que muestra la turbidez según pH aplicado (3.91, 4.98, 7.71 y 9.55) y las especies de donde se obtuvieron los taninos (*Caesalpinia spinosa* y *Vachellia farnesiana*).

En la figura 12, se puede apreciar que la especie *Caesalpinia spinosa* (C) demuestra mayor eficiencia al interactuar con un pH neutro (7.71), mientras que *Vachellia farnesiana* (V) interactúa mucho mejor a un pH ácido (4.98).

**Tabla 8.** Tabla de contingencia de dosis por pH.

D/ pH	pH3.91	pH 4.98	pH 7.71	pH 9.55	Total
100 mg/L	416	271	259	321	1267
200 mg/L	402	256	277	284	1219
300 mg/L	431	264	366	412	1473
<b>Total</b>	1249	791	902	1017	3959



**Figura 13.** Gráfica que muestra la turbidez según las dosis de taninos aplicadas (100 mg/L, 200 mg/L y 300 mg/L) y el pH.

En la figura 13 se puede evidenciar que sin importar que dosis se utilice, la eficiencia en la disminución de la turbidez siempre será mínima al trabajar con un pH de 3.91, sin embargo, al aumentar en una unidad, los valores de eficiencia cambian drásticamente como en el caso del pH equivalente a 4.98, donde todas las dosis obtienen valores alentadores para la remoción de turbidez.

**Prueba de comparaciones múltiples de Fisher**

1.  $C D_{100} P_{3.91} = \frac{207}{2} = 103.5$
2.  $C D_{100} P_{4.98} = \frac{162}{2} = 81$
3.  $C D_{100} P_{7.71} = \frac{103}{2} = 51.5$
4.  $C D_{100} P_{9.55} = \frac{151}{2} = 75.5$
5.  $C D_{200} P_{3.91} = \frac{208}{2} = 104$
6.  $C D_{200} P_{4.98} = \frac{155}{2} = 77.5$
7.  $CD_{200} P_{7.71} = \frac{115}{2} = 57.5$
8.  $C D_{200} P_{9.55} = \frac{115}{2} = 77.5$
9.  $C D_{300} P_{3.91} = \frac{213}{2} = 106.5$
10.  $C D_{300} P_{4.98} = \frac{155}{2} = 77$
11.  $CD_{300} P_{7.71} = \frac{155}{2} = 77$
12.  $C D_{300} P_{9.55} = \frac{209}{2} = 104.5$
13.  $V D_{100} P_{3.91} = \frac{209}{2} = 104.5$
14.  $V D_{100} P_{4.98} = \frac{109}{2} = 54.5$
15.  $V D_{100} P_{7.71} = \frac{156}{2} = 78$
16.  $V D_{100} P_{9.55} = \frac{170}{2} = 70$
17.  $V D_{200} P_{3.91} = \frac{194}{2} = 97$
18.  $V D_{200} P_{4.98} = \frac{101}{2} = 50.5$
19.  $V D_{200} P_{7.71} = \frac{162}{2} = 81$
20.  $V D_{200} P_{9.55} = \frac{169}{2} = 69.5$
21.  $V D_{300} P_{3.91} = \frac{218}{2} = 109$
22.  $V D_{300} P_{4.98} = \frac{109}{2} = 54.5$
23.  $V D_{300} P_{7.71} = \frac{211}{2} = 105.5$
24.  $V D_{300} P_{9.55} = \frac{203}{2} = 101.5$

**Ordenamos de mayor a menor**

1.  $V D_{300} P_{3.91} = \frac{218}{2} = 109 (K_1)$
2.  $C D_{300} P_{3.91} = \frac{213}{2} = 106.5(K_2)$
3.  $V D_{300} P_{7.71} = \frac{211}{2} = 105.5(K_3)$
4.  $C D_{300} P_{9.55} = \frac{209}{2} = 104.5(K_4)$
5.  $V D_{100} P_{3.91} = \frac{209}{2} = 104.5(K_5)$
6.  $C D_{200} P_{3.91} = \frac{208}{2} = 104(K_6)$
7.  $C D_{100} P_{3.91} = \frac{207}{2} = 103.5(K_7)$
8.  $V D_{300} P_{9.55} = \frac{203}{2} = 101.5 (k_8)$
9.  $V D_{200} P_{3.91} = \frac{194}{2} = 97(k_9)$
10.  $C D_{100} P_{4.98} = \frac{162}{2} = 81(k_{10})$
11.  $V D_{200} P_{7.71} = \frac{162}{2} = 81(k_{11})$
12.  $V D_{100} P_{7.71} = \frac{156}{2} = 78(k_{12})$
13.  $C D_{200} P_{4.98} = \frac{155}{2} = 77.5(k_{13})$
14.  $C D_{200} P_{9.55} = \frac{155}{2} = 77.5(k_{14})$
15.  $C D_{300} P_{4.98} = \frac{155}{2} = 77(k_{15})$
16.  $CD_{300} P_{7.71} = \frac{155}{2} = 77(k_{16})$
17.  $C D_{100} P_{9.55} = \frac{151}{2} = 75.5(k_{17})$
18.  $V D_{100} P_{9.55} = \frac{170}{2} = 70(k_{18})$
19.  $V D_{200} P_{9.55} = \frac{169}{2} = 69.5(k_{19})$
20.  $CD_{200} P_{7.71} = \frac{115}{2} = 57.5(k_{20})$
21.  $V D_{100} P_{4.98} = \frac{109}{2} = 54.5(k_{21})$
22.  $V D_{300} P_{4.98} = \frac{109}{2} = 54.5(k_{22})$
23.  $C D_{100} P_{7.71} = \frac{103}{2} = 51.5(k_{23})$
24.  $V D_{200} P_{4.98} = \frac{101}{2} = 50.5(k_{24})$

### Diferencia Mínima Significativa (DMS)

$$DMS = T\left(\frac{\alpha}{2}; GLEE\right) * \sqrt{\frac{2CMEE}{n}}$$

$$DMS = 2.064 * \sqrt{\frac{2(2,2)}{2}} = 3.06$$

Donde:

T = Valor de distribución T de student

GLEE = Grados de libertad del error

CMEE = Cuadrado medio del error

n = Número de repeticiones

$$K_1 - K_2 = 2.5 < 3.06 \rightarrow K_1 = K_2$$

$$K_2 - K_3 = 1 < 3.06 \rightarrow K_2 = K_3$$

$$K_3 - K_4 = 1 < 3.06 \rightarrow K_3 = K_4$$

$$K_4 - K_5 = 0 < 3.06 \rightarrow K_4 = K_5$$

$$K_5 - K_6 = 0.5 < 3.06 \rightarrow K_5 = K_6$$

$$K_6 - K_7 = 0.5 < 3.06 \rightarrow K_6 = K_7$$

$$K_7 - K_8 = 2 < 3.06 \rightarrow K_7 = K_8$$

$$K_8 - K_9 = 4.5 > 3.06 \rightarrow K_8 \neq K_9; K_{10}; K_{11}; K_{12}; K_{13}; K_{14}; K_{15} \dots K_{24}$$

$$K_9 - K_{10} = 16 > 3.06 \rightarrow K_9 \neq K_{10}; K_{11}; K_{12}; K_{13}; K_{14}; K_{15}; K_{16}; K_{17} \dots K_{24}$$

