

# Effects of the Concentration and Proportion of Nopal Cactus Coagulant on the Clarification of Water for Irrigation

Sarai Lecca-Malo, Eng<sup>1</sup>, Daniel Martínez-Cerna, Eng<sup>2</sup>, Cinthya Alvarado, MSc<sup>3</sup> and Hernán Alvarado-Quintana, PhD<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Universidad Nacional de Trujillo, Perú, saraileccamalo@gmail.com, dmartinezc@unitru.edu.pe, halvarado@unitru.edu.pe

<sup>3</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, cinthya.alvarado@upn.edu.pe

*Abstract*—In this study, the concentration and proportion of nopal cactus were modified to analyze the clarification, turbidity, suspended solids and pH of irrigation water. The levels investigated for the concentration of nopal cactus were 30 and 40 mg/L and for the ratio of the natural coagulant to aluminum sulfate were 10/90, 30/70 and 50/50. The population was constituted by water from the Moche River located in the province of Trujillo, which has an approximate flow of 8.8 m<sup>3</sup>/s in summer time and the sample was collected near the district of Moche in a strategic point, it was 80 liters.

The results show that the turbidity decreases with the proportion and concentration of the coagulant, as well as the total suspended solids, the pH was stabilized, achieving the highest coagulant efficiency of 96.3% at a concentration of 30 mg/L and a proportion of 30% natural coagulant with 70% aluminum sulfate, this being the appropriate dosage that shows the best results.

*Key words* -- clarification, cactus cactus, wastewater, drip irrigation.

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

# Efectos de la Concentración y Proporción de Coagulante de Cactus de Nopal en la Clarificación de Aguas para Riego

Sarai Lecca-Malo, Eng<sup>1</sup>, Daniel Martínez-Cerna, Eng<sup>2</sup>, Cinthya Alvarado, MSc<sup>3</sup> and Hernán Alvarado-Quintana, PhD<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Universidad Nacional de Trujillo, Perú, saraileccamalo@gmail.com, dmartinezc@unitru.edu.pe, halvarado@unitru.edu.pe

<sup>3</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, cinthya.alvarado@upn.edu.pe

**Resumen**– En este estudio se modifican la concentración y la proporción del cactus de nopal para analizar la clarificación, turbidez, sólidos suspendidos y pH de aguas para riego. Los niveles investigados para la concentración del cactus de nopal fueron de 30 y 40 mg/L y para la proporción del coagulante natural con relación al sulfato de aluminio fue de 10/90, 30/70 y 50/50. Se realizó una investigación experimental, aplicada, la población fue constituida por aguas del río Moche ubicado en la provincia de Trujillo que tiene un caudal aproximado de 8.8 m<sup>3</sup>/s en tiempo de verano y la muestra fue recolectada de forma puntual cerca al distrito de Moche en un punto estratégico, está fue de 80 litros.

Los resultados muestran que la turbidez disminuye con la proporción y concentración del coagulante, al igual que los sólidos suspendidos totales, se logró estabilizar el pH, logrando la mayor eficiencia del coagulante de 96.3% a una concentración de 30 mg/L y una proporción de 30% de coagulante natural con 70% de sulfato de aluminio, siendo esta la dosificación adecuada que muestra los mejores resultados.

**Palabras clave** -- clarificación, cactus de nopal, aguas residuales, riego por goteo

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el recurso vital e indispensable para el ser humano y el crecimiento del mismo en su vida diaria es el agua, debido a que se utiliza en distintas acciones cotidianas, sin embargo, esto se ve perjudicado debido a la pésima calidad de agua y el complejo camino a ella [1].

En el mundo una de las causas que genera la muerte de millones de niños durante cada año es la contaminación de las aguas, por lo tanto, es sumamente importante potabilizar el agua mediante tratamientos elementales tal es el caso de la desinfección, la clarificación o el acondicionamiento químico. La clarificación es de por sí la etapa más importante para potabilizar el agua cruda o para su utilización como agua de riego [2].

Para la clarificación del agua usualmente se suele utilizar coagulantes químicos, estos al sedimentar al mismo tiempo que el lodo genera grandes problemas ambientales, incluso estos coagulantes tienen un alto costo económico generando

dificultad en el acceso para pobladores de escasos recursos económicos [3].

