



Evaluación de aguas residuales bajo el tratamiento a diferentes temperaturas de coagulación- floculación con semillas de Durazno (*Prunus pérsica*), Tuna (*Opuntia ficus indica*) y cáscara de Papa (*Solanum tuberosum*) del río Jillusaya

Evaluation of wastewater under treatment at different coagulation-flocculation temperatures with seeds of Peach (*Prunus pérsica*), Prickly pear (*Opuntia ficus indica*) and Potato peel (*Solanum tuberosum*) from the Jillusaya river

Pablo Daniel Quino Quispe

RESUMEN:

El agua siendo el elemento primordial para cualquier tipo de organismo vivo en la tierra y que este es un recurso no renovable, el ser humano se ve forzado a aplicar técnicas para su reutilización. Siendo la coagulación y floculación un proceso físico de tratamiento de agua, en el ensayo hubo mayor impacto en la alteración de parámetros físicos iniciales de muestras de agua, como ser turbiedad, sólidos totales y sólidos suspendidos, sin embargo no mostró cambios considerables en parámetros químicos como sólidos disueltos, pH, conductividad eléctrica, cationes y aniones. Para el estudio se tomó como alternativa los vegetales como coagulantes y floculantes naturales comparándolo con el sulfato de aluminio de origen químico siendo el más utilizado para este fin, siendo que el sulfato es altamente cancerígeno. En este estudio se considera que la temperatura es un factor determinante por lo cual se hizo las pruebas correspondientes a diferentes temperaturas, tomando como temperatura inicial 19°C, 22°C y 25°C. Los parámetros físicos mostraron mejores resultados con el sulfato de aluminio a 25°C sin embargo se obtuvo resultados similares con el almidón de cascara de papa a 19°C. Los parámetros químicos fueron los menos afectados debido a que es un tratamiento de naturaleza química, sin embargo se muestra los resultados en el presente documento. Todos estos parámetros fueron comparados con los límites permisibles del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley Medio Ambiente N°1333, observando cambios de aguas de tipo clase C a aguas de tipo clase A y B, después de la aplicación de coagulantes vegetales y/o químicos, también sucedió el proceso inverso de cambio de clase de agua con algunos tratamientos.

PALABRAS CLAVE:

Coagulación, floculación, residual.

ABSTRACT:

Water being the primary element for any type of living organism on earth and that this is a non-renewable resource, the human being is forced to apply techniques for its reuse. Coagulation and flocculation being a physical process of water treatment, in the trial there was a greater impact on the alteration of initial physical parameters of water samples, such as turbidity, total solids and suspended solids, however it did not show considerable changes in chemical parameters as dissolved solids, pH, electrical conductivity, cations and anions. For the study, vegetables were taken as an alternative to natural coagulants and flocculants compared to aluminum sulfate of chemical origin, being the most used for this purpose, since sulfate is highly carcinogenic. In this study, temperature is considered to be a determining factor, which is why the tests were carried out at different temperatures, taking as initial temperature 19 °C, 22 °C and 25 °C. The physical parameters showed better results with aluminum sulfate at 25 °C, however, similar results were obtained with potato peel starch at 19 °C. The chemical parameters were the least affected because it is a chemical treatment, however the results are shown in this document. All these parameters were compared with the permissible limits of the Water Pollution Regulation of Environment Law No. 1333, observing changes from class C water to class A and B type water, after the application of vegetable coagulants and / or chemical, the reverse process of changing the water class with some treatments also happened.

KEYWORDS:

Coagulation, flocculation, residual.

AUTOR:

Pablo Daniel Quino Quispe: Carrera Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. padaqui.1994@gmail.com

Recibido: 25/11/2019. **Aprobado:** 25/02/2020.



INTRODUCCION

El agua sin duda es el recurso esencial para la supervivencia de la humanidad, para el desarrollo económico, sanitario y social de las

poblaciones, así como para el mantenimiento del equilibrio ambiental de los ecosistemas.

Conforme las industrias van evacuando aguas contaminadas a los ríos del país, los cauces naturales alteran su composición química física y en algunos casos con efectos graves aguas abajo.

Esto conlleva que la calidad de las aguas sea mala para el uso agropecuario, parámetros como sólidos suspendidos, disueltos, gases se encuentran en mayores concentraciones que podrían ocasionar efectos negativos a quien lo use aguas abajo.

La ley de Medio Ambiente N° 1333, bajo el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, clasifica los cuerpos de agua en cuatro clases A, B, C y D, las tres primeras se consideran aptas para riego de hortalizas de consumo crudo y de frutas de pepita y carozo, que sean digeridas crudas; mientras que la clase D, no se considera apta para riego.

La presente investigación tiene el propósito de evaluar la posibilidad técnica y ambiental de utilizar coagulantes-floculantes naturales en la remoción de la turbidez de las aguas del Río Jillusaya de la localidad de Cota Cota, la que consiste en aplicar un sistema de tratamiento primario con el uso de “energías limpias” como coagulantes de origen vegetal semillas de durazno, pencas de tuna y almidón de cascara papa, con la aplicación de tres temperaturas al agua en este proceso.

La coagulación-floculación es el proceso físico principal más importante debido a la decantación de los sólidos presentes en el agua, esto se traduce en una transparencia del líquido.

La floculación se puede definir como la aglutinación de partículas desestabilizadas por la coagulación, el propósito de la floculación es a su vez eliminar partículas de color, turbiedad y bacterias en grandes copos, ya sea como precipitados o partículas en suspensión.

Los coagulantes juegan un papel altamente importante en el tratamiento de agua

potable, especialmente para el consumo del ser humano y no menos importante en las actividades agropecuarias.

El sulfato de aluminio utilizado en la potabilización de aguas y la alúmina, son los coagulantes químicos más comunes utilizados en el proceso de coagulación; Sin embargo, algunos inconvenientes se han señalado sobre la conveniencia de introducir aluminio en el medio ambiente, ya que induce la enfermedad de Alzheimer, enfermedad causada debido a las propiedades cancerígenas de este elemento.

