

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**T E S I S**

**“EFICIENCIA DE *Armatocereus rauhii* Y *Espostoa mirabilis* EN LA  
REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN EL AGUA  
PARA CONSUMO HUMANO DEL DISTRITO DE BALZAS -  
AMAZONAS”**

**Para Optar el Título Profesional de:  
INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADA POR LA BACHILLER:**

**LIZBETH ESCOBAL PÉREZ**

**ASESORES:**

**ING. M. Cs. MANUEL ROBERTO RONCAL RABANAL**

**ING. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**

**CELENDÍN – PERÚ**

**2018**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
Norte de la Universidad Peruana  
*Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962*  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
*Secretaría Académica*

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

En Cajamarca, a los diez días del mes de diciembre del año dos mil dieciocho, se reunieron en el ambiente 2A – 201 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del Jurado designado por Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 450-2018-FCA-UNC, Fecha 11 de octubre del 2018, con el objetivo de evaluar la sustentación de la Tesis titulada: **“EFICIENCIA DE *Armatocereus rauhii* Y *Espostoa mirabilis* EN LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN EL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DEL DISTRITO DE BALZAS – AMAZONAS”**, la misma que fue sustentada por la Bachiller en Ciencias Ambientales, **ESCOBAL PÉREZ LIZBETH**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las diez horas y diez minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto. Después de la exposición de la Tesis, formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado; el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad con el calificativo de dieciséis (16) con fines de Titulación correspondiente.

Por lo tanto, la graduada queda expedita para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

A las once horas y treinta minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca, 10 de diciembre del 2018.

Ing. M. Cs. José Díaz Cumpén

**PRESIDENTE**

M. Cs. David Ricardo Uriol Valverde

**SECRETARIO**

Ing. M. Cs. Segundo C. Guevara Cieza

**VOCAL**

Ing. M. Cs. Manuel R. Roncal Rabanal

**ASESOR**

Ing. Giovana E. Chávez Horna

**ASESOR**

## **DEDICATORIA**

*A mi querida madre, por inculcarme una formación en valores y darme el aliento necesario para formarme como una profesional.*

*A mis compañeros de promoción con quienes compartí muy gratos momentos dentro y fuera de las aulas.*

*A todos mis amigos que contribuyeron a que este trabajo sea realizado.*



## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por haberme permitido llegar a esta etapa de mi vida y por demostrarme su amor y protección.*

*A mi madre Josefina Pérez Machuca que es mi motor y ejemplo de lucha, por su incondicional apoyo durante mi formación profesional.*

*A Juana Abanto Rubio y Marcial Villanueva Atalaya por su motivación y apoyo en la ejecución del presente trabajo. Asimismo, a mi sobrino David y a mis queridos hermanos Teresa, Nancy, Juana, Josué y Martha, por la motivación para salir adelante.*

*A mi hijo Jhoshua que es mi razón de ser y motivo para seguir escalando, a mi esposo Jheyser Villanueva Abanto por su apoyo y comprensión.*

*A la Ing. Giovana Ernestina Chávez Horna y al Ing. M. Cs. Manuel Roberto Roncal Rabanal por su tiempo dedicado como asesores y aporte constructivo e instructivo en el presente trabajo.*

*A todos los docentes de mi alma mater, la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental Sede Celendín - Universidad Nacional de Cajamarca, por haberme brindado los conocimientos para desempeñarme como profesional.*

*A todos los amigos que generosamente me apoyaron en las diferentes etapas de la ejecución del presente trabajo.*