Los coagulantes químicos que se usan de forma tradicional para el tratamiento es el cloruro de aluminio conocido como aluminato de sodio, sulfatos de hierro, policloruro de aluminio, cloruros de hierro, el sulfato de aluminio conocido como alumbre, entre otros. Sin embargo, estos coagulantes químicos generan diferentes problemas [4]

Para el sulfato de aluminio, este necesita un control de nivel de pH de forma óptima debido a que su rango para trabajar es ampliamente limitado, además si hablamos de rendimiento, la materia orgánica no es removida de forma adecuada ya que no se tienen los resultados esperados al momento de su utilización en agua con alta turbidez, es por ello que en muchas situaciones se requiere de una ayuda como un floculante y el detalle de todo lo mencionado es que el uso de este coagulante químico va a generar un elevada cantidad de aluminio de forma residual [4]

Cabe mencionar que los polímeros orgánicos el cual su origen es de forma natural presentan generalmente una nula o mínima toxicidad, tal es el caso de la Tuna como lo mencionan diversos investigadores, esto genera un aumento para distintas técnicas para tratar el agua en base a la utilización de coagulante natural para lograr clarificar el agua, además de ser económicos para la situación de diversos países actualmente [5]

Por lo mencionado radica la importancia de buscar diferentes alternativas para poder clarificar el agua como los coagulantes naturales los cuales en otras investigaciones han mostrado gran eficiencia, estos reemplazarían a los coagulantes químicos ya que a largo plazo no generarían un impacto ambiental negativo y podrán ser accesibles para los pobladores de bajos recursos económicos. Todo ello para disminuir las enfermedades que se pueden generar al utilizarlo como agua de riego además de cuidar el ambiente de los desechos que se producir al utilizar coagulantes elaborados de forma sintética para clarificar el agua y en las plantas donde se realiza este tratamiento. [1]

En la referencia [5] se evaluó en el agua de río Magdalena el proceso de clarificación, la eficiencia de la tuna también conocido como *Opuntia ficus-indica* como agente coagulante para ello se realizó la prueba de jarras a escala de laboratorio controlando los parámetros de pH y turbidez; se efectuó las pruebas experimentales de jarras a distintas velocidades de agitación: 200 y 100 rpm y concentraciones de coagulante: 35 mg/L y 40 mg/L y se comparó con el sulfato de aluminio o alumbre que es un coagulante muy comercial y así verificar su eficiencia. Obteniendo para la velocidad de agitación de 100 rpm a una concentración de 35 mg/L valores de 3.06 para el alumbre y 33.93 para el opuntia con 5.78 y 6.22 de pH respectivamente y para la concentración de 40 mg/L valores de 4.9 para el alumbre y 29.66 para el opuntia con 5.51 y 6.55 de pH respectivamente; para la velocidad de agitación de 200 rpm a una concentración de 35 mg/L valores de 1.22 para el alumbre y 31.36 para el opuntia con 5.54 y 6.35 de pH respectivamente y para la concentración de 40 mg/L valores de 2.95 para el alumbre y 28.43 para la opuntia con 5.44 y 6.41 de pH respectivamente; cabe resaltar la características iniciales de la turbidez (UNT) fueron 1.74 con un pH de 6.55. Demostrando que los resultados sobre la turbidez como variable dependiente, que el tipo de coagulante y la velocidad de agitación si influye de manera significativa en la clarificación del agua pero que la dosis de coagulante no influye, además que las mejores remociones en la turbidez se obtendrán cuando la velocidad de agitación es igual a 200 rpm. Logrando el alumbre una eficiencia de 99.30% comparado a los 83.66% que se obtiene con el mucilago de la tuna opuntia. Concluyendo que el uso del mucilago extraído de la tuna opuntia tiene buena eficiencia al usarse como coagulante, debido a que puede llegar hacia las partículas dispersas logrando aumentar así su eficiencia en el proceso de clarificar el agua, pero su uso debe limitarse para otras actividades y no como agua potable debido a que no cumple con los valores que indica la norma. El aporte de la presente investigación a la tesis es que demuestra que la variable concentración de coagulante debería utilizarse en todas las investigaciones que ameritan clarificación de aguas, debido a su gran influencia en los resultados como pH y turbidez, y sobre todo en la eficiencia del coagulante natural, por ello las variables son seleccionadas para el estudio.

En la referencia [1] los autores determinaron que antes de aplicar el coagulante – floculante a base de Tuna las aguas de la acequia presentaron elevadas coliformes y turbidez, y que el tratamiento tres realizado con 13 gr de gel de tuna y 13 gr de cáscara de Tuna tuvo una alta efectividad ya que reduce la turbidez hasta los 30.29 NTU de 80 NTU, generando una remoción del 63% de la turbidez de las aguas de la acequia de la ciudad de Ferreñafe, mejorando la calidad del agua para los pobladores de la ciudad al usar un coagulante natural como la Tuna, además que no produce residuos que contaminen el medio ambiente, lo que lo hace accesible para personas con bajos ingresos.