$$K_{10} - K_{11} = 0 < 3.06 \rightarrow K_{10} = K_{11}$$

$$K_{11} - K_{12} = 3 < 3.06 \rightarrow K_{11} = K_{12}$$

$$K_{12} - K_{13} = 0.5 < 3.06 \rightarrow K_{12} = K_{13}$$

$$K_{13} - K_{14} = 0.5 < 3.06 \rightarrow K_{13} = K_{14}$$

$$K_{14} - K_{15} = 0.5 < 3.06 \rightarrow K_{14} = K_{15}$$

$$K_{15} - K_{16} = 0 < 3.06 \rightarrow K_{15} = K_{16}$$

$$K_{16} - K_{17} = 1.5 < 3.06 \rightarrow K_{16} = K_{17}$$

$$K_{17} - K_{18} = 5.5 > 3.06 \rightarrow K_{17} \neq K_{18}; K_{19}; K_{20}; K_{21} \dots \dots \dots K_{24}$$

$$K_{18} - K_{19} = 0.5 < 3.06 \rightarrow K_{18} = K_{19}$$

$$K_{19} - K_{20} = 12 > 3.06 \rightarrow K_{19} \neq K_{20}; K_{21}; K_{22}; K_{21}; K_{24}$$

$$K_{20} - K_{21} = 3 < 3.06 \rightarrow K_{20} = K_{21}$$

$$K_{21} - K_{22} = 0 < 3.06 \rightarrow K_{21} = K_{22}$$

$$K_{22} - K_{23} = 3 < 3.06 \rightarrow K_{22} = K_{23}$$

$$K_{23} - K_{24} = 1 < 3.06 \rightarrow K_{23} = K_{24}$$

Los tratamientos significativamente diferentes son  $K_8$ ,  $K_9$ ,  $K_{17}$  y  $K_{19}$ . De estos, el que tiene menor media de turbidez es  $K_{19}$  (V D<sub>200</sub> P<sub>9.55</sub>), indicando ser el tratamiento que estadísticamente tiene mayor eficiencia en la disminución de la turbidez.

➤ **Análisis estadístico para el color**

**Tabla 9.** Resultados de análisis de color en las diferentes repeticiones.

	<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>pH</b>	<b>Color 1</b>	<b>Color 2</b>	<b>ΣTi</b>	<b>ΣTi2</b>	<b>Σyij2</b>
<b>C</b>	100	3.91	217	219	436	587814	293916
		4.98	193	190	383		
		7.71	166	164	330		
		9.55	188	189	377		
	200	3.91	216	215	431	554709	277809
		4.98	191	189	380		
		7.71	170	172	342		
		9.55	168	179	347		
	300	3.91	220	217	437	662199	331107
		4.98	188	186	374		
		7.71	189	188	377		
		9.55	218	217	435		
<b>V</b>	100	3.91	218	219	437	525979	262997
		4.98	168	167	335		
		7.71	190	187	377		
		9.55	199	197	284		
	200	3.91	209	206	415	525918	262968
		4.98	164	166	330		
		7.71	193	195	388		
		9.55	196	193	307		
	300	3.91	223	225	448	680558	340288
		4.98	166	167	333		
		7.71	218	215	433		
		9.55	214	212	426		
<b>Total</b>			4562	4581	9143	3537177	1769085

**C=Caesalpinia spinosa**

**V= Vachellia farnesiana**

**Hipótesis en la cual:**

$$N = 48$$

$$n = 2$$

$$E = 2$$

$$D = 3$$

$$P = 4$$

$$\sum y_{ij} = 9143$$

$$\sum y_{ij}^2 = 1769085$$

$$\sum T_i^2 = 3537177$$

$$F_{\text{corrección}} = \frac{(\sum y_{ij})^2}{N} = \frac{(9143)^2}{48} = 1741551.02$$

$$SC_T = \sum y_{ij}^2 - F_{\text{corrección}} = 1769085 - 1741551.02 = 27533.9$$

$$SC_t = \frac{\sum T_i^2}{n} - F_{\text{corrección}} = \frac{3537177}{2} - 1741551.02 = 27037.5$$

$$SC_E = \frac{\sum E_j^2}{16} - F_{\text{corrección}} = \frac{(4630)^2 + (4513)^2}{24} - 1741551.02 = 258.2$$

$$SC_D = \frac{\sum D_k^2}{16} - F_{\text{corrección}} = \frac{(2959)^2 + (2921)^2 + (3263)^2}{16} - 1741551.02 = 4392.2$$

$$SC_p = \frac{\sum p_H^2}{12} - F_{\text{corrección}} = \frac{(2604)^2 + (2135)^2 + (2247)^2 + (2157)^2}{12} - 1741551.02 = 11840.6$$

$$SC_{E*D} = \frac{(1526)^2 + (1481)^2 + (1623)^2 + (1433)^2 + (1440)^2 + (1640)^2}{8} - F_{\text{corrección}} - SC_E - SC_D$$

$$SC_{E*D} = 1746606.9 - 1741551.02 - 258.2 - 4392.2 = 405.5$$

$$SC_{E*P} = \frac{(1304)^2 + (1137)^2 + (1049)^2 + (1140)^2 + \dots + (1017)^2}{6} - F_{\text{corrección}} - SC_E - SC_D$$

$$SC_{E*P} = 1758114 - 1741551.02 - 258.2 - 4392.2 = 11912.41$$

$$SC_{D*P} = \frac{(873)^2 + (718)^2 + (707)^2 + (661)^2 + \dots + (861)^2}{6} - F_{\text{corrección}} - SC_E - SC_D$$

$$SC_{D*P} = 1175143 - 1741551.02 - 258.2 - 4392.2 = 561757.51$$

*Análisis de varianza para el parámetro color*

**Tabla 10.** Análisis de varianza de los resultados basados en el color.

<b>Factor de Variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F calculado Fc</b>	<b>F tabulado 5%</b>	<b>F tabulado 1%</b>
<b>Tratamiento</b>	23	27533.9	1197.1	57.8**	1.98	2.66
<b>E</b>	1	258.2	258.2	12.5**	4.26	7.82
<b>D</b>	2	4392.2	2196.1	106.1**	3.4	5.61
<b>P</b>	3	11840.6	3946.9	190.7**	3.01	4.72
<b>E*D</b>	2	405.5	202.8	9.8**	3.4	5.61
<b>E*P</b>	3	11912.4	3970.8	191.8**	3.01	4.72
<b>D*P</b>	6	561757.5	93626.3	4523.0**	2.51	3.67
<b>E*D*P</b>	6		0.0		2.51	3.67
<b>EE</b>	24	496.4	20.7			
<b>TOTAL</b>	47					

**Contrastación de hipótesis para el parámetro color**

**Tratamiento:** Rechazamos la Hipótesis nula ( $H_0$ ) ya que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos con relación a el color.

**Especie:** Rechazamos la Hipótesis nula ( $H_0$ ) ya que existen diferencias altamente significativas entre las especies con relación a el color.

**Dosis:** Rechazamos la Hipótesis nula ( $H_0$ ) ya que existen diferencias altamente significativas entre las dosis con relación a el color.

**pH:** Rechazamos la Hipótesis nula ( $H_0$ ) ya que existen diferencias altamente significativas entre el pH con relación a el color.

