

Eficiencia del tejido vegetal de *Armatocereus rauhii* subsp. balsasensis (F. Ritter) Ostolaza y *Espostoa mirabilis* F. Ritter (Cactaceae) en la remoción de sólidos suspendidos totales en el agua para consumo humano del distrito de Balzas – Amazonas

Efficiency of the vegetal tissue of *Armatocereus rauhii* subsp. Balsasensis (F. Ritter) Ostolaza and *Espostoa mirabilis* F. Ritter (Cactaceae) in the removal of total suspended solids in the water for human consumption of the district of Balzas - Amazonas



Resumen

Se estudió la eficiencia de *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R en la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) en el agua para consumo humano del distrito de Balzas - Amazonas, utilizando el tejido vegetal de las especies *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R., en relación masa - volumen de 25 g/L, 50 g/L y 75 g/L para los tratamientos y una adecuación de la metodología de prueba de jarras. El estudio se realizó directamente en el agua almacenada que abastece a la comunidad de Balzas para su consumo, presentando una turbiedad de 40.08 UNT que la hace no apta para consumo humano. Una vez efectuados los tratamientos, la turbiedad y sólidos suspendidos totales disminuye a un 39,47 % y a un 34,10 % con la especie de *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y usando *Espostoa mirabilis* R. disminuye a 27,45 % y 25,24 % respectivamente, la conductividad eléctrica se incrementa significativamente para ambas especies; en los análisis el pH disminuye de 8,33 a un intervalo de 7,34 a 6,72. Sin embargo, no todas las relaciones masa - volumen (g/L) de ambas especies de cactus lograron ser eficientes determinando así, que la relación masa - volumen de 25 g/L de tejido vegetal es el más óptimo

Palabras claves: Eficiencia, remoción de sólidos suspendidos totales, Balzas, *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R., *Espostoa mirabilis* R.

Abstract

The efficiency of *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. and *Espostoa mirabilis* R in the removal of total suspended solids (TSS) in water for human consumption in the district of Balzas - Amazonas, using the plant tissue of the species *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. and *Espostoa mirabilis* R., in relation mass - volume of 25 g / L, 50 g / L and 75 g / L for the treatments and an adaptation of the jar test methodology. The study was conducted directly in the stored water that supplies the community of Balzas for consumption, presenting a turbidity of 40.08 NTU that makes it unfit for human consumption. After the treatments, turbidity and total suspended solids decreased to 39.47% and to 34.10% with the species of *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. and using *Espostoa mirabilis* R. decreases to 27.45% and 25.24% respectively, the electrical conductivity increases significantly for both species; in the analyzes, the pH decreases from 8.33 to a range of 7.34 to 6.72. However, not all the mass - volume relationships (g / L) of both cactus species were able to be efficient, thus determining that the mass - volume ratio of 25 g / L of plant tissue is the most optimal

Key words: Efficiency, removal of total suspended solids, Balzas, *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R., *Espostoa mirabilis* R.

Citación: Escobal, L.; G. Chávez & M. Roncal. 2020. Eficiencia del tejido vegetal de *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* (F. Ritter) Ostolaza y *Espostoa mirabilis* F. Ritter (Cactaceae) en la remoción de sólidos suspendidos totales en el agua para consumo humano del distrito de Balsas-Amazonas. *Arnaldoa* 27 (1):157-168 <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.271.27108>

Introducción

La falta de agua segura para el consumo humano, de saneamiento y de higiene es uno de los principales y más urgentes problemas relacionados con la salud, prácticamente la décima parte de la carga global de enfermedades podría prevenirse mejorando el abastecimiento de agua, el saneamiento, la higiene y la gestión de

los recursos hídricos. Asegurar el acceso a las poblaciones pobres a agua segura para beber, a un saneamiento adecuado y favorecer la higiene personal, doméstica y comunitaria mejorará la calidad de vida de millones de personas (OMS 2012).

El agua destinada a la bebida y a la preparación de alimentos debe estar exenta de microorganismos capaces de provocar

enfermedades, de sustancias minerales y orgánicas que puedan ocasionar efectos fisiológicos perjudiciales, debe ser aceptable desde el punto de vista estético, es decir, debe estar exenta de turbiedad, color y sabor perceptibles, así como de sabores desagradables (Sánchez *et al.*, 2011).