En la referencia [6] los investigadores determinaron que la velocidad de agitación y dosis óptima de la Tuna para reducir la turbidez fue de 40 rpm y 150 mg, respectivamente generando un elevado porcentaje de reducción la penca que provenía de Ancash con 94.42% a comparación de las otras pencas como la proveniente de Ayacucho con 92.32% e Ica con 91.79% además concluyeron que el porcentaje de remoción de la turbidez al emplear como coagulante orgánico la Tuna se encontró en el rango de 90 – 95% de eficiencia.

En la referencia [7] los autores demostraron que el tipo de proceso para obtener el coagulante – floculante natural a base de *Opuntia ficus* conocido como tuna tiene impacto en la efectividad, logrando una disminución en la turbidez del agua turbia.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### A. Material

El material de estudio es el polvo coagulante natural de cactus nopal obtenido por el método extracción, licuefacción, centrifugación y secado. El cactus nopal, cuyo nombre científico es *Opuntia ficus-indica* fue obtenido en la región La Libertad, Perú.

### B. Diseño experimental

Se aplico un diseño experimental bifactorial. Las variables independientes fueron la concentración del cactus de nopal ( $a$ ) con dos niveles:  $a_1 = 30$  mg/L y  $a_2 = 40$  mg/L y la proporción del coagulante natural con relación al sulfato de aluminio ( $b$ ) con tres niveles:  $b_1 = 10/90$ ,  $b_2 = 30/70$  y  $b_3 = 50/50$ . Las variables dependientes fueron  $Y_1 =$  turbidez expresada en NTU,  $Y_2 =$  Sólidos Suspendidos Totales expresado en mg/L,  $Y_3 =$  pH y  $Y_4 =$  eficiencia expresada en porcentaje. Todos los ensayos se realizaron por triplicado, haciendo un total de 18 muestras. Como las pruebas son ensayo no destructivo, estas muestras también se utilizaron para toda la investigación

### C. Procedimiento experimental

Primero se recolectó una muestra de 80 litros en un balde esterilizado lavado con agua destilada. El balde sirvió como recipiente adecuado para trasladar el agua de la zanja para su respectivo análisis de parámetros fisicoquímicos y biológicos. Luego de ser recuperada del río Moche, la muestra fue transportada al laboratorio de Materiales Cerámicos de la Universidad Nacional de Trujillo

Los parámetros propuestos, incluidos el pH, la turbidez y el total de sólidos en suspensión, se evaluaron mediante la percepción sensorial humana y equipos especializados. El medidor de pH permite mediciones rutinarias de la calidad de agua, de forma rápida y fiable. Mide un rango de 0.00 – 14.00 pH con una resolución: 0.01pH y precisión de  $\pm 0.1$ pH. El medidor de TDS se midió mediante el peso total de los componentes sólidos presentes que se disuelven en agua por cada unidad de volumen en mg/L o ppm.

La *Opuntia ficus* (también conocida como Tuna) fue transportada al laboratorio, la extracción del mucílago de tuna implica pasos clave: extracción, licuefacción, centrifugación y secado. Inicialmente, el tallo se cortó en trozos más pequeños para que quepan en el extractor. Luego del proceso de extracción, la mezcla se centrifuga como se observa en la Figura 1(a) para desechar el sedimento y adicionar al sobrenadante etanol, se llevó esto a 24 horas de refrigeración a 5°C para precipitar el mucílago como se observa en la Figura 1 (b), el cual se tamizará a través de un papel filtrante como se muestra en la Figura 1 (c), separando la fibra del mucílago para luego secarlo en el horno. El resultado final será un mucílago puro, libre de impurezas, como se observa en la Figura 1 (d).



Fig. 1 Extracción del mucílago (a) centrifugación (b) refrigeración (c) filtrado (d) mucílago

Una vez adquirido el mucílago mediante el proceso de tres pasos y recolectadas las muestras de agua, estas fueron analizadas para obtener datos de pH, turbidez y sólidos suspendidos totales. Se empleó el procedimiento "Jar-Test" como se observa en la Figura 2 (a) según la norma ASTM. La prueba está diseñada para reducir los niveles de SST, materiales coloidales y otras sustancias no sedimentables a través de la coagulación y la sedimentación inducida por la gravedad. El tiempo que se dejó en el Jar-Test fue de 1 minuto a 200 rpm, 25 minutos a 25 rpm, luego de esto la muestras se dejaron 30 minutos en reposo para su posterior análisis para obtener datos de pH, turbidez como lo muestra la Figura 2 (b) y sólidos suspendidos totales.