**E\*D:** Existen diferencias altamente significativas entre las interacciones de especie (E) y dosis (D).

**E\*P:** Existen diferencias altamente significativas entre las interacciones de especie (E) y pH (P).

**D\*P:** Existen diferencias altamente significativas entre las interacciones de dosis (D) y pH (P).

**E\*D\*P:** Existen diferencias significativas entre las interacciones de especie (E) dosis (D) y el pH (P).

## Coeficiente de Variación

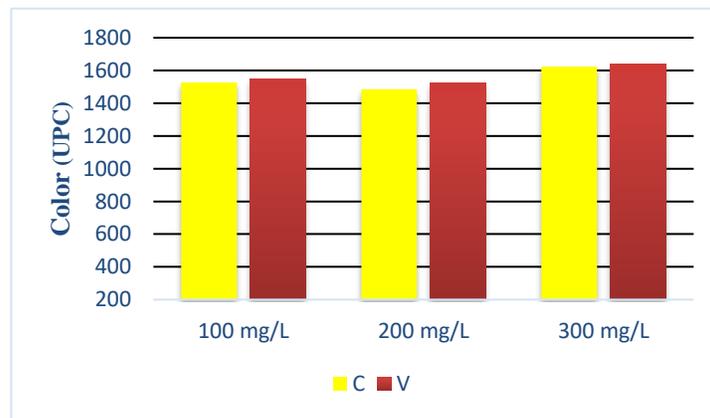
$$CV = 2.4\%$$

El coeficiente de Variación 2.4% menor a 35% demuestra que los resultados obtenidos son confiables y en consecuencia las contrastaciones de hipótesis formuladas a partir del análisis de varianza también son confiables.

## Tablas de Contingencia para el parámetro color

**Tabla 11.** Tabla de contingencia de especie por dosis.

E/D	100 mg/L	200 mg/L	300 mg/L	Total
C	1526	1486	1623	4635
V	1545	1522	1640	4707
Total	3071	3008	3263	9342

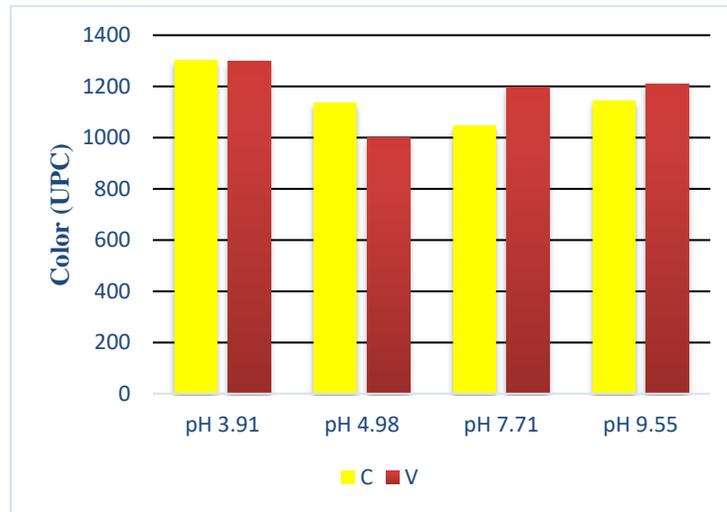


**Figura 14.** Gráfica que muestra el color según las dosis de taninos aplicadas (100 mg/L, 200 mg/L y 300 mg/L) y las especies de donde se obtuvieron los taninos (*Caesalpinia spinosa* y *Vachellia farnesiana*).

En la figura 14 se observa que ambas especies, *Caesalpinia spinosa* (C) y *Vachellia farnesiana* (V) obtienen mayor eficiencia en la disminución del parámetro color al aplicarse una dosis de 200 mg/L, mientras que tras la aplicación de 300 mg/L el color tiende a aumentar considerablemente.

**Tabla 12.** Tabla de contingencia de especie por pH.

E/pH	pH 3.91	pH 4.98	pH 7.71	pH 9.55	Total
<b>C</b>	1304	1137	1049	1145	4635
<b>V</b>	1300	998	1198	1211	4707
<b>Total</b>	2604	2135	2247	2356	9342

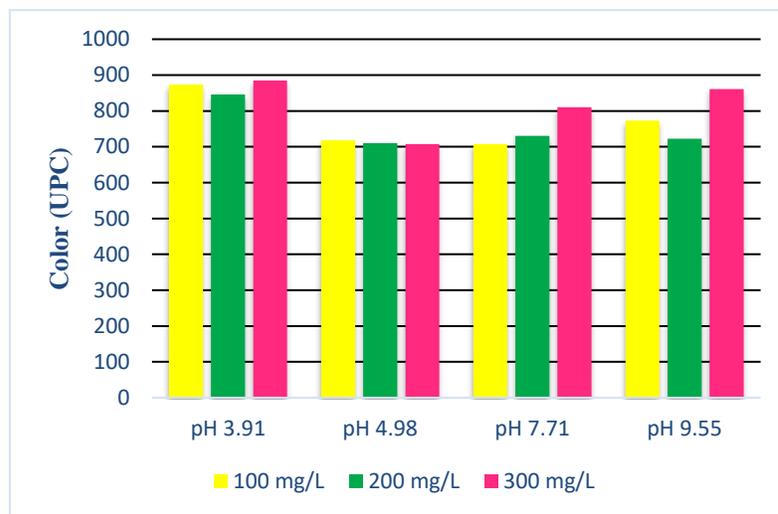


**Figura 15.** Gráfica que muestra el color según pH aplicado (3.91, 4.98, 7.71 y 9.55) y las especies de donde se obtuvieron los taninos (*Caesalpinia spinosa* y *Vachellia farnesiana*).

En la figura 15, las dos especies demuestran comportamientos distintos, por ejemplo, *Caesalpinia spinosa* (C) genera mayor clarificación al interactuar con un pH de 7.71, mientras que *Vachellia farnesiana* (V) lo hace en un pH de 4.98.

**Tabla 13.** Tabla de contingencia de dosis por pH.

DOSIS/ pH	pH 3.91	pH 4.98	pH 7.71	pH 9.55	Total
100 mg/L	873	718	707	773	3071
200 mg/L	846	710	730	722	3008
300 mg/L	885	707	810	861	3263
<b>Total</b>	2604	2135	2247	2356	9342



**Figura 16.** Gráfica que muestra el color (UPC) según las dosis de taninos aplicadas (100 mg/L, 200 mg/L y 300 mg/L) y el pH.

En la figura 16 se puede observar que, sin importar cuál sea la dosis existe una disminución notable del color en las muestras con un pH de 4.98.