En la actualidad la disponibilidad de agua es cada vez más restringida para fines de consumo en el mundo, el 2013 la Contraloría General del Estado emitió un informe de auditoría ambiental respecto a la contaminación en la cuenca del Río La Paz, el cual con el empleo del índice de calidad de agua (ICA) en la cuenca de Achumani, Río Irpavi muestran una calidad mala en el rango del ICA, por lo cual es más limitada para el uso en el riego por sectores colindantes, por ello es necesario optar por la reutilización de aguas con altos niveles de turbiedad de los ríos de La Paz, caso de estudio del Río Jillusaya, para luego utilizar en riego y otros usos, de esta manera contribuir con la eficiencia del uso de aguas residuales.

Es importante probar el uso de energías limpias con vegetales nativos, para el tratamiento de aguas turbias – residuales, y no así adoptar el uso de químicos como los sulfatos que son altamente cancerígenos. Por lo señalado el presente estudio plantea el uso de coagulantes de origen vegetal con la variación de temperatura aplicada al proceso y analizar los efectos positivos o negativos que repercutirá en los cambios de los parámetros estudiados.

METODOLOGIA

Compilación de los Coagulantes Vegetales

Tuna (Opuntia ficus indica)

Esta especie se recolectó de la Estación Experimental de Cota Cota dependiente de la Facultad de Agronomía con el siguiente procedimiento; extracción de las pencas de tuna con ayuda de un machete obteniendo un peso aproximado de 1 Kg de la misma.

Durazno (Prunus persica)

Esta especie se colectó las semillas de los productores artesanales de jugos con duraznos mitades del Municipio de Sapahaqui, aproximadamente se hizo la colecta de 1 Kg de semillas de durazno.

Cáscara de papa (Solanum tuberosum)

Este Producto de recolectó de la fábrica artesanal de papas fritas Ubicado en la ciudad de el Alto, Zona de Villa Dolores, aproximadamente se recolectó una cantidad de 1 Kg, del cual para el procedimiento de se utilizó el almidón y fracciones de la cascara extraídas en laboratorio.

Caracterización de los Coagulantes Vegetales

Determinación de humedad

Utilizando un método gravimétrico se pesó una muestra de 6 g de las especies sin alterarlas, los cuales fueron pasados a la estufa de secado a 110°C durante 1 ½ hora, para posteriormente sacarlos al desecador para que el mismo estabilice las muestras a temperatura ambiente. Finalmente fue pesado y por diferencia se obtuvo la cantidad de agua que contiene cada muestra.

Determinación de cenizas

Se trabajó con muestras secas y finamente molidas (la cascara de papa de hizo un previo lavado para quitar los restos de suelo presentes), los crisoles a utilizarse se hicieron secar previamente a estufa a 110 ° C durante media hora. Posterior a eso se hizo el tarado de 1 g de muestra vegetal de cada especie en el crisol seco y estas muestras fueron llevadas a hornilla eléctricas con el fin de calcinar las mismas para

eliminar los residuos orgánicos, una vez calcinadas estas muestras se llevaron a la mufla a 550 °C durante una hora hasta que cambien a tonalidad gris. Finalmente, estas muestras fueron llevadas al desecador, posterior a eso fueron taradas y por diferencia se hizo la determinación del porcentaje de cenizas (residuos inorgánicos).

Determinación de lípidos

Se realizó la determinación de grasa por el método soxlet, Se trabajó con muestras secas y finamente molidas (la cascara de papa de hizo un previo lavado para quitar los restos de suelo presentes).

Se realizó el pesado del dedal de celulosa previamente secado a 110 °C por media hora, en el dedal se puso 2 g de la muestra vegetal seca y finamente molida, tapando el mismo con algodón para evitar pérdidas de muestra, este dedal se introdujo al sistema soxlet llenando de disolvente éter hasta que cubra el mismo, este solvente se calentó a 40 °C – 60 °C durante tres horas para el lavado de los lípidos. Finalmente se hizo la separación de la solución lípido – éter con el sistema del rotavapor con doble propósito (recuperación del éter y obtención del lípido). Este dedal se lo llevo a estufa de secado por una hora y media para eliminación de humedad y su posterior pesado con la cual finalmente se determinó por diferencia la concentración de lípido que contenía cada muestra.

Preparación de los extractos coagulantes vegetales

Extracción de la harina de pencas de tuna.

Para empezar, se retiró las espinas de dos pencas grandes, para realizar la molienda en una licuadora con agua destilada en proporción 1:1.

Una vez las muestras estén bien molidas se las paso por un tamiz N° 60 (0,250mm), con el fin de eliminar la fibra y restos de epidermis, y así solo quedarnos con la parte líquida de esta solución, dentro del cual está el mucilago que será el coagulante vegetal. Finalmente, esta

muestra húmeda paso a estufa de secado a 105 °C, obtenido la masa seca de mucilago fueron trituradas en moladora manual y morteros, para ser pasadas finalmente por un tamiz Nro. 60 (0,250mm) quedándonos con el mucilago en polvo para el ensayo.

Extracción de la harina de semillas de durazno

A 500 gramos de semillas se quitaron la parte dura del endocarpio para quedarnos con la semilla propiamente dicha. Estas semillas fueron trituradas con el molador manual posterior a ello se los llevaron a estufa de secado a 105 °C hasta que los mismos quedaron completamente secos, las muestras secas fueron nuevamente molidas en un molador manual y mortero. Finalmente, las muestras pasaron por el procedimiento SOXHLET para eliminar los lípidos que contiene el mismo, finalmente las muestras se las pasaron por la estufa de secado y después finamente molidas se las pasaron por un tamiz Nro. 60 (0,250mm).

Extracción de harina de cascara de papa

Una vez recolectadas los 500 gr de cascara de papa se realizó el lavado y desinfección del mismo.

Se secaron las muestras en estufa de secado a 105 °C hasta eliminar la humedad del mismo para posteriormente ser pasador por una moladora manual y morteros, finalmente se las pasaron por un tamiz Nro. 60 (0,250mm).