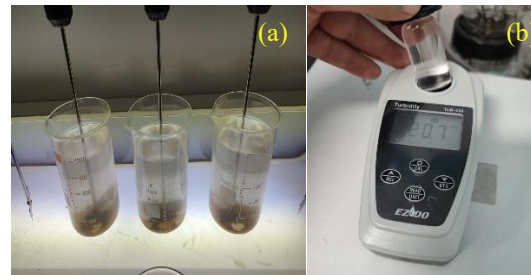


Fig. 2 (a) Jar-Test (b) medición de turbidez

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los resultados del pH, turbidez, TDS de las aguas del río Moche, en donde inicialmente, se determinó cuáles eran las propiedades fisicoquímicas iniciales que presenta el agua turbia o agua no tratada, la cual fue utilizada como muestra para el proceso de clarificación, dichos resultados fueron obtenidos luego de medir las características de las propiedades mencionadas mediante el proceso de test de jarras. Obteniendo como resultados un valor de turbidez promedio de 621 NTU, en ensayo de pH obtuvo un valor de 1.39 y la cantidad de sólidos suspendidos totales obtuvo un valor de 289 mg/L.

El resultado del ensayo de turbidez según los criterios de calidad para agua de riego no debería exceder los 10 NTU, sin embargo, los resultados mostrados muestran un elevado nivel de turbidez, siendo no apto para para agua de riego.

El resultado del ensayo de pH, se encontró un bajo valor del pH, por lo tanto, el agua del río Moche es muy ácida, siendo no apta para ser utilizada como agua de riego ya que solo perjudicaría la flora y por ende la salud de las personas. En la referencia [8] para ser considerada un agua de apta para riego su valor debería encontrarse en el rango de 6.5 a 8.0 como máximo debido que estudios han demostrado a esos niveles de pH las plantas logran absorber una mayor cantidad de nutrientes, por lo tanto, el las aguas para riego deberían encontrarse en ese rango.

Finalmente, con respecto a la cantidad de sólidos suspendidos totales, la Organización Mundial de la Salud (OMS) menciona que el nivel que debe obtener el agua de riego ideal debería tener valores menos a 300 mg/L para ser considerado un agua de riego excelente, si tiene valores de 300 a 600 mg/L el agua de riego sería considerado como bueno, y si obtiene valores de 600 a 900 mg/L estaría considerado como un agua de riego regular, la muestra obtenida de río Moche obtuvo un valor de 289 mg/L siendo considerada como un agua de riego excelente según su nivel de sólidos suspendidos totales.

Tabla 1  
Parámetros iniciales de agua no alterada del río Moche

Parámetro inicial	Resultados
Turbidez (NTU)	621
pH	1.39
TDS (mg/L)	289

En la Figura 3 se observan los resultados del ensayo de turbidez del agua del río Moche, obteniendo como resultados del coagulante a una concentración de 30 mg/L, 23.8 NTU con la proporción de 10% - 90%, 22.8 NTU con la proporción de 30% - 70% y 44.7 NTU con la proporción de 50% - 50%, y con una concentración de coagulante de 40 mg/L se obtuvo resultados de 30.70 NTU con la proporción de 10% - 90%, 34.70 NTU con la proporción de 30% - 70% y 37.4 NTU con la proporción de 50% - 50%. Siendo la concentración de 30 mg/L con una proporción 30% de coagulante natural y 70% de sulfato de aluminio los valores óptimos para obtener el menor resultado de turbidez de 22.8 NTU, comparado al valor inicial de 621 NTU de las aguas del río Moche obtenido inicialmente, se evidencia una reducción significativa del 94% con respecto al valor inicial.

Estudios recientes han investigado el uso del mucílago de nopal como agente activo para reducir la turbidez del agua. En la referencia [9] se sugirió que las capacidades de coagulación de Opuntia pueden atribuirse a la presencia de ácido galacturónico. A esta conclusión se llegó después de probar el ácido galacturónico en combinación con otros azúcares que se encuentran en el nopal, lo que resultó en la reducción de la turbidez en un 50%.

El límite máximo que es permitido para la Turbidez es de 10 NTU, por lo tanto, la concentración de 30 mg/L a una proporción 30% de coagulante natural y 70% de sulfato de aluminio es la mejor, ya que dichos parámetros logran estabilizar el agua como para ser usada para riego, por lo tanto, es recomendado clarificar el agua y utilizarla como agua de riego, logrando darle un valor agregado a la Tuna.