## Prueba de Comparación múltiple de Fisher

1.  $C D_{100} P_{3.91} = \frac{436}{2} = 218$
2.  $C D_{100} P_{4.98} = \frac{383}{2} = 191.5$
3.  $C D_{100} P_{7.71} = \frac{330}{2} = 165$
4.  $C D_{100} P_{9.55} = \frac{377}{2} = 188.5$
5.  $C D_{200} P_{3.91} = \frac{431}{2} = 215.5$
6.  $C D_{200} P_{4.98} = \frac{380}{2} = 190$
7.  $CD_{200} P_{7.71} = \frac{342}{2} = 171$
8.  $C D_{200} P_{9.55} = \frac{347}{2} = 173.5$
9.  $C D_{300} P_{3.91} = \frac{437}{2} = 218.5$
10.  $C D_{300} P_{4.98} = \frac{374}{2} = 187$
11.  $CD_{300} P_{7.71} = \frac{377}{2} = 188.5$
12.  $C D_{300} P_{9.55} = \frac{435}{2} = 217.5$
13.  $V D_{100} P_{3.91} = \frac{437}{2} = 218.5$
14.  $V D_{100} P_{4.98} = \frac{335}{2} = 167.5$
15.  $V D_{100} P_{7.71} = \frac{377}{2} = 188.5$
16.  $V D_{100} P_{9.55} = \frac{396}{2} = 198$
17.  $V D_{200} P_{3.91} = \frac{415}{2} = 207.5$
18.  $V D_{200} P_{4.98} = \frac{330}{2} = 165$
19.  $V D_{200} P_{7.71} = \frac{388}{2} = 194$
20.  $V D_{200} P_{9.55} = \frac{389}{2} = 194.5$
21.  $V D_{300} P_{3.91} = \frac{448}{2} = 224$
22.  $V D_{300} P_{4.98} = \frac{333}{2} = 166.5$
23.  $V D_{300} P_{7.71} = \frac{433}{2} = 216.5$
24.  $V D_{300} P_{9.55} = \frac{426}{2} = 213$

## Ordenamos de Mayor a Menor

1.  $V D_{300} P_{3.91} = \frac{448}{2} = 224(K_1)$
2.  $C D_{300} P_{3.91} = \frac{437}{2} = 218.5(K_2)$
3.  $V D_{100} P_{3.91} = \frac{437}{2} = 218.5(K_3)$
4.  $C D_{100} P_{3.91} = \frac{436}{2} = 218(K_4)$
5.  $C D_{300} P_{9.55} = \frac{435}{2} = 217.5(K_5)$
6.  $V D_{300} P_{7.71} = \frac{433}{2} = 216.5(K_6)$
7.  $C D_{200} P_{3.91} = \frac{431}{2} = 215.5(K_7)$
8.  $V D_{300} P_{9.55} = \frac{426}{2} = 213(K_8)$
9.  $V D_{200} P_{3.91} = \frac{415}{2} = 207.5(K_9)$
10.  $V D_{100} P_{9.55} = \frac{396}{2} = 198(K_{10})$
11.  $V D_{200} P_{9.55} = \frac{389}{2} = 194.5(K_{11})$
12.  $V D_{200} P_{7.71} = \frac{388}{2} = 194(K_{12})$
13.  $C D_{100} P_{4.98} = \frac{383}{2} = 191.5(K_{13})$
14.  $C D_{200} P_{4.98} = \frac{380}{2} = 190(K_{14})$
15.  $C D_{100} P_{9.55} = \frac{377}{2} = 188.5(K_{15})$
16.  $CD_{300} P_{7.71} = \frac{377}{2} = 188.5(K_{16})$
17.  $V D_{100} P_{7.71} = \frac{377}{2} = 188.5(K_{17})$
18.  $C D_{300} P_{4.98} = \frac{374}{2} = 187(K_{18})$
19.  $C D_{200} P_{9.55} = \frac{347}{2} = 173.5(K_{19})$
20.  $CD_{200} P_{7.71} = \frac{342}{2} = 171(K_{20})$
21.  $V D_{100} P_{4.98} = \frac{335}{2} = 167.5(K_{21})$
22.  $V D_{300} P_{4.98} = \frac{333}{2} = 166.5(K_{22})$
23.  $V D_{200} P_{4.98} = \frac{330}{2} = 165(K_{23})$
24.  $C D_{100} P_{7.71} = \frac{330}{2} = 165(K_{24})$

### Diferencia Mínima Significativa (DMS)

$$\text{DMS} = 2.064 * \sqrt{\frac{2(20.7)}{2}} = 9.4$$

$$K_1 - K_2 = 5.5 < 9.4 \rightarrow K_1 = K_2$$

$$K_2 - K_3 = 0 < 9.4 \rightarrow K_2 = K_3$$

$$K_3 - K_4 = 0.5 < 9.4 \rightarrow K_3 = K_4$$

$$K_4 - K_5 = 0.5 < 9.4 \rightarrow K_4 = K_5$$

$$K_5 - K_6 = 1 < 9.4 \rightarrow K_5 = K_6$$

$$K_6 - K_7 = 1 < 9.4 \rightarrow K_6 = K_7$$

$$K_7 - K_8 = 2.5 < 9.4 \rightarrow K_7 = K_8$$

$$K_8 - K_9 = 5.5 < 9.4 \rightarrow K_8 = K_9$$

$$\mathbf{K_9 - K_{10} = 9.5 > 9.4 \rightarrow K_9 \neq K_{10}; K_{11}; K_{12}; K_{13}; K_{14}; K_{15}; K_{16}; K_{17} \dots \dots \dots K_{24}}$$

$$K_{10} - K_{11} = 3.5 < 9.4 \rightarrow K_{10} = K_{11}$$

$$K_{11} - K_{12} = 0.5 < 9.4 \rightarrow K_{11} = K_{12}$$

$$K_{12} - K_{13} = 2.5 < 9.4 \rightarrow K_{12} = K_{13}$$

$$K_{13} - K_{14} = 1.5 < 9.4 \rightarrow K_{13} = K_{14}$$

$$K_{14} - K_{15} = 1.5 < 9.4 \rightarrow K_{14} = K_{15}$$

$$K_{15} - K_{16} = 0 < 9.4 \rightarrow K_{15} = K_{16}$$

$$K_{16} - K_{17} = 0 < 9.4 \rightarrow K_{16} = K_{17}$$

$$K_{17} - K_{18} = 1.5 < 9.4 \rightarrow K_{17} = K_{18}$$

$$\mathbf{K_{18} - K_{19} = 13.5 > 9.4 \rightarrow K_{18} \neq K_{19}; K_{20}; K_{21}; K_{22} \dots \dots \dots K_{24}}$$

$$K_{19} - K_{20} = 2.5 < 9.4 \rightarrow K_{19} = K_{20}$$

$$K_{20} - K_{21} = 3.5 < 9.4 \rightarrow K_{20} = K_{21}$$

$$K_{21} - K_{22} = 1 < 9.4 \rightarrow K_{21} = K_{22}$$

$$K_{22} - K_{23} = 1.5 < 9.4 \rightarrow K_{22} = K_{23}$$

$$K_{23} - K_{24} = 0 < 9.4 \rightarrow K_{23} = K_{24}$$

Los tratamientos significativamente diferentes son  $K_9$  y  $K_{18}$ . De estos, el que tiene menor media de color es  $K_{18}$  (C D<sub>300</sub> P<sub>4.98</sub>), indicando ser el tratamiento que estadísticamente tiene mayor eficiencia en la disminución del color.