Muestreo de Agua del Río Jillusaya

Este punto se ubicó en la entrada del agua del Río Jillusaya a la Estación Experimental.

El muestreo se realizó en horas de la mañana 05:00am para evitar posibles alteraciones en la muestra debido a que aguas arriba realizan el lavado de arena, ropa y actividades agrícolas a partir de las 06:00 am. El caudal se hizo la medición con el método del flotador haciendo tres repeticiones para obtener un dato de confianza, el muestreo fue realizado en época seca en el mes de julio.

Se tomaron muestras simples para determinar cuantitativamente la calidad del agua del punto de muestreo antes y después del tratamiento. Se tomó 8 muestras simples de 10 L. para compilar en laboratorio las muestras simples en un turril de 200 L previamente lavado con agua del río tres veces para evitar alterar las muestras, el fin del mismo fue de obtener 80 L de una muestra homogénea.

Para homogeneizar cada vez que se extraiga una alícuota de la muestra se utilizó un embolo de 40 cm de diámetro fabricado artesanalmente.

Tratamiento del agua (simulación de prueba de jarras).

Este procedimiento se realizó utilizando un agitador de paleta y una muestra de agua turbia residual de 1 L en vasos de precipitados de su misma capacidad.

Se procedió a activar el agitador y operarlo durante un minuto a una velocidad de 100 rpm (revoluciones por minuto), en este lapso de tiempo se agregaron los coagulantes vegetales orgánicos e inorgánicos, con una dosis de 160 mg L⁻¹, este lapso las partículas inmersas en el agua entraron en un proceso de desestabilización.

Posteriormente se bajó la velocidad para un mezclado lento por 15 minutos a 40 rpm con la finalidad de facilitar el choque lento de unas partículas con otras para la coagulación y floculación de las ya macropartículas, una vez que transcurre el periodo de agitación se levantaron las paletas y se dejaron sedimentar por 30 minutos.

Después de la sedimentación de cada muestra se extrajo 800 mL de muestra de 4 a 5 cm de profundidad desde la superficie del líquido, este procedimiento se realizó con la ayuda de una manguera de suero (sifón) a frascos previamente lavados y desinfectados, a estas muestras tratadas de determinaron los parámetros físico – químicos de interés.

Análisis Físico – Químico de Aguas Turbias Residuales Tratadas

pH (Potencial de Hidrógeno)

Este parámetro de potencial de hidrógenos se realizó las mediciones con un equipo previamente calibrado de la marca OAKTON modelo Ph-700, el cual mide los parámetros de PH, conductividad eléctrica, temperatura y solidos totales disueltos.

Índice de turbiedad

Para este parámetro se utilizó una alícuota de 100 ml de muestras ya tratadas a diferentes temperaturas de coagulación y floculación con diferentes coagulantes vegetales los cuales fueron valorados con un nefelómetro.

Conductividad Eléctrica

Se utilizó un medidor de conductividad marca OAKTON PC700.

Sólidos totales (ST)

Se usó el método gravimétrico, se realizó la extracción de una alícuota de 50 ml de muestra de agua, con el objetivo de eliminar la humedad en la estufa eléctrica y solo quedar con los sólidos y ser tarados.

Sólidos totales suspendidos (STS)

Se usó el método gravimétrico, el principio baso en utilizar una alícuota de 100 ml de muestra de agua, el cual se pasó por un embudo de vidrio con papel filtro para retener los sólidos suspendidos y hallar el peso del mismo secando el contenido en el papel filtro.

Sólidos totales disueltos (STD)

Este parámetro se lo determino con dos métodos para la comparación de valores entre estos, el primer método consistió en lectura directa de con un equipo pH metro OAKTON PC 700, que cuenta con sensores de TDS (solidos totales disueltos), los cuales fueron registrados en planillas para su posterior comparación y promediar los datos. El segundo método

consistió en la aplicación de la fórmula de sumatoria de solidos totales.

Calcio y magnesio

Estos parámetros se los determino con un método de absorción atómica, con el equipo de espectrofotometría de absorción atómica para el cual se utilizó alícuotas de 10 mL de muestra problema.

Sodio y Potasio

Estos dos parámetros de los determino con el método de flamometría, con el equipo de absorción atómica para el cual se utilizó alícuotas de 10 ml de cada una de las muestras, se creó la curva de dispersión de datos en el equipo con soluciones de concentraciones conocidas previamente estandarizadas, para darles las lecturas directas correspondientes a las muestras problema.

Carbonatos y Bicarbonatos

Para este parámetro se utilizó el método volumétrico, con un principio químico de titulaciones o valoraciones, para el cual se utilizó 5 ml de muestra problema, 30 ml de agua destilada, introduciendo gotas de fenolftaleína como indicador para carbonatos y naranja de metilo para bicarbonatos, así esta mezcla ser valorada con soluciones de ácido clorhídrico al 0,02N hasta el viraje de coloración.

Cloruros

Este parámetro se llevó acabo con un método volumétrico, Se tomó 100 mL de muestra o una porción de ella diluida a 100 mL, en un matraz Erlenmeyer de 250 mL.

Luego se ajustó el pH de la muestra a un rango de 7 a 10, utilizando solución de ácido sulfúrico 1 N, o solución de hidróxido de sodio 1 N, se adicionó 1 mL aproximadamente de solución indicador de K_2CrO_4 y se procedió a titular con solución de Nitrato de plata estandarizada. Hasta el punto final indicado por

el viraje del indicador a leve coloración rojo ladrillo.

RESULTADOS Y DISCUCIONES

Características Físico Químicas de los Coagulantes Vegetales

En la siguiente tabla se muestra los porcentajes promedios de humedad, lípidos y cenizas que están presentes en los vegetales utilizados en los tratamientos, los cuales serán determinantes para la eficacia del proceso de coagulación-floculación.

Tabla 1. Caracterización de especies vegetales.