En el Perú actualmente se usa como coagulante el Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, el cual se ha demostrado que puede ser nocivo para la salud de las personas si son ingeridos en altas concentraciones (OMS 2012). Por tal motivo, surge la necesidad de evaluar especies de origen vegetal, las cuales no son tóxicas para el consumo humano, comprobando su efectividad como clarificantes que permitan sustituir parcial o totalmente los productos químicos (Ramírez y Jaramillo 2015). El recurso más 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 es el recurso hídrico.

El agua que proveniente del suministro del distrito de Balzas no tiene las condiciones adecuadas para su consumo por la población, presenta grandes rasgos de turbiedad y sólidos en suspensión, que puede ocasionar grandes daños a la salud de los consumidores. La planta no cuenta con un sistema adecuado de tratamiento de agua para consumo humano.

El recurso hídrico es canalizado del río Hawái y conducida a una poza de almacenamiento, posterior a ello pasa por unos filtros de canto rodado y mediante la red de distribución es distribuido a todas las viviendas de la población de Balzas - Amazonas. Como se puede determinar este tratamiento no es el adecuado para un agua que va ser aprovechada por la población de una ciudad. El agua que es recogida de

sus cañerías, por la cantidad de sedimentos que trae consigo no puede ser usada en las actividades cotidianas, aun ni hirviendo el agua la turbiedad puede desaparecer. La población observa en el asiento de sus utensilios de cocina grandes cantidades de sedimentos, es esta la preocupación de encontrar una alternativa que ayude a controlar los sedimentos mejorando la calidad de vida de la población; el agua es indispensable para la vida, el ser vivo puede vivir sin muchas cosas, pero no sin agua. Sin embargo, en zonas de escasos recursos y de tecnología limitada, la utilización de tecnologías convencionales de potabilización no es viable ni adecuada, debido entre otros motivos a su elevado costo de inversión y gestión, y al mantenimiento que requieren. Este tipo de instalaciones se caracterizan por un importante desarrollo de infraestructura, personal cualificado para su explotación y adición de productos químicos necesarios para su funcionamiento. Es por eso la necesidad de buscar otra alternativa que remplace al tratamiento de potabilización convencional por uno que sea más accesible y que vaya de acorde a la economía. En el presente trabajo de investigación se utilizaron dos especies de cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* (F. Ritter) Ostolaza y *Espositoa mirabilis* F. Ritter (Cactaceae) en la remoción de sólidos suspendidos totales que por estar compuestos de polímeros son capaces de eliminar la turbiedad e impurezas del agua, metodología que está siendo ampliamente utilizada en varios países en vías de desarrollo y está generando resultados efectivos en la determinación de la calidad del agua

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el distrito de Balzas departamento de Amazonas,

situado entre los 6°50'14.67"S y 78° 1'14.44"O a 873 m.s.n.m. y en coordenadas UTM está situado a 0829326.929 E y 9243214,962N Zona 17S