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
CAPÍTULO I.....	13
INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Problema de la investigación.....	14
1.2. Formulación del problema.....	15
1.3. Objetivos de la investigación.....	15
1.3.1. Objetivo general.....	15
1.3.2. Objetivos específicos.....	15
1.4. Hipótesis de la investigación.....	15
CAPÍTULO II.....	16
REVISIÓN DE LITERATURA.....	16
2.1. Antecedentes.....	16
2.2. Bases teóricas.....	21
CAPÍTULO III.....	30
MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación.....	30
3.2. Materiales.....	30
1.2.1. Material experimental.....	30
1.2.2. Materiales de campo.....	30
1.2.3. Materiales y equipo de laboratorio.....	31
1.2.4. Material y equipo de oficina.....	31
3.3. Metodología.....	32
3.3.1. Trabajo de campo.....	33
a. Identificación y recolección de los cactus a utilizar en proyecto de investigación	33
b. Obtención del tejido vegetal de cada una de las especies.....	34
c. Recojo de la muestra de agua.....	34
d. Aplicación del tejido vegetal en las muestras de agua.....	35

e. Medida de parámetros de campo a cada una de las muestras a diferentes relaciones masa – volumen del tejido vegetal de cada cactus.....	35
3.3.2. Trabajo de laboratorio (se realizó en laboratorio de la Escuela Académico Profesional Ingeniería Ambiental - Sede Celendín –Universidad Nacional de Cajamarca) .....	36
3.3.3. Trabajo de gabinete .....	38
CAPÍTULO IV .....	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
4.1. Sólidos suspendidos totales (SST) .....	39
4.2. Turbiedad .....	43
4.3. pH.....	46
4.4. Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) .....	48
CAPÍTULO V.....	52
CONCLUSIONES.....	52
CAPÍTULO VI .....	53
BIBLIOGRAFÍA .....	53
CAPÍTULO VII.....	53
ANEXOS .....	60
7.2. Análisis estadísticos.....	60
7.3. Cálculos estadísticos.....	62
7.4. Panel fotográfico: Identificación y recolección de cactus <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R. y <i>Espostoa mirabilis</i> R. ....	67
7.5. Panel fotográfico: Suministro de agua para consumo humano del distrito de Balzas – Amazonas.....	68
7.6. Panel fotográfico: Preparación del tejido vegetal de los cactus <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R. y <i>Espostoa mirabilis</i> R. ....	69
7.7. Panel fotográfico: medición de indicadores de las muestras.....	70
7.8. Panel fotográfico: instrumentos utilizados para medir parámetros de campo.....	72
7.9. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA	73

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> Distribución de tratamientos .....	32
<b>TABLA 2.</b> Factores y niveles utilizados en los tratamientos .....	32
<b>TABLA 3.</b> Medidas obtenidas de sólidos suspendidos totales .....	39
<b>TABLA 4.</b> Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales.....	40
<b>TABLA 5.</b> Análisis de varianza para el indicador de sólidos suspendidos totales .....	41
<b>TABLA 6.</b> Medidas de turbiedad.....	43
<b>TABLA 7.</b> Remoción de turbiedad .....	44
<b>TABLA 8.</b> Análisis de varianza para el indicador de turbiedad .....	45
<b>TABLA 9.</b> Datos obtenidos de medición de pH en las muestras tratadas con <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R. ( <i>Ar</i> ) y <i>Espostoa mirabilis</i> R. ( <i>Em</i> ) .....	46
<b>TABLA 10:</b> Análisis de varianza para el indicador pH.....	47
<b>TABLA 11.</b> Variación de conductividad eléctrica en las muestras de agua tratadas con <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R. y <i>Espostoa mirabilis</i> R.....	48
<b>TABLA 12:</b> Análisis de varianza para el indicador de conductividad eléctrica.....	50
<b>TABLA 13.</b> Matriz de diseño experimental según el arreglo del diseño factorial ANOVA: Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo aleatorizado. ....	60
<b>TABLA 14.</b> Condiciones iniciales del efluente .....	61
<b>TABLA 15.</b> Datos promedios obtenidos de todos los indicadores a medir durante las distintas evaluaciones .....	61
<b>TABLA 16.</b> Porcentaje (%) de remoción de sólidos suspendidos totales en cada una de las evaluaciones .....	62
<b>TABLA 17.</b> Resumen del análisis estadístico para determinar el ANOVA con respecto a los sólidos suspendidos totales (SST).....	63
<b>TABLA 18.</b> Remoción de turbiedad en cada evaluación.....	63
<b>TABLA 19.</b> Resumen del análisis estadístico para determinar el ANOVA con respecto a la turbiedad .....	64
<b>TABLA 20.</b> Datos obtenidos de pH en las muestras de agua con las especies de cactus <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R. y <i>Espostoa mirabilis</i> R. en todo el proceso de evaluaciones.....	64
<b>TABLA 21.</b> Resumen del análisis estadístico para determinar el ANOVA con respecto al pH .....	65