N°	Vegetal	Humedad promedio (%)	Lípidos promedio (%)	Cenizas promedio (%)
1	Pencas de tuna	84,18	0,36	1,03
2	Cascara de papa	72,91	1,08	1,10
3	Semilla de durazno	32,20	43,32	2,57

Características Físico Químicas de las muestras de agua después de los tratamientos

Índice de turbiedad

El dato inicial de turbiedad en agua sin tratamiento fue de 45,8 UNT siendo de clase “B” bajo el Reglamento en Materia de Contaminación hídrica) de la Ley del Medio Ambiente 1333, después de ser tratadas con tres coagulantes vegetales y uno químico a tres temperaturas de coagulación y floculación se produjeron los resultados que se muestran en la figura 1.

Recalcando que como mejor tratamiento en global se tuvo con el $Al_2(SO_4)_3$ a 25 °C con turbiedad de 0,74 UNT, destacando el tratamiento con almidón de cascara de papa a 19°C con turbiedad de 1,93 UNT y como el

menos eficaz la semilla de durazno a 19°C con 4,64 UNT.

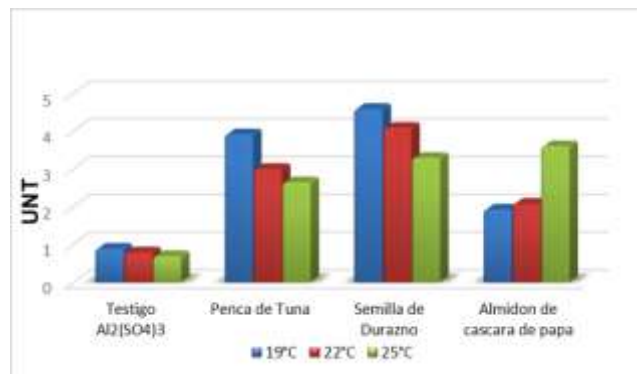


Figura 1. Índice de turbiedad promedio después de la aplicación de diferentes coagulantes vegetales a diferentes temperaturas.

pH (potencial de hidrógeno)

El dato inicial de turbiedad en agua sin tratamiento fue de 7,20 siendo de clase “A”

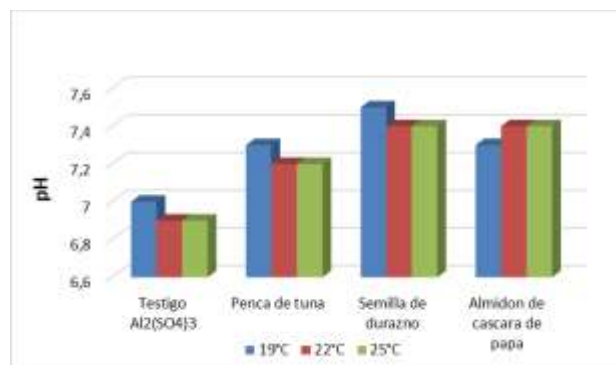


Figura 2. Potencial de hidrogeno (PH) después de tratamientos con diferentes coagulantes a diferentes temperaturas.

Como mejor tratamiento se tiene a la semilla de durazno a 19 °C alcalinizándolo a un pH de 7,54, así mismo el coagulante químico mostro una acidificación del agua con pH de 6,92 el cual se debe al aluminio presente en este compuesto.

Conductividad Eléctrica (C.E.)

El valor inicial promedio de aguas del Rio Jillusaya sin alteraciones fue de 738,5 $\mu s\ cm^{-1}$

clase “A” del cual se parte con agua sin problemas de salinidad y bajas concentraciones de solidos totales disueltos.

El que mejor resultados mostro fue el almidón de cascara de papa a 19°C con un valor de 665,82 $\mu\text{S cm}^{-1}$ seguido del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ a 25°C con un valor de 697,37 $\mu\text{S cm}^{-1}$, y como el tratamiento menos eficaz se obtuvo con las semillas de durazno a 19°C con un valor de 772,24 $\mu\text{S cm}^{-1}$, estos datos están reflejados en la figura 3.



Figura 3. Conductividad eléctrica después de tratamientos con diferentes coagulantes a diferentes temperaturas.

Solidos Totales (ST)

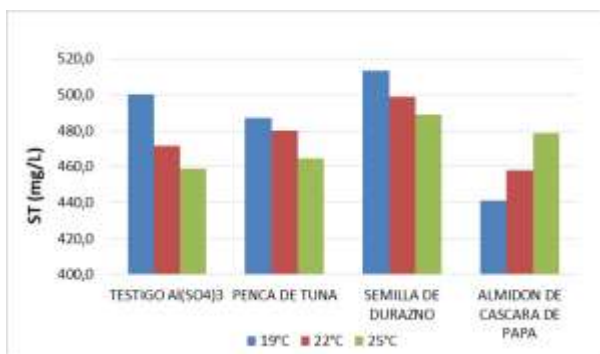


Figura 4. Solidos totales después de los tratamientos con diferentes coagulantes a diferentes temperaturas.

El valor inicial de este parámetro antes del tratamiento fue de 545,32 mg L^{-1} , así mismo el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ a 25°C se obtuvo una concentración

de 458,96 mg L^{-1} siendo el tercer mejor tratamiento. El mejor tratamiento fue con la aplicación de almidón de cascara de papa a 19°C con un valor de 440,99 mg L^{-1} , y como menos eficaz las semillas de durazno con un valor de 513,38 mg L^{-1} .

Solidos Totales Suspendidos (STS)

La concentración inicial de STS en las muestras antes de ser tratadas fue de 72,36 mg L^{-1} clase “D”

Una vez tratadas como mejor tratamiento se mostró el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ a 25°C con un valor de 1,17 mg L^{-1} , el coagulante vegetal que mejores cualidades mostro fue el almidón de cascara de papa a 19°C con concentración de 3,04 mg L^{-1} y como el menos eficaz la semillas de durazno a 19°C con un valor de 7,59 mg L^{-1} todos los datos proporcionados se muestran en la figura 5.