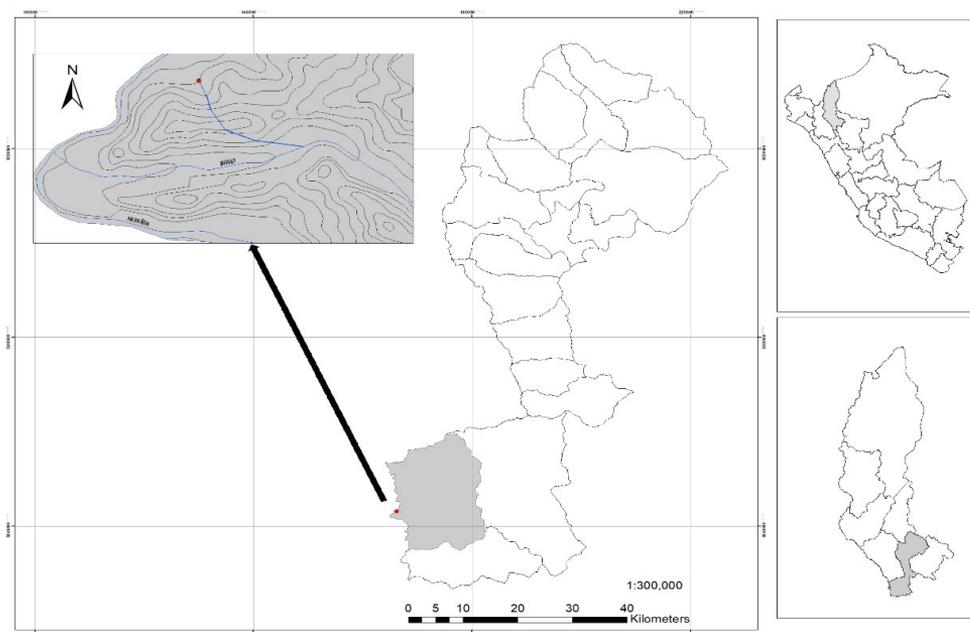


Fig. 1. Ubicación del suministro de agua para consumo humano del distrito de Balzas - Amazonas

En el trabajo de investigación utilizó como material experimental dos especies de cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* y *Espostoa mirabilis* (Cactaceae), así como muestras de agua de consumo humano del distrito de Balzas - Amazonas; del mismo se utilizó material y equipo de campo como un multiparametro y turbidimetro para la medición de los diferentes parámetros, se utilizó materiales y equipo de laboratorio para la determinación de los sólidos suspendidos totales. La metodología que se utilizó es una adecuación del método de prueba de jarras (Coto, 2011), que es ampliamente usado en los procesos de clarificación de agua. La cual consiste en colocar volúmenes de muestras de agua

turbia en diversos vasos de precipitación y diversas concentraciones de coagulantes que van a ser agitados al mismo tiempo por varios minutos y posteriormente dejados en reposo para determinar los parámetros a considerar; sólidos suspendidos, turbiedad, entre otros. Se siguió el mismo tratamiento para ambas especies (*Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* y *Espostoa mirabilis*) de la siguiente manera:

El proyecto de investigación utilizó un arreglo factorial de 3 x 2 con un total de 6 tratamientos, los cuales fueron distribuidos según el arreglo del diseño factorial ANOVA: Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo

Tabla 1. Distribución de tratamientos

Relación masa - volumen (g/L)	Tamaño de la muestra (L.)	Repeticiones	Tiempo de agitación (min.)	Tiempo de reposo (min.)
25	2	4	4	30
50	2	4	4	30
75	2	4	4	30

aleatorizado, considerando 4 evaluaciones, los que dan un total de 24 muestras experimentales, como muestra en la tabla 13 de anexos (Wiersma 1986).

Tabla 2. Factores y niveles utilizados en los tratamientos

FACTORES A (Especies de cactus)	NIVELES B (Relación masa - volumen g/L)		
	b1	b2	b3
	25	50	75
a1 <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	a1b1	a1b2	a1b3
a2 <i>Espositoa mirabilis</i> R.	a2b1	a2b2	a2b3

Se identificaron las dos especies de cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* y *Espositoa mirabilis* en el bosque seco del Marañón (BTS), a 20 minutos de la comunidad de Balzas; los pobladores de la comunidad utilizan el cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* conocido por ellos como “yonco” para clarificar el agua del río Marañón en época de lluvia, en esta época los sólidos aumentan en gran escala en el agua de sus grifos domiciliario. Los pobladores de la zona recomiendan que se identifiquen cactus solitarios que no cuente con ninguna rama adicional, identificando que esta especie este en la edad propicia que oscila entre 3 a 5 años, pues un cactus maduro no sería eficiente en la remoción de turbiedad ni de sólidos suspendidos y la especie de cactus *Espositoa mirabilis* tiene que tener una altura mayor a 1,5 m y un diámetro de altura de pecho (DAP) mayor a 5 cm.