<b>TABLA 22.</b> Relación entre los datos obtenidos de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales (SDT) .....	65
<b>TABLA 23.</b> Datos obtenidos de conductividad eléctrica <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R. (Ar) y <i>Espostoa mirabilis</i> R. (Em).....	66
<b>TABLA 24.</b> Resumen del análisis estadístico para determinar el ANOVA con respecto a la conductividad eléctrica .....	66



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Etapas de la coagulación.....	25
<b>Figura 2.</b> Ubicación del suministro de agua para consumo humano del distrito de Balzas - Amazonas .....	30
<b>Figura 3.</b> Trozos de cactus <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.....	33
<b>Figura 4.</b> Trozos de cactus <i>Espostoa mirabilis</i> R.....	33
<b>Figura 5.</b> Extracción de la epidermis y pesado de las diferentes relaciones masa – volumen (g/L) de <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R. y <i>Espostoa mirabilis</i> R. ....	34
<b>Figura 6.</b> Recojo y medición de indicadores en muestras de agua que consume el distrito de Balzas – Amazonas .....	34
<b>Figura 7.</b> Agregado de las diferentes relaciones masa (g/L) de tejido vegetal a cada vaso de precipitación.....	35
<b>Figura 8.</b> Medición de indicadores en cada muestra .....	36
<b>Figura 9.</b> Recolección de muestras de la mezcla de agua con <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R. y <i>Espostoa mirabilis</i> R. ....	36
<b>Figura 10.</b> Comparación de sólidos suspendidos totales en cada evaluación y las relaciones de los cactus <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R. y <i>Espostoa mirabilis</i> R.....	39
<b>Figura 11.</b> Remoción de sólidos suspendidos totales (SST) en cada muestra.....	40
<b>Figura 12.</b> Turbiedad por evaluación en las diferentes relaciones masa – volumen de los cactus <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R. y <i>Espostoa mirabilis</i> R.....	43
<b>Figura 13.</b> Porcentaje (%) de remoción de turbiedad en las diferentes relaciones masa – volumen .....	44
<b>Figura 14.</b> Variación del pH .....	47
<b>Figura 15.</b> Variación de la conductividad eléctrica .....	49
<b>Figura 16.</b> Relación masa – volumen de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales.....	49
<b>Figura 17.</b> Ubicación de los cactus para su respectiva recolección.....	67
<b>Figura 18.</b> Identificación de los cactus <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R. y <i>Espostoa mirabilis</i> R. ....	67
<b>Figura 19.</b> Filtros de canto rodado para el agua que consume la población de Balzas - Amazonas .....	68
<b>Figura 20.</b> Agua almacenada que servirá de muestra para nuestra investigación .....	68

<b>Figura 21.</b> Extracción de la epidermis de los cactus <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R. y del cactus <i>Espostoa mirabilis</i> R. ....	69
<b>Figura 22.</b> Peso del tejido vegetal de los cactus <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R. y <i>Espostoa mirabilis</i> R. ....	69
<b>Figura 23.</b> Medición de pH, temperatura, sólidos suspendidos totales (SDT), conductividad eléctrica, salinidad y turbiedad de la muestras agua .....	70
<b>Figura 24.</b> Agregado de tejido vegetal a cada vaso de precipitación y agitado por cuatro minutos .....	70
<b>Figura 25.</b> Medición de parámetros de muestras tratadas con <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R. ....	70
<b>Figura 26.</b> Recolección de la muestra para determinar la turbiedad .....	71
<b>Figura 27.</b> Formación de flóculos en las muestras tratadas con los cactus <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R. y <i>Espostoa mirabilis</i> R. ....	71
<b>Figura 28.</b> Turbidímetro utilizado para medir en campo la turbiedad de las muestras tratadas con los cactus <i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R. y del cactus <i>Espostoa mirabilis</i> R. ....	72
<b>Figura 29.</b> Multiparametros utilizados para determinar sólidos disueltos totales (SDT), conductividad eléctrica, temperatura, pH de cada muestra tratada .....	72