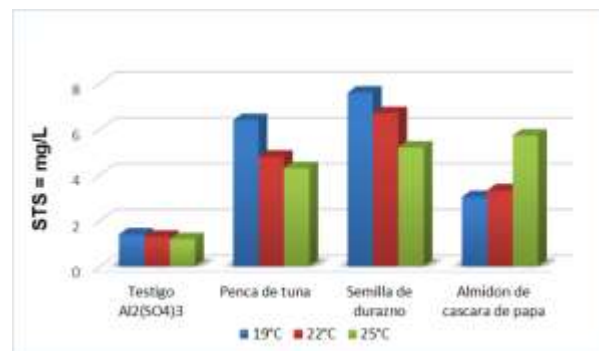


Figura 5. Solidos totales suspendidos después de los tratamientos con diferentes coagulantes a diferentes temperaturas.

Solidos Totales Disueltos (STD)

La concentración inicial de este parámetro fue de 473,00 mg L^{-1} el cual no presenta ninguna restricción en su uso.

Los mejores resultados para mejorar este parámetro se obtuvieron con el almidón de cascara de papa a 19°C con un valor de 437,96 mg L^{-1} seguidamente del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ a 25°C con un valor de 457,80 mg L^{-1} y como el peor

tratamiento se muestra las semillas de durazno a 19 °C con una concentración de 505,79 mg L⁻¹ mostrados en la siguiente figura.

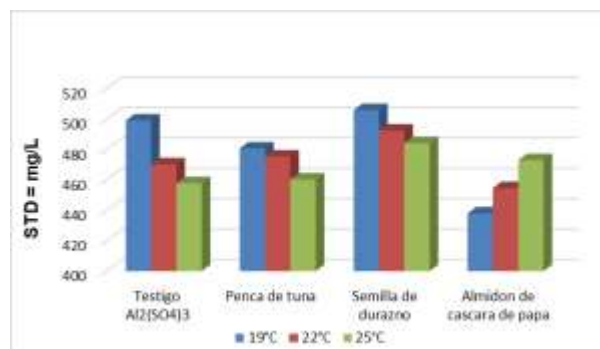


Figura 6. Solidos totales disueltos después de los tratamientos con diferentes coagulantes a diferentes temperaturas.

Sodio

La concentración inicial de sodio antes de someter a tratamiento fue de 72,40 mg L⁻¹ siendo de clase “A” según el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica.

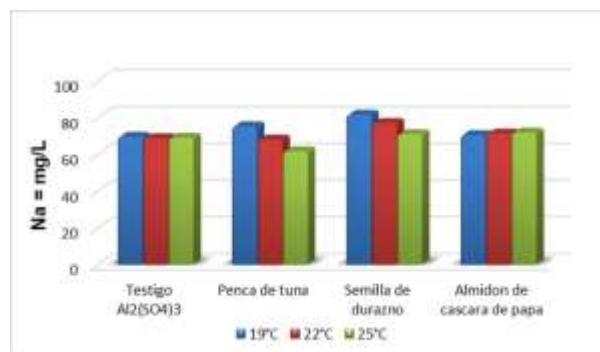


Figura 7. Concentración de sodio después de los tratamientos con diferentes coagulantes a diferentes temperaturas.

Como mejor tratamiento se pudo obtener con la aplicación de pencas de tuna a 25 °C con un valor de 61,83 mg L⁻¹, el mejor comportamiento del $Al_2(SO_4)_3$ fue a 22°C con concentración de 68,94 mg L⁻¹ y como el menos eficaz se dio la aplicación de semillas de durazno

a 19°C con un valor de 81,67 mg L⁻¹ incrementado el dato inicial.

Calcio

La concentración inicial fue de 38,74 mg L⁻¹ siendo de clase “A”, una vez tratadas se pudo evidenciar que el mejor tratamiento se lo obtuvo con la aplicación de almidón de cascara de papa a 19°C con 32,73 mg L⁻¹ seguidamente de las pencas de tuna a 19°C con un valor de 34,10 mg L⁻¹, el $Al_2(SO_4)_3$ a 25°C tuvo un valor de 36,11 mg L⁻¹ aun dentro de lo aceptable.

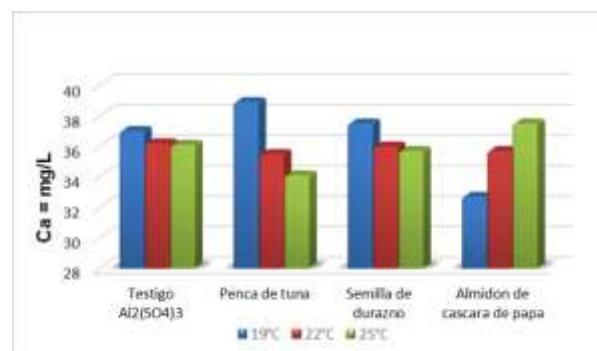


Figura 8. Concentración de calcio después de los tratamientos con diferentes coagulantes a diferentes temperaturas.

Magnesio

Inicialmente la concentración de magnesio presente en el agua antes de ser tratada fue de 11,03 mg L⁻¹ siendo de clase “A” según el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica.

El tratamiento que mejor reduce la concentración de este metal fue con la aplicación de almidón de cascara de papa a 19°C con 8,18 mg L⁻¹, así mismo el $Al_2(SO_4)_3$ a 25°C mostro una concentración de 10,65 mg L⁻¹, y finalmente el tratamiento menos eficaz fue la aplicación de semillas de durazno a 19°C con un valor de 13,00 mg L⁻¹.

Evaluación de aguas residuales bajo el tratamiento a diferentes temperaturas de coagulación-floculación con semillas de Durazno (*Prunus pérsica*), Tuna (*Opuntia ficus indica*) y cáscara de Papa (*Solanum tuberosum*) del río Jillusaya.