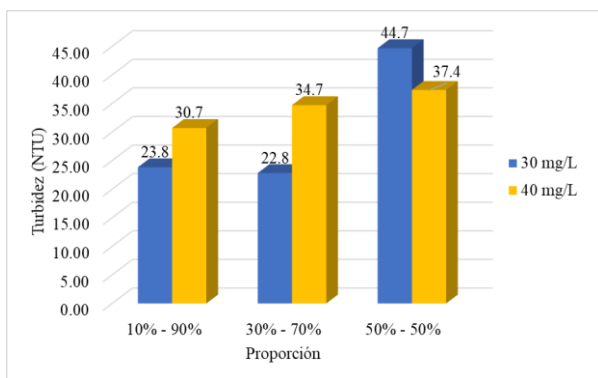


Fig. 3 Resultados de Turbidez

En la Figura 4 se observa los resultados del ensayo pH del agua del río Moche, obteniendo como resultados que con una concentración de coagulante de 30 mg/L, 5.32 con la proporción de 10% - 90%, 5.30 con la proporción de 30% - 70% y 5.29 con la proporción de 50% - 50%, y con una concentración de coagulante de 40 mg/L se obtuvo resultados de 3.63 con la proporción de 10% - 90%, 5.04 con la proporción de 30% - 70% y 5.43 con la proporción de 50% - 50%. Siendo la concentración de 40 mg/L con una proporción 50% de coagulante natural y 50% de sulfato de aluminio los valores óptimos para obtener el mejor resultado de pH de 5.43, comparado al valor inicial de 1.39 de las aguas del río Moche obtenido inicialmente, se evidencia un aumento significativo con respecto al valor inicial.

En términos de composición química, el pH indica en que nivel se encuentra la acidez o alcalinidad, su escala es de 1 a 14 y opera en un sistema logarítmico: esto implica que una unidad de aumento o disminución en el pH se traduce en un aumento o disminución de diez veces en la cantidad de iones de hidrógeno. Si el pH del agua es bajo, es más ácida, y si el pH aumenta, el agua se vuelve más alcalina. El nivel de pH del agua juega un papel crucial en la determinación del rendimiento del cultivo. Mantener el pH adecuado en el caudal de riego es vital para asegurar una producción óptima del cultivo. Además, la acidez del agua influye directamente en los nutrientes de las plantas y su capacidad de absorción.

La descomposición y disolución de ciertos materiales orgánicos, así como la eliminación de sustancias como metales pesados y pesticidas, están fuertemente influenciadas por los niveles de pH. Si se utiliza agua con un nivel de pH superior a 6,5 en el riego, puede afectar negativamente la capacidad de la planta para absorber los nutrientes necesarios. Esto se debe a que los nutrientes se vuelven insolubles y permanecen en el suelo. En consecuencia, los cultivos pueden sufrir deficiencias de nutrientes esenciales como el hierro, el manganeso y el fósforo. Además, un nivel de pH alto a menudo provoca obstrucciones en el suelo, lo que puede impedir que las plantas absorban los nutrientes de manera efectiva.

Mantener el nivel de pH adecuado en el agua de riego es crucial para asegurar el mejor crecimiento y desarrollo de los cultivos. Si el nivel de pH es demasiado bajo, lo que se considera muy ácido, puede generar múltiples problemas, como daños en las raíces de la planta debido a la acidez, toxicidad del suelo y absorción ineficiente de nutrientes ya que se disuelven y filtran rápidamente. Por ello, se recomienda mantener el nivel de pH del agua de riego entre 5,5 a 6,5, que es el rango establecido. Para evitar los problemas antes mencionados, es necesario monitorear y regular de cerca el nivel de pH del agua de riego. Además, el nivel de pH del agua tiene un impacto significativo en el rendimiento de los cultivos. Controlando el nivel de pH, es posible asegurar los mejores resultados y prevenir problemas potenciales.

Después de realizar 3 repeticiones, es evidente que el pH del agua tratada presenta una variación considerable entre



tratamientos. Lo ideal es que la proporción y la concentración tengan un efecto más significativo sobre esta variable ya que el rango de pH aceptable para el agua de riego según las normas peruanas se encuentra entre 5,5 a 6,5. Los hallazgos son comparables a los de la referencia [1], cuya investigación indica que la introducción de coagulante natural de nopal tiene un impacto sustancial en el pH del agua que ha sido tratada.