➤ **Análisis estadístico para *E. coli***

**Tabla 14.** Resultados de análisis de *E. coli* en las diferentes repeticiones.

	<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>pH</b>	<b><i>E. coli</i> 1</b>	<b><i>E. coli</i> 2</b>	<b><math>\Sigma Ti</math></b>	<b><math>\Sigma Ti^2</math></b>	<b><math>\Sigma y_{ij}^2</math></b>
<b>C</b>	100	3.91	28	28	56	8459	4231
		4.98	24	23	47		
		7.71	17	16	33		
		9.55	22	23	45		
	200	3.91	27	26	53	7266	3636
		4.98	23	21	44		
		7.71	18	17	35		
		9.55	18	18	36		
	300	3.91	29	28	57	10148	5076
		4.98	23	22	45		
		7.71	22	21	43		
		9.55	27	28	55		
<b>V</b>	100	3.91	30	29	59	9162	4584
		4.98	18	16	34		
		7.71	23	22	45		
		9.55	25	25	50		
	200	3.91	27	26	53	8324	4164
		4.98	16	17	33		
		7.71	22	23	45		
		9.55	24	25	49		
	300	3.91	32	32	64	11193	5597
		4.98	17	17	34		
		7.71	28	27	55		
		9.55	27	27	54		
<b>Total</b>			567	557	1124	54552	27288

**C=Caesalpinia spinosa**

**V= Vachellia farnesiana**

**Hipótesis en la cual:**

$$\mathbf{N} = 48$$

$$\mathbf{n} = 2$$

$$\mathbf{E} = 2$$

$$\mathbf{D} = 3$$

$$\mathbf{P} = 4$$

$$\sum y_{ij} = 1124$$

$$\sum y_{ij}^2 = 27288$$

$$\sum T_i^2 = 54552$$

$$F_{\text{corrección}} = \frac{(\sum y_{ij})^2}{N} = \frac{(1124)^2}{48} = \mathbf{26320.3}$$

$$SC_T = \sum y_{ij}^2 - F_{\text{corrección}} = 27288 - 26320.3 = \mathbf{968}$$

$$SC_t = \frac{\sum T_i^2}{n} - F_{\text{corrección}} = \frac{54552}{2} - 26320.3 = \mathbf{955.7}$$

$$SC_E = \frac{\sum E_j^2}{16} - F_{\text{corrección}} = \frac{(549)^2 + (575)^2}{24} - 26320.3 = \mathbf{14.1}$$

$$SC_D = \frac{\sum D_k^2}{16} - F_{\text{corrección}} = \frac{(369)^2 + (348)^2 + (407)^2}{16} - 26320.3 = \mathbf{111.8}$$

$$SC_p = \frac{\sum p_H^2}{12} - F_{\text{corrección}} = \frac{(342)^2 + (237)^2 + (256)^2 + (289)^2}{12} - 26320.3 = \mathbf{528.9}$$

$$SC_{E^*D} = \frac{(181)^2 + (168)^2 + (200)^2 + (188)^2 + (180)^2 + (207)^2}{8} - F_{\text{corrección}} - SC_E - SC_D$$

$$SC_{E^*D} = 1746606.9 - 26320.3 - 14.1 - 111.8 = \mathbf{1.05}$$

$$SC_{E^*P} = \frac{(166)^2 + (136)^2 + (111)^2 + (136)^2 \dots (153)^2}{6} - F_{\text{corrección}} - SC_E - SC_D$$

$$SC_{E^*P} = 1758114 - 26320.3 - 14.1 - 111.8 = \mathbf{633.8}$$

$$SC_{D^*P} = \frac{(115)^2 + (81)^2 + (78)^2 + (95)^2 \dots (109)^2}{6} - F_{\text{corrección}} - SC_E - SC_D$$

$$SC_{D^*P} = 18008.7 - 26320.3 - 14.1 - 111.8 = \mathbf{8185.7}$$

## Análisis de Varianza del parámetro *E. coli*

*Tabla 15.* Análisis de Varianza de los resultados basados en *E. coli*.

Factor de Variación	GL	SC	CM	F calculado Fc	F tabulado 5%	F tabulado 1%
<b>Tratamiento</b>	23	968	42.1	3.4*	1.98	2.66
<b>E</b>	1	14.1	14.1	1.1 ns	4.26	7.82
<b>D</b>	2	111.8	55.9	4.5 *	3.4	5.61
<b>P</b>	3	528.9	176.3	14.3**	3.01	4.72
<b>E*D</b>	2	1.1	0.5	0.04 ns	3.4	5.61
<b>E*P</b>	3	633.8	211.3	17.2**	3.01	4.72
<b>D*P</b>	6	8185.7	1364.3	110.9**	2.51	3.67
<b>E*D*P</b>	6		0.0		2.51	3.67
<b>EE</b>	24	12.3	0.5			
<b>TOTAL</b>	47					

### Contrastación de hipótesis para el parámetro *E. coli*

**Tratamiento:** Rechazamos la Hipótesis nula ( $H_0$ ) ya que existen diferencias significativas entre los tratamientos con relación al Parámetro *E. coli*.

**Especie:** Se acepta la Hipótesis nula ( $H_0$ ) no existen diferencias significativas entre las especies con relación al Parámetro *E. coli*.

**Dosis:** Rechazamos la Hipótesis nula ( $H_0$ ) ya que existen diferencias significativas entre las dosis con relación al Parámetro *E. coli*.

**pH:** Rechazamos la Hipótesis nula ( $H_0$ ) ya que existen diferencias altamente significativas entre el pH con relación al Parámetro *E. coli*.

**E\*D:** No existen diferencias significativas entre las interacciones de especie (E) y dosis (D).

**E\*P:** Existen diferencias altamente significativas entre las interacciones de especie (E) y pH (P).

**D\*P:** Existen diferencias altamente significativas entre las interacciones de dosis (D) y pH (P).

**E\*D\*P:** Existen diferencias significativas entre las interacciones de especie (E) dosis (D) y el pH (P).

## Coefficiente de Variación

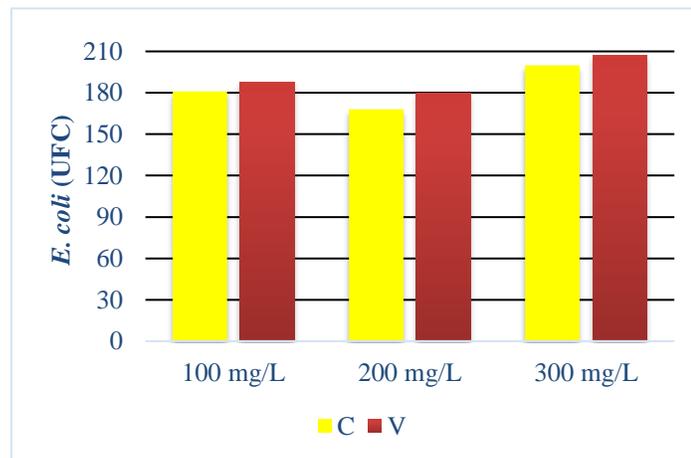
$$CV = 14.9\%$$

El coeficiente de Variación 14.9 % menor a 35% demuestra que los resultados obtenidos son confiables y en consecuencia las contrastaciones de hipótesis formuladas a partir del análisis de varianza también son confiables.