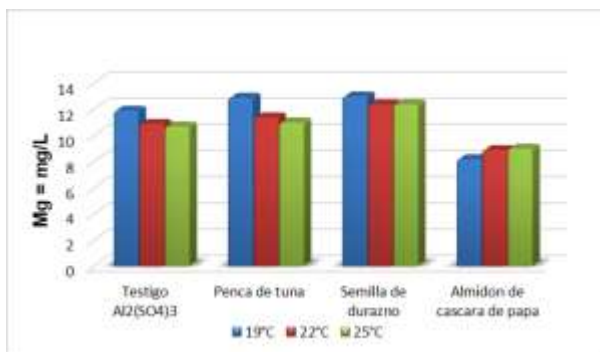


Figura 9. Concentración de magnesio después de los tratamientos con diferentes coagulantes a diferentes temperaturas.

Potasio

Se mostró un dato inicial sin alteraciones de $14,85 \text{ mg L}^{-1}$ de clase “A” lo que no presenta ninguna restricción en su uso agropecuario. Con el mejor tratamiento se obtuvo concentración de $8,42 \text{ mg L}^{-1}$ con la aplicación de $Al_2(SO_4)_3$ a 25°C , y como el menos eficaz con la aplicación de almidón de cascara de papa a 25°C con $11,48 \text{ mg L}^{-1}$, argumentando que el potasio solo presenta restricción cuando supera los 1000 mg L^{-1} .

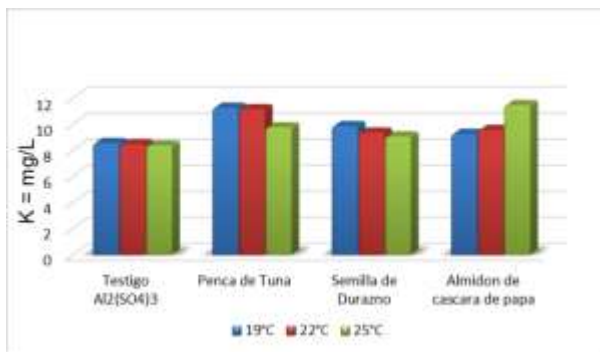


Figura 10. Concentración de potasio después de los tratamientos con diferentes coagulantes a diferentes temperaturas.

Carbonatos y bicarbonatos

En la prueba de carbonatos se demostró que no existía presencia de este ion. Sin embargo, existían bicarbonatos en una concentración

inicial de $316,67 \text{ mgL}^{-1}$ siendo de clase “B” según el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica.

El mejor tratamiento fu con $Al_2(SO_4)_3$ a 25°C $206,96 \text{ mgL}^{-1}$ de concentración de bicarbonatos, y como el menos eficiente la aplicación de semillas de durazno a 19°C con $288,16 \text{ mgL}^{-1}$ de bicarbonatos.

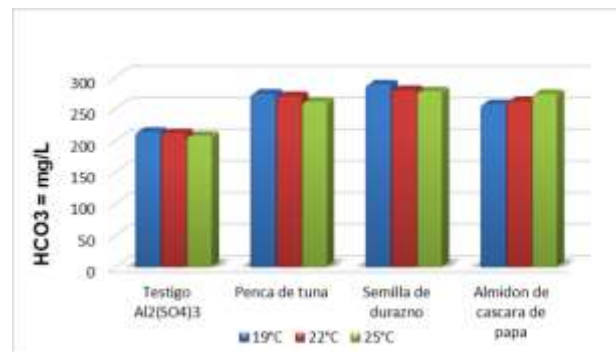


Figura 11. Concentración de bicarbonatos después de los tratamientos con diferentes coagulantes a diferentes temperaturas.

Cloruros

La concentración inicial de cloruros fue de $44,67 \text{ mg L}^{-1}$ siendo de clase “A”.

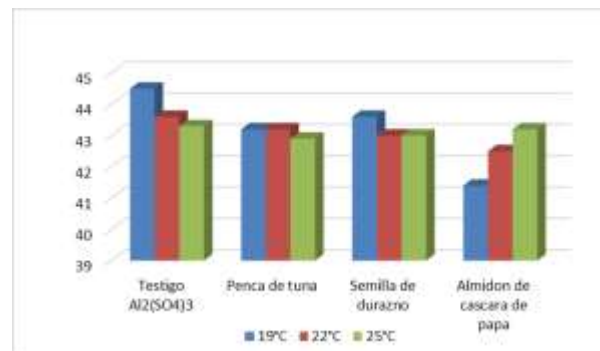


Figura 12. Concentración de cloruros después de los tratamientos con diferentes coagulantes a diferentes temperaturas.

Como mejor tratamiento fue con la aplicación de almidón de cascara de papa a 19°C con $41,44 \text{ mg L}^{-1}$, y con menor eficiencia la

aplicación de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ a 19°C con $44,48 \text{ mg L}^{-1}$, siendo que este ion es el que menos afectado al ser sometido a un tratamiento de naturaleza física.

Relación Absorción Sodio (RAS)

El cálculo de ras inicial fue de 2,55 el cual según la USDA se clasifica en agua baja en sodio S1.

Así mismo el mejor tratamiento se mostró con la aplicación de pencas de tuna a 25°C dando un valor de 2,35 de RAS, y como tratamiento menos eficiente fue con la aplicación de semillas de durazno a 19°C mostrando un valor de 2,92 de RAS, cabe mencionar que se produjo un aumento de este parámetro debido a su baja eficiencia de remoción y a presencia de sólidos disueltos.

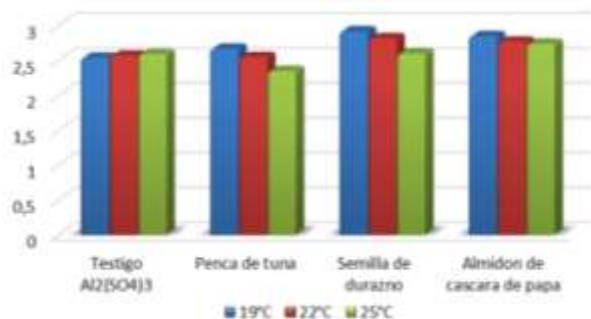


Figura 13. Relación absorción sodio después de los tratamientos con diferentes coagulantes a diferentes temperaturas.