Al analizar los datos, se descubrió que el agua sin tratar era originalmente ácida, evidenciado por valores de pH cercanos a 1. Sin embargo, después de tratar el agua con coagulante de nopal en proporciones y concentraciones variables, los niveles de pH se alteraron notablemente hasta un rango de 3 a 6. En esencia, se observó un patrón de aumento de los niveles de pH en la muestra, lo que resultó en un cambio de un medio ácido a uno alcalino. Esta transformación se atribuye al proceso de coagulación, que provoca la precipitación de las arcillas disueltas y genera un carácter alcalino en el agua bruta.

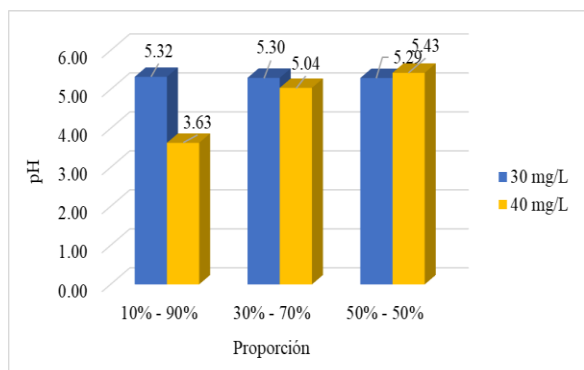


Fig. 4 Resultados de pH

En la Figura 5 se observa los resultados del ensayo de sólidos suspendidos totales del agua del río Moche, obteniendo como resultados que con una concentración de coagulante de 30 mg/L, 264 mg/L con la proporción de 10% - 90%, 294.5 mg/L con la proporción de 30% - 70% y 257.5 mg/L con la proporción de 50% - 50%, y con una concentración de coagulante de 40 mg/L se obtuvo resultados de 300 mg/L con la proporción de 10% - 90%, 303 mg/L con la proporción de 30% - 70% y 305 mg/L con la proporción de 50% - 50%. Los resultados muestran una disminución del valor de los sólidos suspendidos totales con las proporciones de 10% de sulfato de aluminio - 90% mucílago de nopal y 50% de sulfato de aluminio - 50% mucílago de nopal y un aumento de en la proporción de 30% de sulfato de aluminio - 70% mucílago de nopal a la concentración de 30 mg/L; y a la concentración de 40 mg/L se evidencia un aumento en todas las proporciones analizadas a comparación del valor inicial de agua sin tratar el cual obtuvo un valor inicial de 289 mg/L. El incremento del valor de los sólidos suspendidos totales se debe posiblemente por la presencia de los mismos carbohidratos y proteínas que presenta la Tuna (*Opuntia ficus*) que ha sido añadido a las muestras sin

tratar, es decir en otras palabras a mayor adición de Tuna, aumentará el contenido de sólidos suspendidos totales en el agua del río Moche.

Siendo la concentración de 30 mg/L con una proporción 50% de coagulante natural y 50% de sulfato de aluminio el menor valor para obtener el mejor resultado de sólidos suspendidos totales con 257.5 mg/L, comparado al valor inicial de 289 mg/L de las aguas del río Moche obtenido inicialmente, por lo tanto, se evidencia una disminución del 12% con respecto al valor inicial.

Comparando los resultados, con los parámetros Ministerio del Medio Ambiente de la referencia [8] menciona que el nivel que debe obtener el agua de riego ideal debería tener valores menos a 300 mg/L para ser considerado un agua de riego excelente, si tiene valores de 300 a 600 mg/L el agua de riego sería considerado como bueno, y si obtiene valores de 600 a 900 mg/L estaría considerado como un agua de riego regular, la muestra obtenida de río Moche obtuvo un valor de 289 mg/L siendo considerada como un agua de riego excelente según su nivel de sólidos suspendidos totales, además al añadir las diferentes proporciones y concentraciones el agua tratada para riego es considerado como regular, cumpliendo con los parámetros solicitados para ser utilizado con ese fin.