Identificados los cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* y *Espositoa mirabilis* con la ayuda de un cuchillo se recolectó entre 30 a 50 cm de la parte superior de los mismos; para facilitar su traslado con una tijera se extraen las espinas. Se despojó a cada cactus de su epidermis para obtener el tejido vegetal, el mismo que se cortó en trozos muy delgados de un gramo aproximadamente, para usarlo como coagulante natural. Se pesó la relación masa - volumen de 25, 50 y 75 g/L requeridas para cada muestra a tratar. Las muestras de agua se recolectaron previamente en un envase de boca ancha de la misma planta de tratamiento de aguas del distrito de Balzas - Amazonas. Se midió el pH, sólidos disueltos, turbiedad, temperatura y conductividad eléctrica. Luego se agregó 2 L de agua turbia en cada vaso de precipitación, obteniendo así tres muestras de agua turbia. Se agitó previamente la primera muestra

por un lapso de un minuto y sin dejar de agitar se agregó 25 g/L de tejido vegetal; el mismo proceso se siguió para la segunda y tercera muestra con las relaciones masa - volumen de 50 y 75 g/L. Cada muestra con la dosis correspondiente se sigue agitando por un lapso de tres minutos y se deja en reposo por treinta minutos. Transcurrido los 30 minutos se procedió a medir los parámetros de campo; haciendo uso de un multiparámetro (EZODO 7200) calibrado,

se determinó pH, temperatura, sólidos disueltos y conductividad eléctrica, con la ayuda de un turbidímetro (EZODO TUB - 430) de campo calibrado, se obtuvo los datos de turbiedad. Una vez determinados los parámetros se recolectó 1000mL de cada una de las muestras para la determinación de los sólidos suspendidos.

Resultados y discusión

Sólidos suspendidos totales (SST)

Tabla 3. Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) alcanzados con cada especie de cactus

FACTORES		Sólidos suspendidos totales promedio inicial (ppm)	Sólidos suspendidos totales promedio final (ppm)	Porcentaje (%) de remoción de SST
Especies de cactus	Concentración de cactus (g/L)			
<i>Armatocereus rauhii</i>	25	41.89	27.61	34.10
	50		37.30	10.96
	75		49.19	-17.43
<i>Espostoa mirabilis</i>	25	42.18	31.53	25.24
	50		48.87	-15.86
	75		65.87	-56.17

Los resultados reflejan que el cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* logra una remoción de sólidos suspendidos totales (SST) de 34,10% con la relación masa - volumen de 25 g/L, seguido de 50 g/L logrando una remoción de 10,96%; la especie *Espostoa mirabilis* logra una remoción de sólidos suspendidos totales (SST) de 25,24% con la relación masa - volumen de 25 g/L, con 50 y 75 g/L existe un aumento de sólidos suspendidos totales (SST). Esto pueden deberse a que el agua que consume la población del distrito de Balzas - Amazonas no presenta predisposición para un buen tratamiento de coagulación-floculación, ya

que sus niveles de pH son de 8,33; Lozano (2012) en su artículo, indica que el pH en el rango de 7-8 serían los más adecuados para el proceso de coagulación-floculación. Silva (2017), en su investigación realizada con la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias especifica que la coagulación de sólidos suspendidos es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo. El agua con abundantes sólidos no suele ser potable y puede inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor.

Los cactus que se han usado en esta

investigación son escasamente estudiados no se ha encontrado antecedentes sobre remoción de sólidos suspendidos o turbiedad con *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* y *Espostoa mirabilis*, razón por la cual la importancia de encontrar nuevas alternativas de floculantes naturales y la especie *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis*, muestra una remoción de sólidos suspendidos totales de 34,10%, aunque esta remoción no se acerca a la remoción que consigue el cactus más estudiado en este campo la *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. que logra una disminución de la turbiedad en un 61,09% al aplicar el tratamiento en una turbiedad de 550 NTU (Moreno, 2016), coincidiendo con lo especificado por Contreras *et al.* (2015) alegando que al aplicar el tratamiento con dicho coagulante -floculante puede reducir la turbiedad hasta en un 80% como máximo y un 50% como mínimo; sin embargo, autores como Olivero *et al.* (2014), alegan que la reducción de la turbiedad se verá hasta en un 83,66% al usar este tratamiento, por lo que se denota que el tratamiento de *Opuntia ficus indica* reduce mejor la turbiedad. Sin embargo, estos tratamientos han sido realizados con turbiedad mayores a las encontradas en las mediciones iniciales del agua que consume el distrito de Balzas que tiene 39,50 NTU y una cantidad de sólidos suspendidos de 42,04 ppm, logrando una remoción de 34,10% de sólidos suspendidos totales (SST) con la especie *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis*, comparando los resultados de la remoción porcentual de turbiedad con los brindados por Quispe (2012), que alcanza un máximo de 41,10 y 39,90 para cada valor de turbiedad inicial de 1000 NTU y 500 NTU respectivamente, Silva (2017), alcanza porcentajes de remoción 78,7 y 88,9% para los mismos valores iniciales de turbiedad. Existen estudios que sostienen