## Tablas de Contingencia para el parámetro *E. coli*

**Tabla 16.** Tabla de contingencia de especie por dosis.

E/D	100 mg/L	200 mg/L	300 mg/L	Total
<b>C</b>	181	168	200	549
<b>V</b>	188	180	207	575
<b>Total</b>	369	348	407	1124

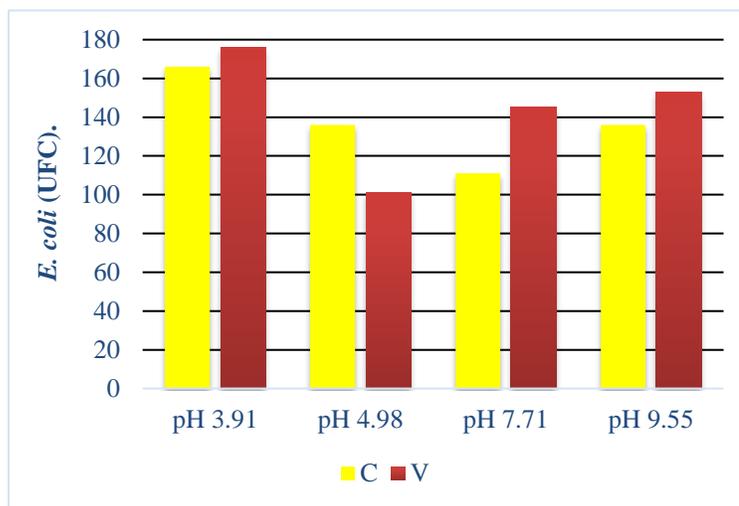


**Figura 17.** Gráfica que muestra a *E. coli* (UFC) según las dosis de taninos aplicadas (100 mg/L, 200 mg/L y 300 mg/L) y las especies de donde se obtuvieron los taninos (*Caesalpinia spinosa* y *Vachellia farnesiana*).

En la figura 17 se muestran los resultados para el parámetro *E. coli*, de acuerdo a la especie y la cantidad de la dosis. Para ambas especies la dosis óptima sería la de 200 mg/L.

**Tabla 17.** Tabla de contingencia especie por pH.

E/pH	pH 3.91	pH 4.98	pH 7.71	pH 9.55	Total
<b>C</b>	166	136	111	136	549
<b>V</b>	176	101	145	153	575
<b>Total</b>	342	237	256	289	1124

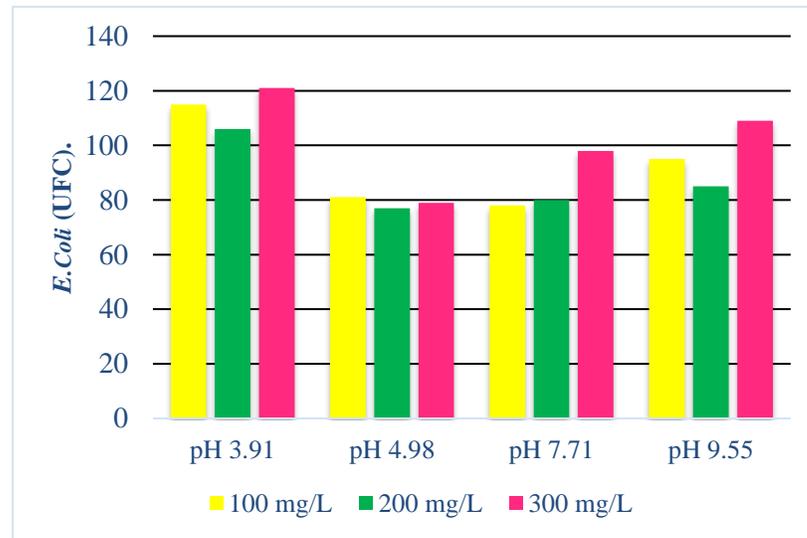


**Figura 18.** Gráfica que muestra *E. coli* (UFC) según pH aplicado (3.91, 4.98, 7.71 y 9.55) y las especies de donde se obtuvieron los taninos (*Caesalpinia spinosa* y *Vachellia farnesiana*).

En la figura 18 se muestra los resultados para el parámetro *E. coli*, de acuerdo a la especie vs el pH. *Vachellia farnesiana* (V) demuestra mayor eficiencia en la remoción de *E. coli* en un pH de 4.98, a su vez las muestras con pH de 3.91 son menos eficientes independientemente de la especie que se aplique.

**Tabla 18.** Tabla de contingencia de dosis por pH.

D/ pH	pH 3.91	pH 4.98	pH 7.71	pH 9.55	Total
100 mg/L	115	81	78	95	369
200 mg/L	106	77	80	85	348
300 mg/L	121	79	98	109	407
Total	342	237	256	289	1124



**Figura 19.** Gráfica que muestra a *E. coli* (UFC) según las dosis de taninos aplicadas (100 mg/L, 200 mg/L y 300 mg/L) y el pH.

En la figura 19 se muestran los resultados para el parámetro *E. coli*, de acuerdo a la Dosis vs el pH. Tanto como para la dosis de 100 mg/L, 200 mg/L y 300 mg/L el pH óptimo con el cual se obtuvo mayor eficiencia es el de 4.98. (con una ligera excepción para la dosis 100 mg/L que fue menor a un pH 7.71), mientras el pH 3.91 el que manifiesta una menor eficiencia para la remoción de *E. coli*. dentro de las muestras.

### Prueba de Comparación múltiple de Fisher

1.  $C D_{100} P_{3.91} = \frac{56}{2} = 28$
2.  $C D_{100} P_{4.98} = \frac{47}{2} = 23.5$
3.  $C D_{100} P_{7.71} = \frac{33}{2} = 16.5$
4.  $C D_{100} P_{9.55} = \frac{45}{2} = 22.5$
5.  $C D_{200} P_{3.91} = \frac{53}{2} = 26.5$
6.  $C D_{200} P_{4.98} = \frac{44}{2} = 22$
7.  $CD_{200} P_{7.71} = \frac{35}{2} = 17.5$
8.  $C D_{200} P_{9.55} = \frac{36}{2} = 18$
9.  $C D_{300} P_{3.91} = \frac{57}{2} = 28.5$
10.  $C D_{300} P_{4.98} = \frac{45}{2} = 22.5$
11.  $CD_{300} P_{7.71} = \frac{43}{2} = 21.5$
12.  $C D_{300} P_{9.55} = \frac{55}{2} = 27.5$
13.  $V D_{100} P_{3.91} = \frac{59}{2} = 29.5$
14.  $V D_{100} P_{4.98} = \frac{34}{2} = 17$
15.  $V D_{100} P_{7.71} = \frac{45}{2} = 22.5$
16.  $V D_{100} P_{9.55} = \frac{50}{2} = 25$
17.  $V D_{200} P_{3.91} = \frac{53}{2} = 26.5$
18.  $V D_{200} P_{4.98} = \frac{33}{2} = 16.5$
19.  $V D_{200} P_{7.71} = \frac{45}{2} = 22.5$
20.  $V D_{200} P_{9.55} = \frac{49}{2} = 24.5$
21.  $V D_{300} P_{3.91} = \frac{64}{2} = 32$
22.  $V D_{300} P_{4.98} = \frac{34}{2} = 17$
23.  $V D_{300} P_{7.71} = \frac{55}{2} = 27.5$
24.  $V D_{300} P_{9.55} = \frac{54}{2} = 27$