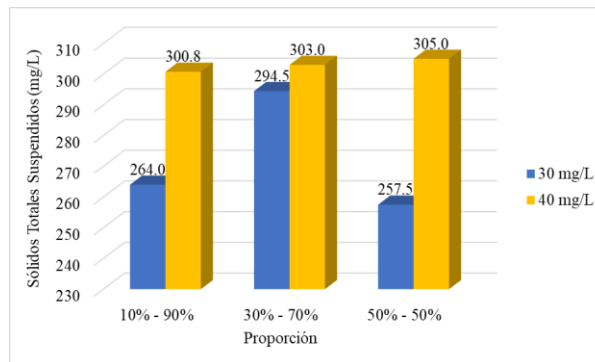


Fig. 5 Resultados de Sólidos Totales Suspendidos

En la Figura 6 se obtuvieron los resultados de la eficiencia del coagulante natural, obteniendo como resultados que con una concentración de coagulante de 30 mg/L, 96.1% con la proporción de 10% - 90%, 96.3% con la proporción de 30% - 70% y 92.8% con la proporción de 50% - 50%, y con una concentración de coagulante de 40 mg/L se obtuvo resultados de 95.1% con la proporción de 10% - 90%, 94.4% con la proporción de 30% - 70% y 94% con la proporción de 50% - 50%.

Los resultados muestran que la concentración de 30 mg/L con una proporción de 30% de mucílago de nopal y 70% sulfato de aluminio alcanza una mejor eficiencia del coagulante ya que logra remover la mayor cantidad de turbidez, logrando una mayor clarificación del agua, caso contrario ocurre con la concentración de 40 mg/L a una proporción de 50% de coagulante natural - 50% sulfato de aluminio.

La eficacia del coagulante en la clarificación se evaluó determinando la reducción de los valores iniciales de Turbidez. El estudio observó diferencias significativas en la eficacia del proceso de clarificación entre varios tratamientos. Todos los tratamientos empleados dieron como resultado una eficacia de más del 96%. El tratamiento con una concentración de 30 mg/L y una proporción de 30 % - 70 % demostró la mayor eficacia, con una eliminación de la turbidez de aproximadamente el 96 %. Los resultados de eficacia superaron los informados por la referencia [10], quienes lograron una eficacia del 90% usando nopal en conjunto con cloruro de aluminio, y del 70% usando nopal solo.

Con el fin de determinar la dosis ideal de coagulantes para mejorar la claridad del agua turbia, se realizó un análisis basado en los estándares peruanos para la calidad del agua potable definidos por la referencia [8]. La eficacia de los coagulantes se determinó midiendo la reducción de los valores de turbidez, refiriéndose la turbidez residual (RT) a la turbidez de la muestra según la referencia [9]

De igual forma, los resultados superaron los reportados por la referencia [11] quienes lograron un porcentaje de remoción de turbiedad de hasta 93.78%, y por la referencia [12], quienes lograron un porcentaje de 65% utilizando solo opuntia como coagulante, el cual es inferior a los resultados obtenidos utilizando coagulantes conocidos como el sulfato de Al o el cloruro férrico.

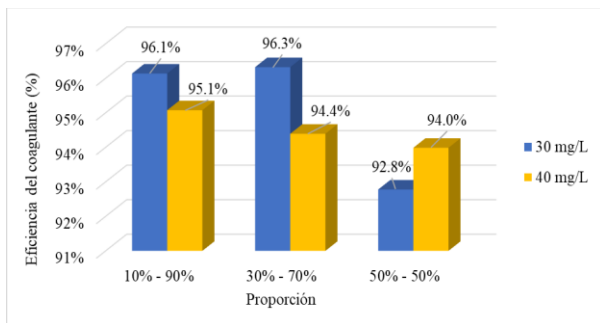


Fig. 6 Resultados de Eficiencia el coagulante

La clarificación del agua para riego por goteo utilizando coagulante natural a base de nopal cactus mucilago es una alternativa viable y sostenible en comparación con el uso de coagulantes sintéticos importados. El coagulante natural presenta un costo menor, aumenta la eficiencia del riego, reduce el impacto ambiental y genera un ahorro de divisas. Se recomienda implementar esta tecnología de forma parcial y complementaria a los coagulantes sintéticos, aprovechando sus ventajas económicas y ambientales, mientras se continúa investigando para optimizar su uso y ampliar su aplicación. La clarificación del agua del río Moche puede aumentar la productividad agrícola debido a que el agua tratada tendrá una menor turbidez, un pH más adecuado y un menor contenido de sólidos suspendidos, lo que permitirá que las plantas absorban mejor los nutrientes y crezcan con mayor vigor.

#### IV. CONCLUSIONES

Se determinó que la proporción y la concentración del coagulante natural obtenido del cactus de nopal influye positivamente sobre la turbidez, sólidos suspendidos totales, pH y la eficiencia, logrando una mayor clarificación de las aguas del río moche para ser utilizadas para riego por goteo.

Se determinó la influencia de la proporción y concentración del coagulante natural obtenido del cactus de nopal sobre la turbidez de las aguas del río moche para riego por goteo según la normativa del DS N° 004-2017-MINAM, logrando reducir la turbidez de 621 NTU obtenida inicialmente del agua sin tratar a 22.8 NTU con una concentración de 30 mg/L y una proporción de 30% de coagulante natural de nopal con 70% de sulfato de aluminio.