que propiedades del mucilago favorecen el poder de remoción de turbiedad, entre ellas tenemos a Martínez & González (2012), quienes al analizar al mucilago concluyen que la baja proporción de proteínas, no justifica su poder de coagulante a diferencia de la alta cantidad de carbohidratos, que sí favorece la coagulación. Adicionalmente se tiene a Sáenz, citado por Peruco *et al.* (2013), quienes atribuyen la capacidad de coagulación del *Opuntia ficus indica*, a la presencia del mucilago en el tejido vegetal, es un complejo viscoso con la capacidad de retener agua, hecha de moléculas de carbohidratos tales como: arabinosa, galactosa, ramnosa, xilosa y ácido galacturónico. Freitas *et al.* (2015), también consideran al ácido galacturónico como el responsable de la formación de puentes químicos en la floculación de valores muy bajos a comparación de los obtenidos en el presente trabajo.

Turbiedad

Con el coagulante *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* se logra una remoción de 39,47% de turbiedad con la relación masa - volumen de 25 g/L y con 50 g/L remueve 28,78% de turbiedad, sin embargo, con 75 g/L la turbiedad se incrementa en 3,93%. Con el coagulante *Espostoa mirabilis*, existe remoción de turbiedad de 27,45% con una relación masa - volumen de 25 g/L de coagulante, con la relación masa - volumen de 50 y 75 g/L no existe remoción por el contrario la turbiedad se incrementa significativamente.

Los valores de turbiedad obtenidos no cumplen con las características mínimas exigidas en el D.S. N° 031-2010-SA para el agua potable (< 5 NTU); no obstante, es importante tener en cuenta que el proceso de clarificación es una de las primeras etapas implementadas durante

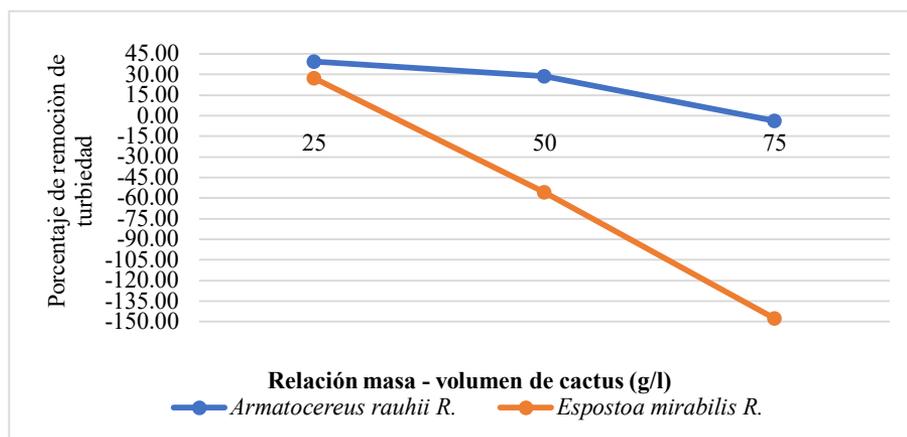


Fig. 2. Porcentaje (%) de remoción de turbiedad en las diferentes relaciones masa -volumen

el tratamiento del agua, y el valor deseado para los parámetros en mención se puede alcanzar en etapas posteriores. Según la OMS la turbiedad del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU (OMS 2012). El agua de la planta de tratamiento de Balzas supera los 5 NTU e inclusive en el grifo de sus viviendas, es por ello la importancia de tratar este parámetro; con los floculantes naturales usados para este tratamiento, el porcentaje de remoción no satisface la necesidad de mejorarlo; con la relación masa - volumen de 25 g/L de *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* disminuye la turbiedad aun así no consigue su reducción a la establecida por la OMS; esta turbiedad se debe a la presencia de sólidos suspendidos encontrados en el agua que consume el distrito de Balzas que varían entre 23 y 58 ppm.

pH

El uso de coagulantes naturales estabiliza el pH significativamente. El pH del agua que se consume en el distrito de Balzas es de 8,33; según el reglamento de calidad de agua para consumo humano

debe estar entre los 6,5 y 8,5 como máximo. El uso de estos cactus es eficiente para este parámetro; el pH es reducido con cada uno de las relaciones masa - volumen de los cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* y *Espostoa mirabilis* como muestra los datos graficados en la figura 4.