CONCLUSIONES

Con respecto a los parámetros físicos-químicos de los vegetales se determinó la cantidad de lípidos cenizas y humedad que estos contienen, siendo así que la cantidad de lípidos fue uno de los factores que pudo determinar la eficiencia de remoción de sólidos en las muestras de agua.

Respecto al análisis de agua pretratamiento fue para conocer el punto de partida de los parámetros físicos y químicos y observar como estos fueron cambiando después

de los tratamientos con sulfatos y coagulantes vegetales.

Con relación a los tratamientos post tratamiento fue para ver cómo estos cambian, de los cuales ya fueron interpretados minuciosamente en los resultados, siendo así que los parámetros cambian drásticamente con la aplicación de sulfatos respecto a los coagulantes vegetales, así también la temperatura afecta de manera significativa a la variación de los resultado, como mejor alternativa al uso de químicos en cuanto a parámetros de esta naturaleza se recomienda el uso de cascara de papa a temperaturas ambiente como 19°C que mostro resultados similares al sulfato de aluminio, sin descartar el uso de pencas de tuna a temperaturas más elevadas como $(22-25)^\circ\text{C}$ que mostraron resultados semejantes a los de la cascara de papa.

En cuanto a parámetros químicos se pudo observar en los resultados una variación baja en la aplicación de diferentes coagulantes vegetales respecto al sulfato de aluminio, cabe recalcar que el sulfato de aluminio respecto a los coagulantes vegetales no afecta considerablemente al cambio de parámetros químicos, sin embargo ambos muestran una ligera mejora de estos parámetros por lo cual como alternativa se podría optar por la aplicación de la cascara de papa y pencas de tuna para tratamiento primario de aguas turbias residuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aceves, N. y Palacios, V. (1994). Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. p. 5-15.
- Almendares, N. (2004). Comprobación de la efectividad del coagulante (*Cochifloc*) en aguas del Lago de Managua. Mexico: Editorial Zeta-Meter.

- Arboleda, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. Tercera edición, Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria. Colombia: Mc Graw Hill.
- Ayers, R.S. y Westcot, D.W. (1987). La calidad del agua en la agricultura. Estudios FAO. Serie Riego y Drenaje. N°29 Edición FAO Roma. p. 89 – 95 del departamento de La Paz. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Puras y naturales. Carrera de Ciencias Químicas. UMSA La Paz Bolivia. 124 p.
- Carrasquero, S. (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, Volumen 13 (2) 2017, 90-99 pp.
- Castañeda, L. (2003). Revisión de nuevos criterios para el diseño, operación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas, y de escorrentía, (pp. 219-227). Recuperado de <https://www.researchgate.net/project/REVISION-DE-NUEVOS-CRITERIOS-PARA-EL-DISENO-OPERACION-DE-HUMEDALES-ARTIFICIALES-PARA-EL-TRATAMIENTO-DE-AGUAS-RESIDUALES-DOMESTICAS-Y-DE-ESCORRENTIA>.
- Coto, R. (2011). Estudio preliminar del uso de los coagulantes químicos en la coagulación-floculación de aguas residuales Tecnología en Marcha. (Tesis inédita de maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.
- Del Valle F, H. (1992). Prácticas de relaciones agua-suelo-atmosfera. Ed. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Dorea, C. (2006). Use of Moringa spp. seeds for coagulation a review of a sustainable option. *Water Science*, 6, (pp. 219-227).
- FAO, (1985). Water quality for agriculture. Irrig. and Drain. Paper N° 29. Roma.
- FAO, (1987). La calidad del agua en la agricultura. Roma. Estudio FAO riego y Drenaje 29 Rev1. Roma. p174.
- FAO, (2010). Experiencias en prácticas de manejo de aguas servidas para la Producción agrícola a pequeña escala. Santiago, Chile.
- Fernández, H., (2017). Fito remediación mediante cotiledones de durazno (*Prunus persica*) para reducción de turbidez y Escherichia coli de aguas domésticas. Tesis para obtener título profesional de ingeniera ambiental, Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Lima-Perú.
- Fuentes, J.L. (1998), Técnicas de riego. España. Ministerio de Pesca y Alimentación. Tercera edición. Barcelona, España, pp 447.
- Galvis, R. (2015). Coagulantes naturales de origen vegetal. Monografía de pregrado. Universidad del Tolima, Facultad de Ciencias Básicas, Barrio Santa Helena parte alta, Ibagué Tolima Colombia.
- Helmer, R. E. & Invalido, H., (1999). Control de la Contaminación del agua. CEEPIS. OPS/OMS. Lima Perú. p 546.
- Hernández, A. (1996). Depuración de aguas residuales. España: Editorial Paraninfo S.A. Recuperado de <http://www.forest.ula.ve/~rubenbg>.
- Hernández, R., (2002). Nutrición Mineral de las plantas. Libro Botánica Online Facultad de Ciencias Forestales. ULA. Mérida, Venezuela.