### Ordenamos de Mayor a Menor

1.  $V D_{300} P_{3.91} = \frac{64}{2} = 32$
2.  $V D_{100} P_{3.91} = \frac{59}{2} = 29.5$
3.  $C D_{300} P_{3.91} = \frac{57}{2} = 28.5$
4.  $C D_{100} P_{3.91} = \frac{56}{2} = 28$
5.  $C D_{300} P_{9.55} = \frac{55}{2} = 27.5$
6.  $V D_{300} P_{7.71} = \frac{55}{2} = 27.5$
7.  $V D_{300} P_{9.55} = \frac{54}{2} = 27$
8.  $C D_{200} P_{3.91} = \frac{53}{2} = 26.5$
9.  $V D_{200} P_{3.91} = \frac{53}{2} = 26.5$
10.  $V D_{100} P_{9.55} = \frac{50}{2} = 25$
11.  $V D_{200} P_{9.55} = \frac{49}{2} = 24.5$
12.  $C D_{100} P_{4.98} = \frac{47}{2} = 23.5$
13.  $C D_{100} P_{9.55} = \frac{45}{2} = 22.5$
14.  $C D_{300} P_{4.98} = \frac{45}{2} = 22.5$
15.  $V D_{100} P_{7.71} = \frac{45}{2} = 22.5$
16.  $V D_{200} P_{7.71} = \frac{45}{2} = 22.5$
17.  $C D_{200} P_{4.98} = \frac{44}{2} = 22$
18.  $CD_{300} P_{7.71} = \frac{43}{2} = 21.5$
19.  $C D_{200} P_{9.55} = \frac{36}{2} = 18$
20.  $CD_{200} P_{7.71} = \frac{35}{2} = 17.5$
21.  $V D_{100} P_{4.98} = \frac{34}{2} = 17$
22.  $V D_{300} P_{4.98} = \frac{34}{2} = 17$
23.  $C D_{100} P_{7.71} = \frac{33}{2} = 16.5$
24.  $V D_{200} P_{4.98} = \frac{33}{2} = 16.5$

### Diferencia Mínima Significativa (DMS)

$$\text{DMS} = 2.064 * \sqrt{\frac{2(12.3)}{2}} = 2.86$$

$$K_1 - K_2 = 2.5 < 2.86 \rightarrow K_1 = K_2$$

$$K_2 - K_3 = 1 < 2.86 \rightarrow K_2 = K_3$$

$$K_3 - K_4 = 0.5 < 2.86 \rightarrow K_3 = K_4$$

$$K_4 - K_5 = 0.5 < 2.86 \rightarrow K_4 = K_5$$

$$K_5 - K_6 = 0 < 2.86 \rightarrow K_5 = K_6$$

$$K_6 - K_7 = 0.5 < 2.86 \rightarrow K_6 = K_7$$

$$K_7 - K_8 = 0.5 < 2.86 \rightarrow K_7 = K_8$$

$$K_8 - K_9 = 0 < 2.86 \rightarrow K_8 = K_9$$

$$K_9 - K_{10} = 1.5 < 2.86 \rightarrow K_9 = K_{10}$$

$$K_{10} - K_{11} = 0.5 < 2.86 \rightarrow K_{10} = K_{11}$$

$$K_{11} - K_{12} = 1 < 2.86 \rightarrow K_{11} = K_{12}$$

$$K_{12} - K_{13} = 1 < 2.86 \rightarrow K_{12} = K_{13}$$

$$K_{13} - K_{14} = 0 < 2.86 \rightarrow K_{13} = K_{14}$$

$$K_{14} - K_{15} = 0 < 2.86 \rightarrow K_{14} = K_{15}$$

$$K_{15} - K_{16} = 0 < 2.86 \rightarrow K_{15} = K_{16}$$

$$K_{16} - K_{17} = 0.5 < 2.86 \rightarrow K_{16} = K_{17}$$

$$K_{17} - K_{18} = 0.5 < 2.86 \rightarrow K_{17} = K_{18}$$

$$\mathbf{K_{18} - K_{19} = 3.5 > 2.86 \rightarrow K_{18} \neq K_{19}; K_{20}; K_{21}; K_{22}; K_{23}; K_{24}}$$

$$K_{19} - K_{20} = 0.5 < 2.86 \rightarrow K_{19} = K_{20}$$

$$K_{20} - K_{21} = 0.5 < 2.86 \rightarrow K_{20} = K_{21}$$

$$K_{21} - K_{22} = 0 < 2.86 \rightarrow K_{21} = K_{22}$$

$$K_{22} - K_{23} = 0.5 < 2.86 \rightarrow K_{22} = K_{23}$$

$$K_{23} - K_{24} = 0 < 2.86 \rightarrow K_{23} = K_{24}$$

El único tratamiento significativamente diferente es el de  $K_{18}$ , por lo tanto, la muestra  $C D_{300} P_{7.71}$  es el tratamiento que estadísticamente tiene mayor eficiencia en la disminución de *E. coli*.

#### IV Discusión

“Agua limpia y saneamiento” es uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) a nivel mundial, que garantiza la disponibilidad y la gestión sostenible del agua para todos (Hidalgo, 2016). Los indicadores para determinar la calidad del agua están basadas en la evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Sierra, 2011), motivo por el cual se evaluaron cuatro de los parámetros más importantes dentro de la planta de agua que abastece al distrito de Jazán y se dio tratamiento con los taninos extraídos de las plantas de *Vachellia farnesiana* y *Caesalpinia spinosa*.

Para optimizar la obtención de taninos se optó por la técnica de extracción por etapas, a base de agua con sulfito de sodio al 4%, ya que así se obtiene mayor concentración de extractos taninicos (Quiñónez & Díaz, 2015). Tras la aplicación de los tratamientos en dosis de 100 mg/l, 200 mg/l y 300 mg/l se generaron resultados similares a los encontrados por Tapia et al. (2010), quien determina que la concentración óptima para generar la coagulación es de 0.1g a 0.3g. Esto debido a que el exceso en la concentración del tanino, usualmente altera distintos parámetros que afectan la calidad del agua (Macías et al., 2017).

Los taninos reducen su capacidad de coagulación cuando la turbidez es alta y son más efectivas cuando la turbidez del agua es menor (Mamani & Chamorro, 2016). A pesar de que el agua utilizada en la experimentación contaba con una turbidez alta, la dosis de 200 mg/L de *Vachellia farnesiana* en pH de 9.55 es la que estadísticamente generó mejores resultados de remoción, coincidiendo con Duque (2018), quién asegura que para lograr un tratamiento eficiente las dosis deben de ser bajas. Para mejor comprensión, Guzmán et al. (2015) explican que cuando la dosis del coagulante compensa exactamente las cargas de las partículas, se logra una desestabilización haciendo que exista una relación estequiométrica entre la dosis y la concentración de partículas, mientras que tras aplicar una mayor dosis, se obtiene una re-estabilización de la dispersión produciendo un aumento de turbidez.

Por otro lado, los resultados para el parámetro color, determinan que *Caesalpinia spinosa* es la que presenta mayor eficiencia de remoción esto en pH 4.98 y con dosis de 300 mg por litro, coincidiendo con los resultados de Jacinto y Barraza (2006), quienes además indican

que la combinación pH y dosis influye significativamente sobre el tiempo de sedimentación y la cantidad de color removido.