Se determinó la influencia de la proporción y concentración del coagulante natural obtenido del cactus de nopal sobre los sólidos suspendidos totales de las aguas del río moche para riego por goteo según la normativa del DS N° 004-2017-MINAM, logrando disminuir los sólidos suspendidos totales de 289 mg/L obtenida inicialmente del agua sin tratar a 257.5 mg/L con una concentración de 30 mg/L y una proporción de 50% de coagulante natural de nopal con 50% de sulfato de aluminio.

Se determinó la influencia de la proporción y concentración del coagulante natural obtenido del cactus de nopal sobre el pH de las aguas del río moche para riego por goteo según la normativa del DS N° 004-2017-MINAM, logrando aumentar el pH de 1.39 obtenida inicialmente del agua sin tratar a 5.43 con una concentración de 40 mg/L y una proporción de 50% de coagulante natural con 50% de sulfato de aluminio.

Se determinó la influencia de la proporción y concentración del coagulante natural obtenido del cactus de nopal sobre la eficiencia del coagulante de las aguas del río moche para riego por goteo según la normativa del DS N° 004-2017-MINAM, logrando la mayor eficiencia del coagulante de 96.3% una concentración de 30 mg/L y una proporción de 30% de coagulante natural con 70% de sulfato de aluminio, siendo esta la dosificación adecuada para obtener los mejores resultados.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al laboratorio de Materiales Cerámicos de la Universidad Nacional de Trujillo y a la Universidad Privada del Norte por su apoyo para la realización de esta investigación.

## REFERENCIAS

- [1] Tarrillo P., H. K., & Ternorio B., M. B. (2020). Eficiencia del coagulante–floculante tuna (opuntia FICUS) para la clarificación de las aguas de la acequia el pueblo de ferreñafe-2019.
- [2] Carrasquero, S. , Flores, S. , Perche, E., Ferrer, P., Leal, J., & Montiel, A. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(2), 90-99. <https://doi.org/10.18359/rfcb>.
- [3] Olivero V., R. E., Aguas M., Y. del R., Mercado M., I. D., Casas C., D. P., & Montes G., L. E. (2014). Utilización de Tuna (opuntia ficus-indica) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Avances Investigación En Ingeniería*, 11(1), 70–75. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.302>
- [4] Barreto, S., Vargas, D. K., Ruiz, L., & Gómez, S. L. (2020). Evaluación de coagulantes naturales en la clarificación de aguas. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 11(1). <https://doi.org/10.22490/21456453.3081>
- [5] Hansel Camacho-Oviedo, Campos-Núñez, D., Ivan Mercado Martinez, Néstor Cubillán-Acosta, & Grey Castellar-Ortega. (2020). Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum* L) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo. *Investigación E Innovación En Ingenierías*, 100–111. <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>
- [6] Vargas, J. (2018). Comparación de la capacidad coagulante del opuntia ficus indica mill de tres departamentos para el tratamiento de aguas del Rio Chillón-AAHH Santa Cruz del Norte-Lima 2018. [Tesis de grado]. Repositorio de la Universidad César Vallejo, Lima, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/21095>
- [7] Lozano Florián, L. L. (2018). Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de Opuntia ficus-indica (Tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018. [Tesis de grado]. Repositorio de la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrel, Cajamarca, Perú. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/721>
- [8] Ministerio del Medio Ambiente (2017). Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para-Agua y establecen Disposiciones Complementarias. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>
- [9] Miller, S., Fugate, E., Craver, V., Smith, J. and Zimmerman, J. (2008). Toward understanding the efficacy and mechanism of Opuntia ssp. as a natural coagulant for potential application in water treatment. *Environmental Science & Technology*, 42 (12), 4274-4279.
- [10] Zhang, J., Zhang, F., Luo, Y., & Yang, H. (2006). A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment. *Process Biochemistry*, 41(3), 730–733. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.08.016>
- [11] Parra, Y., Cedeño, M., García, M., Mendoza, I., González, Y., & Fuentes, L. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de Opuntia wentiana (Britton & Rose)/(Cactaceae). *Redieluz*, 1(1), 27-33.
- [12] Carpinteyro-Urban, S., Vaca, M., & Torres, L. G. (2012). Can vegetal biopolymers work as coagulant–floculant aids in the treatment of high-load cosmetic industrial wastewaters?. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223, 4925-4936.