- Hildebrando, A., (2013). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. Facultad de ciencias básicas [en línea], no. 1. [Fecha de consulta: 11 de abril 2017]. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/viewFile/1303/1359>
- J.I.C.A., (1993), Estudio para el control de la contaminación del agua de los ríos. La Paz, Bolivia.
- Laura, M.S. (2005). Evaluación de las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas del río la paz y su efecto en el cultivo de lechuga en la localidad de Huayhuasi. (Tesis inédita de licenciatura). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz-Bolivia.
- LEY N°1333, (1995). Ley y Reglamento del Medio Ambiente. U.P.S Editorial s.r.l. La Paz Bolivia. 398 p.
- Mancilla, G., (2014). Potencial de hidrogeniones – pH. *Revista de Actualización Clínica Investiga, versión impresa* ISSN 2304-3768, 2 p.
- Martínez, R., (2012). Evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico, Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, programa de ingeniería química, Cartagena de Indias D.T. Y C.
- Martínez, S., (1999). *Parámetros de diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales*. México: Edit. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Masterton, W., Y Slowinski, E. (1974). Química General Superior. México.
- Medina, T. Gómez, A. Aragon, A. y Toro, V. (2006). Structural characteristics of gels formed by mixtures of carrageenan and mucilage gum from *Opuntia ficus-indica*. *Carbohydrate Polymers*, 63, 299-309. Recuperado de <http://worldwidescience.org/+opuntia+ficus-indica.html>.
- Medrano, w. V. (2001). Evaluación de la calidad de aguas residuales de la planta de tratamiento de alba rancho (Semapa) con fines de riego. s.e. Cochabamba, Bolivia.
- Metcalf y Eddy. (1995). Ingeniería de aguas residuales. Madrid España. Free libros. Recuperado de: https://www.academia.edu/35963101/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales_Volumen_1_3ra_Edici%C3%B3n_-_METCALF_and_EDDY-FREELIBROS.ORG.pdf
- MINSA, (2005). Reglamento de la calidad de agua para consumo humano. Lima-Perú: J.B. GRAFIC E.I.R.L. Recuperado de: www.minsa.gob.pe/bvsminsa.asp.
- Morales, S. (2011). Crecimiento, contenido de azúcares y capacidad de brotación en semilla de papa (*Solanum tuberosum*). Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias hortícolas, Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de fitotecnia, Instituto de hortícola. Chapingo-Mexico.
- Ochoa, R.R. (2009). Diseños Experimentales. La Paz – Bolivia: Ochoa.
- Olivero, R., (2014). Utilización de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. AVANCES Investigación en Ingeniería, Volumen 11, 73-74 pp.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, (1989), Directrices Sanitarias sobre el Uso de Aguas Residuales

- Pérez, J., (2011). Manual para determinar la calidad del agua para riego agrícola. Trabajo de experiencia recepcional. Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas. Xalapa de Enríquez, Veracruz. p41.
- Pompilio, C. (2013). Uso de floculantes de origen natural en el tratamiento del agua en términos de turbidez en el río Santa – Huaraz. (Tesis inédita de licenciatura). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho-Perú.
- PROYECTO BOL 8/007, (2005), “Contaminación orgánica e inorgánica en la cuenca del río Choqueyapu. Informe de la primera campaña de muestreo. Fase II. IBTEN / IIS / DCA. La Paz, Bolivia. s.e
- Quispe, J. G., (2016). Evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua de riego de la Estación Experimental de Cota Cota. (Tesis inédita de licenciatura). Universidad Mayor de San Andrés – Facultad de Agronomía, La Paz – Bolivia. Recuperado de <http://www.iwaponline.com/ws006010219.htm>.
- Robles M. (2012) Relación entre algunas propiedades fisicoquímicas y térmicas de gelatinización y retrogradación en almidón de papa nativa de Chiloé. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero en Alimentos. Valdivia. 2012.
- RODRIGUEZ, J.J. y Marín F. T. (2001). “Calidad de las Aguas para Uso Agrícolas”. Guía Técnica Postcosecha N° 2. San José Costa Rica.
- Rodríguez, S. (2005). Empleo de un producto Coagulante Natural para Clarificar por Ciencias químicas [en línea]. [fecha de consulta: 16 de abril 2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1816/181620511037.pdf>
- Romero, J. (2005). Calidad del agua. Colombia. p468.
- Sáenz, C., (1993). Alternativas de industrialización de la tuna (*Opuntia ficus-indica*). Revista de Alimentos, 18, 29-32. Recuperado de http://www.jpacd.org/downloads/Vol7/V7_3.pdf.
- Sáenz, C., Aliaga, E. y Aceituno, C. (2004). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*, 68, 534-545. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014019630600259X>.
- Samia, J. (1989). *Uso apropiado de coagulantes naturales africanos para el abastecimiento de agua en el medio rural*. Perú: CEPIS/OPS/OMS.
- Seoanez, M. (1999). Aguas residuales tratamiento por humedales artificiales. Fundamentos científicos, Tecnologías, Diseño. España. 320 p.
- Siles, A., Hitsuda, K. y Kobayashi, S. (1999). Evaluación de la calidad de aguas de ríos y pozos en las colonias japonesas en Bolivia. CETABOL. JICA. Santa Cruz Bolivia. 78 p.
- Singleton, P. (1985). British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks (BC MELP). Ambient Water Quality Guidelines for Turbidity, Suspended and Benthic Sediments. 1997.
- Tapia, L. A. (2004). Tratamiento de las Aguas Servidas: Situación en Chile. Ciencia & Trabajo, 111-117 pp.

- Terry, C.C; Gutiérrez J.B. y Albó M. (2010). Impactos ambientales de los constituyentes de las aguas residuales. Manejo de aguas residuales en la gestión ambiental. CIGEA. SBN 978-959-283-023-9. 31-32 pp.
- Urbano, T. (1995). Riego por goteo de la remolacha. (Informe número.1.). España: vida rural.
- Valentina Lazarova Akkicca Bahri. (2005). Water reusefor irrigation: agricultura, landscapes. And turf grass; CRC Press.408 p.
- Vargas, E. (1992). Estudio de la flora y vegetación de la cuenca del rio Jillusaya (Prov. Murillo, La Paz) como base para un futuro manejo. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Carrera de Biología. La Paz Bolivia. 97 p.
- Vásquez, A. (2000). Manejo de cuencas altoandinas. Tomo II. Escuela Superior de administración “Charles Sutton”. Impreso en el Perú. 516 p.
- Vázquez, O. (1994). *Extracción de Coagulantes Del Nopal y Aplicación en la Clarificación de Aguas Superficiales*, Mexico: Editorial Zeta-Meter.
- Zambrano, M. L., Hernández, A. D. y Gallardo, Y. (1998). Características fisicoquímicas del nopal. México: Edit. Instituto Politécnico Nacional.
- Zeballos, M. (2000). Estudio de los cambios en la composición florística, cobertura vegetal y fenología a lo largo de un ciclo anual en el área permanente de Cota – La Paz. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Carrera de Biología. La Paz Bolivia. 133 p.