La presencia de *E. coli* en el agua representa el mayor indicador de contaminación (Sierra, 2011), ya que según los Límites Máximos Permisibles establecidos en el D.S. N° 031-2010-S, “Reglamento de calidad de agua para consumo humano” ésta no debe sobrepasar los 0 UFC/100 mL. Las muestras de agua colectada en este estudio presentaron 33 UFC de *E. coli*, (valor que excede por mucho el recomendado). Tras la aplicación del tratamiento C D<sub>300</sub> P<sub>7.71</sub> se logró disminuir las unidades formadoras de colonias de *E. coli* en un 34.85% (equivalente a 21.5 UFC). Este porcentaje de disminución es mucho menor a lo obtenido por otros estudios. Por ejemplo, Cholán & Zavaleta, (2019), tras el tratamiento con los taninos de *Caesalpinia spinosa*, lograron una disminución de *E. coli*, de un 56 %. Se cree que estos resultados se deben a la baja concentración en la dosis de los taninos pues Godoy, (2005) afirma que *C. spinosa* presenta un alto efecto antibacteriano en la inhibición de *E. coli*, pero que este es directamente proporcional, es decir que a mayor concentración de extracto taninico, mayor es el efecto inhibitorio sobre la remoción de *E. coli*. Esta afirmación explicaría porque se removió más del 90 % de *E. coli* al utilizar una concentración de 800 mg/L.

Respecto a los LMP para los parámetros de turbidez y color, éstos arrojaron valores de 5 UNT y 15 UCV, respectivamente. Si bien nuestros resultados no alcanzaron porcentajes altos de remoción del color (45.3%), los resultados de turbidez son prometedores (56.7%) cuando se utilizan los taninos obtenidos de la especie *Vachellia farnesiana*, y que pueden ser usados como base para futuros estudios y así lograr un incremento en este porcentaje.

## V Conclusiones

En la investigación realizada se extrajo, analizó y se determinó la eficiencia de los taninos de *Vachellia farnesiana* y *Caesalpinia spinosa* bajo diferentes tratamientos.

Los taninos de *Vachellia farnesiana* estadísticamente son más eficientes en la remoción de la turbidez, interactúan de mejor manera en un pH de 9.55 con una dosis de 200 mg/L, demostrando una efectividad del 56.7%.

Los taninos de *Caesalpinia spinosa* estadísticamente son más eficientes en la remoción de los parámetros de color y *E. coli*, ambos bajo una dosis de 300 mg/L y con pH 4.98 y 9.55 demostrando efectividad de 45.3 y 34.85%, respectivamente.

Ninguno de los tratamientos utilizados (especie, dosis de taninos y pH) logró disminuir los valores de los parámetros evaluados (turbidez, color y *E. Coli*) de manera que se cumplan con Límites Máximos Permisibles (LMP) de calidad de agua para consumo humano.

## VI Referencias Bibliográficas

- Baquerizo, R., Muñoz, D., & Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE*, 7(4), 111–126.
- Cholán, K., & Zavaleta, G. (2019). Efecto del extracto hidroalcohólico de *Caesalpinia spinosa* (Fabaceae) sobre el crecimiento de *Salmonella typhi* y *Escherichia coli*. *Arnaldoa*, 26(2), 699–712.
- Dávila Paredes, C. M., Huamán Carranza, M. M., Flores Albornoz, J. I., Polo Salazar, R. A., & Araujo Jamanca, N. F. (2019). Efectividad de especies naturales como ayudantes de Coagulación, para la clarificación de aguas turbias en épocas de avenidas en caseríos y centros poblados de Huaraz y Callejón de Huaylas. *Aporte Santiaguino*, 11(2), 299.
- DIGESA. (2015). Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua (p. 64).
- Duque, C. (2018). Tratamiento primario de aguas residuales no domésticas provenientes de la pontificia universidad javeriana mediante el uso de tanino modificado de acacia. *Pontificia Javeriana*, 2, 1–25.
- Fuentes Molina, N., Molina Rodríguez, E. J., & Ariza, C. P. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del  $Al_2(SO_4)_3$  para clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 11(2), 41–54.
- García, D., & González, A. (2013). Los metodos turbidimétricos y sus aplicaciones. *Revista CENIC*, 44(1), 1–18.
- Godoy, K. (2005). Evaluación del grado de inhibición de taninos presentes en tres variedades de uva sobre *Escherichia coli* para su uso en la desinfección de agua cruda *Javeriana* 39(1), 1-40.
- Guzman, L., Tarón, A., & Nuñez, A. (2015). Power seed of *Cassia fistula* like natural coagulant in treatment of raw water. *Biotechnologia En Sector Agrario e Industrial*, 53(9), 1689–1699.
- Hidalgo, M. del M. (2016). La gestión del agua: Factor clave para el cumplimiento de los ODS. *Instituto Español de Estudios Estratégicos*.

INEI. (2018). *Resultados definitivos*.

Jacinto, J., & Barraza, G. (2006). Efecto del pH y Concentración de Goma de Tara (*Caesalpinia spinosa*) sobre la Clarificación del Jugo de Caña (*Saccharum officinarum*). *Pueblo Continente. Rev. Oficial de La UPAO*, 17(1), 27–32.

Macías, M., Domínguez, Y., Muñoz, S., Álvarez, B., Santana, E., & García, D. T. (2017). Empleo de semillas de Moringa oleífera en el tratamiento de residuales líquidos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(2), 87–101.

Mamani, V., & Chamorro, R. (2016). Influencia de la Goma de Tara (*Caesalpinia spinosa*) como ayudante en el proceso de coagulación-floculación para la remoción de turbidez de una suspensión artificial de bentonita. *Información Tecnológica*, 30(5), 299–308.

Marques, S., Azevêdo, T., & de Castilho, A. (2015). extraction, quantification, and ftir characterization of bark tannins of four forest species grown in northeast Brazil. *Revista Árvore*, 45.

Pérez, W. (2019). Optimización del agua a base de biopolímeros orgánicos de goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) y Moringa (*Moringa Oleífera*). 91–98.

Quiñónez, B. L. C., & Díaz, E. J. C. (2015). Extracción y caracterización de taninos en corteza de 3 especies forestales cultivadas en guatemala, pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede*), encino negro (*Quercus brachystachys Benth*) y aliso común (*Alnus jorulensis HBK*). una alternativa de desarrollo agroí. In *Centro de Investigaciones de Ingeniería* (Vol. 1).

Revelo, A., Proaño, D., & Banchon, C. (2015). Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de *Caesalpinia spinosa*. *Universidad Tecnológica Equinoccial*, 1(1), 1–12.

Rupay, G., & Laureano, L. (2018). “La goma de tara como agente floculante en la optimización del proceso de remoción de arsénico con  $FeCl_3$  presente en agua de mina.” [ Tesis de pregrado , Universidad de Callao].

Sierra, C. (2011). Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 458.

- Skoronski, E., Niero, B., Fernandes, M., Alves, M. V., & Trevisan, V. (2014). Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, Na cidade de Tubarão, SC. *Revista Ambiente e Agua*, 9(4), 679–687.
- Tapia, N., Mamani, C., & Rojas, P. (2010). Estudio de la coagulación del sistema coloidal de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  por acción de la goma de tara. *Revista de Ingeniería Químicaica*, 13, 104–108.
- Velásquez, T., & Tocuyo, J. (2018). Remoción de turbidez de agua mediante filtración utilizando cáscara de coco (*Cocos nucífera*) a nivel de laboratorio. *Revista ION*, 2, 99.