El pH no ejerce efectos directos en los consumidores, es uno de los parámetros indicadores de la calidad del agua; para que la desinfección con cloro sea eficaz es preferible que sea un pH inferior a 8, es por esta razón la importancia de reducir el pH en este tipo de agua ya que su uso es directo para consumo humano.

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Según los resultados reflejados, utilizando los coagulantes de *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* y *Espostoa mirabilis*, la conductividad eléctrica se incrementa significativamente lo que indica que al agregarle los coagulantes aumenta la concentración de iones en las muestras de agua, esto se puede determinar al comparar las muestras de la relación masa - volumen 0 (g/L) con las que ya cuentan con las

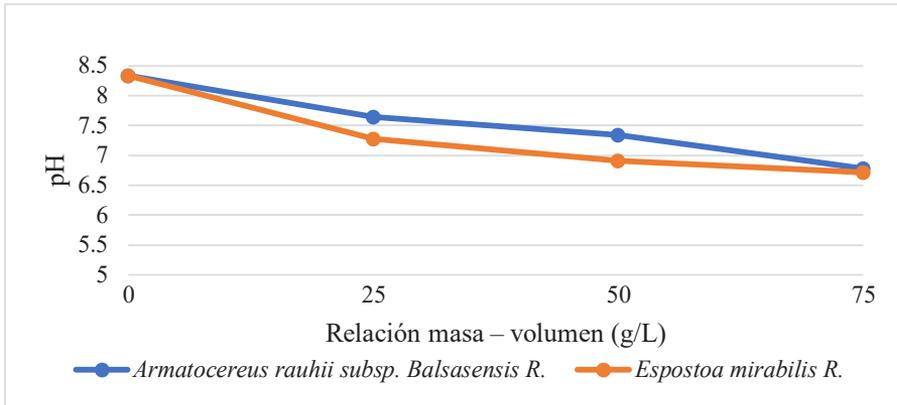


Fig. 3. Variación del pH

diferentes dosis del tejido vegetal de cada uno de los cactus, como muestra la figura 5.

La conductividad eléctrica tiene mucha

relación con los sólidos disueltos es decir cuanto mayor sea la concentración de sólidos disueltos, mayor será la conductividad, dichos resultados se pueden visualizar y

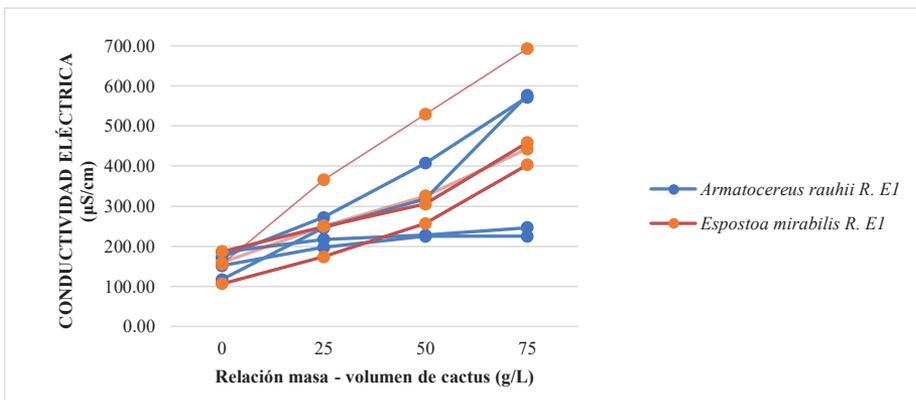


Fig. 4. Variación de la conductividad eléctrica

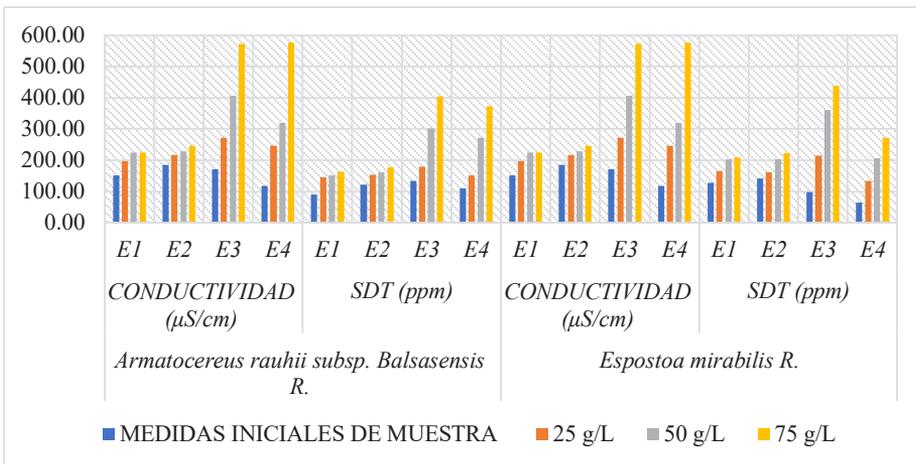


Fig. 5. Relación masa – volumen de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales

corroborar en la figura 6, donde nos muestra la relación de sólidos disueltos totales (SDT) y conductividad eléctrica en ambos cactus (Espinoza 2002).

La conductividad eléctrica se incrementa significativamente con las distintas cantidades de los cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* y *Espositoa mirabilis*, teniendo como mínimo el valor de 233 hasta 499,25. Recordando el mecanismo de coagulación, las partículas pueden agregarse y establecerse a la solución a través de cuatro mecanismos básicos: la compresión de doble capa, la floculación de barrido, la adsorción y la neutralización de carga, la adsorción y puente interparticular (Crittenden *et al.*, 2005). La presencia de sales puede causar la compresión de la doble capa, dando como resultado la desestabilización de las partículas por lo que las interacciones electrostáticas repulsivas son superadas por fuerzas atractivas de van der Waals. La floculación por barrido o mezcla en el precipitado, ocurre cuando la precipitación de coagulantes atrapa partículas suspendidas dentro de un flóculo coloidal a medida que forma o se asienta (Crittenden *et al.*, 2005; Duan & Gregory, 2001). La desestabilización de las partículas a través de la neutralización de carga puede ocurrir cuando las partículas suspendidas en solución absorben iones cargados de forma opuesta. Pueden ocurrir puentes cuando un coagulante forma una cadena polimérica que puede unirse a múltiples partículas de manera que las partículas se unan al coagulante y no necesitan entrar en contacto entre sí.

Conclusiones

El mucílago del tejido vegetal de *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* (F. Ritter) Ostolaza y *Espositoa mirabilis* F. Ritter (Cactaceae) usados como floculantes, no

permiten la remoción de sólidos suspendidos totales de manera eficiente, se ha permitido la remoción como máximo de un 34,10%; por lo tanto, se concluye que de ambas especies investigadas el cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* presenta una mayor eficiencia debido a su mayor grado de remoción de sólidos suspendidos totales. Se determinó que ambas especies de cactus logran una mayor remoción de turbiedad y sólidos suspendidos totales (SST) con la relación masa - volumen de 25 g/L, debido a que a relaciones masa - volumen (g/L) de cactus mayores se incrementa el contenido de sólidos suspendidos, así como también la turbiedad.

El uso de mucilago del tejido vegetal de *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* y *Espositoa mirabilis*, permiten la disminución de pH, a mayor relación masa - volumen (g/L) mayor estabilidad de este parámetro; aumentan de manera significativa los sólidos disueltos totales y por ende la conductividad.

Agradecimientos

Al Ing. M. Sc. Manuel Roncal Rabanal, por darnos la iniciativa de realizar esta investigación, partiendo de sus experiencias personales y profesionales en el tema de estudio, a la Ing. M. Sc. Giovana Chávez Horna, por el apoyo en el trabajo de campo, a la población del distrito de Balzas, por facilitarnos los permisos necesarios para realización de las pruebas experimentales. Así mismo nuestra gratitud al laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca - Filial Celendín.

Contribución de los autores

L.E. Realización de la fase experimental, análisis de datos, revisión bibliográfica,

elaboración del informe final; G.E. apoyo en la obtención de datos estadísticos, asesor académico, revisión crítica. M.R. Apoyo en la preparación del artículo, Asesor académico, revisión crítica.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Literatura citada

- Contreras, K.; R. Olivero; Y. Aguas; G. Salcedo & G. Mendoza.** 2015. El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua (en línea). Revista Producción más Limpia. 10(1): 0-50. Consultado 12 ago. 2018. Disponible en <http://hdl.handle.net/10567/1333>ISSN 1909-0455.
- Coto, R.** 2011. Estudio preliminar del uso de coagulantes químicos en la coagulación-floculación de aguas residuales Tecnología en Marcha. Tesis. Ecuador, ESPCH. 121p.
- Crittenden, J.; D. Hand; K. Howe; G. Tchobanoglous & R. Trussell.** 2005. Water Treatment Principles and Design. 2 ed. Sons, J. W. (ed.). New Jersey, Inc., Hoboken. 240p.
- Duan, J. & J. Gregory.** 2001. Hydrolyzing metal salts as coagulants. Pure Appl. Chem, 73(12): 2017-2026.
- Espinoza, S.** 2002. Estudios de algunas características físicas de hidrocoloides provenientes de semilla de "algarrobo" y de cladodios de "nopal". Tesis Ing. Agr. Santiago, Chile, UCFAF. 132 p.
- Freitas, T.; V. Almeida; M. De Souza; S. Fávaro; J. García; H. Geraldino & V. Oliveira.** 2015. Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (*A. esculentus*) mucilage as natural coagulant. Industrial Crops and Products, 76: 538-544.
- Jaramillo, J. & H. Ramírez.** 2015. Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. UNIMILITAR. 11(2): 136-153. (en línea). Consultado 10 ago. 2018. Disponible en <http://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/download/1303/1359>ISSN 1900-4699.
- Lozano, W.** 2012. Uso del extracto de Fique (*Furcraea* sp.) como coadyuvante de coagulación en tratamiento de lixiviados. (en línea). Contaminación Ambiental.
- Martínez García, J. & L. González Silgado.** 2012. Evaluación del poder Coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas. Tesis Ing. Quím. Cartagena, UC-FI.
- Moreno, S. C.** 2016. Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando *Opuntia ficus-indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa* (en línea). Tesis Ing. Ambiental. Trujillo, Perú, UCV. Consultado 10 ago. 2018. Disponible en http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/6854/moreno_ps.pdf?sequence=1
- Olivero, R.; Y. Aguas; D. Casas; I. Mercado & L. Montes, L.** 2014. Utilización de "Tuna" (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas (en línea). Avances Investigación en Ingeniería.11(1): 70-75. Consultado 21 ago. 2018. Disponible en <http://www.unilibre.edu.com/revistaavances/avances-11/art7.pdf>ISSN: 1794-4953
- OMS (Organización Mundial de la Salud).** 2012. Agua, saneamiento y salud (ASS): Informe acerca de los progresos sobre el agua potable y saneamiento. (en línea). Consultado 21 mar. 2017. Disponible en http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2012/drinking_water_20120306/es/
- Peruco Theodoro, J. D.; R. Bergamasco; L. G. Felipe & Z. R. Fiori.** 2013. Coagulants and Natural Polymers: Perspectives for the Treatment of Water. Plastic and Polymer Technology. México. 2(3): 55-62.
- Quispe Jiménez, H.** 2012. Aplicación del mucílago extraído de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la clarificación del agua del río Uchusuma. Tesis Ing. Quím. Tacna, Perú, UNJB.
- Sánchez, J.; J. Beltran; C. Carmona & P. Gibello.** 2011. Absorbentes naturales a partir de taninos: Una propuesta de reutilización de residuos forestales para la purificación de aguas. Tesis. Mérida, Plasencia. UE.139p.
- Silva Casas, M. N.** 2017. Extracción del mucílago de la penca de "tuna" y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias (en línea). Tesis Ing. Quím. Lima, Perú, UNMSM. 171p. Consultado 10 ago. 2018. Disponible en http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/7155/Silva_cm.pdf?sequence=1
- Wiersma.** 1986. Research methods in education: an introduction. Boston. Allyn and Bacon.