## RESUMEN

En la actualidad se convierte en una prioridad el análisis de nuevas alternativas para mejorar la calidad de agua para consumo humano, conllevando a realizar investigaciones alternas como la que se presenta en este trabajo, en donde se estudió la “eficiencia de *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R en la remoción de sólidos suspendidos totales en el agua para consumo humano del distrito de Balzas – Amazonas. El proyecto de investigación utilizó el tejido vascular 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 suministro de agua para consumo humano que abastece a la comunidad de Balzas - Amazonas, esta agua presenta una turbiedad de 40.08 NTU similar a la encontrada en los grifos de las viviendas de la población obteniendo un dato de 32,56 NTU que lo hace no apta para consumo humano.

Una vez efectuadas los tratamientos, la turbiedad y sólidos suspendidos totales disminuye en un 39,47 % y un 34,10 % con *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 de pH disminuye de 8,33 a un intervalo de 7,34 a 6,72 agregándole las diferentes relaciones masa – volumen (g/L) de cactus. Sin embargo, no todas las relaciones masa – volumen (g/L) de cactus lograron ser eficientes determinando así, que la relación masa – volumen de 25 g/L de tejido vegetal de “*Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R.” es el más óptimo.

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

## ABSTRACT

Currently, the analysis of new alternatives to improve the quality of water for human consumption becomes a priority, leading to carry out alternative investigations such as the one presented in this work, where the "efficiency of *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. and *Espostoa mirabilis* R in the removal of total suspended solids in water for human consumption in the district of Balzas - Amazonas. The research project used the vascular 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 treatments and an adaptation of jar test methodology.

The study was conducted directly in the supply of water for human consumption that supplies the community of Balzas -Amazonas, this water has a turbidity of 40.08 NTU similar to that found in the taps of the homes of the population obtaining a data of 32.56 NTU which makes it unfit for human consumption.

Once the treatments were done, turbidity and total suspended solids decreased by 39.47% and 34.10% with *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 pH analysis, it decreases from 8.33 to a range of 7.34 to 6.72, adding the different mass - volume ratios (g / L) of cactus. However, not all the mass - volume (g / L) ratios of cactus were able to be efficient, thus determining that the mass - volume ratio of 25 g / L of plant tissue of "*Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. and *Espostoa mirabilis* R. "is the most optimal.

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

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

El agua es sin duda 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.

Durante el reciente desarrollo industrial y avance tecnológico mundial, la contaminación del agua se ha convertido en un problema inevitable y grave en algunos casos. La calidad del agua de los cuerpos de agua, no es estable debido a la carga y las partículas en suspensión coloidal causada por la tierra y el desarrollo de la actividad humana e industrial. Las fuentes de agua potable están bajo la amenaza creciente de la contaminación, con consecuencias de gran alcance para la salud de niños y para el desarrollo económico y social de comunidades y naciones (Castro 2014).

En este siglo, 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).

## 1.1. Problema de la investigación

El agua que proviene del suministro del distrito de Balzas no tiene las condiciones adecuadas para su consumo por la población, presenta grandes rasgos de turbiedad y por ende contiene sólidos en suspensión, que puede ocasionar grandes daños a la salud de los consumidores. Hoy por hoy la planta no cuenta con un sistema adecuado de tratamiento de agua para consumo humano. El agua es canalizada 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. 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, en muchas ocasiones nos les sirve ni siquiera para lavar la ropa, por la cantidad de sedimentos que trae consigo, 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 y por ende mejore la calidad de vida de la población, puesto que bien sabemos que 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* R. y *Espositoa mirabilis* R 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.



## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es la eficiencia de *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R. en la remoción de sólidos suspendidos totales en el agua para consumo humano del distrito de Balzas - Amazonas?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la eficiencia de *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R., en la remoción de sólidos suspendidos totales encontrados en el suministro de agua para consumo humano del distrito de Balzas – Amazonas.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la cantidad de tejido vegetal más eficiente en la remoción de sólidos suspendidos y turbiedad.
- Determinar el efecto de *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R., en el pH y conductividad eléctrica.

## **1.4. Hipótesis de la investigación**

La utilización de *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R. son eficientes en la remoción de sólidos suspendidos totales encontrados en el suministro de agua del distrito de Balzas – Amazonas.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes

Warner (1972), plantea como alternativa, que los países en vías de desarrollo, han adaptado una serie de tecnologías tradicionales para eliminar la turbiedad del agua en el ámbito doméstico. De ellas la más estudiada es la utilización de extractos naturales de plantas para la clarificación del agua cruda. Yang *et al.* (2006), menciona que los floculantes son los materiales que son utilizados en las rápidas separaciones sólido-líquido por un proceso de agregación de partículas coloidales, el proceso es denominado floculación. Los floculantes usados en tratamiento de aguas pueden ser clasificados en tres grupos: floculantes inorgánicos tales como el aluminio, floculantes férricos o policloruro de aluminio, floculantes orgánicos sintéticos, tales como derivados de poliacrilamida.

Campos *et al.* (2003), menciona que los coagulantes naturales, garantiza la inocuidad para el ser humano. En la actualidad, el uso de coagulantes de origen sintético para la potabilización, tales como el sulfato de aluminio o el Cloruro férrico (Boisvert 1998), también es cuestionada debido entre otros motivos a los problemas medioambientales que conlleva (Christopher 2001), fundamentalmente de generación de lodos tóxicos que no pueden ser utilizados en la agricultura; la relación con la enfermedad de Alzheimer (Alfrey 1976); relación con el cáncer (Dearfield 1964). Jahn (1986), publicó una lista de coagulantes naturales de origen vegetal que tradicionalmente se habían utilizado en África subsahariana, la India y América del Sur. Entre ellos, se encontraban las semillas de almendra, albaricoque, melocotón, cactus *Opuntia*, legumbres, guisantes, lentejas, nueces, habas, aguar y *Moringa oleífera* L. Algunos de ellos han sido estudiados con mayor profundidad, proporcionando resultados positivos en relación a su actividad coagulante (Poddar 2004).

Ndabigengesere (1997), menciona que entre las principales ventajas que presenta el uso de cactáceas destacan su bajo costo, la biodegradabilidad del lodo producido, así como la estabilidad del pH del agua tratada con dicha sustancia. Por su parte, los extractos salinos y acuosos crudos han mostrado una gran eficacia como coagulante

primario natural, alcanzando una reducción de la turbiedad elevada entre 92-99 %. El principal inconveniente que presenta los coagulantes naturales, es que cuando se adicionan al agua, incrementan la carga orgánica de ésta, de manera significativa añadiendo hasta un 90 % de sustancias orgánicas que no actúan como agentes floculantes. Este hecho, impide almacenar el agua tratada por un tiempo superior a 24 horas (Vásquez 1994). Asimismo, Poddard (2004), estudia la efectividad de los coagulantes naturales en comparación con el sulfato de aluminio y su aplicación a escala piloto en sistemas de coagulación-floculación-filtración en sistemas comunitarios de potabilización en comunidades rurales y en filtración directa con lechos filtrantes duales compuestos por *Opuntia ficus* M. Sepúlveda *et al.* (2007), menciona que además de su aplicación de los coagulantes naturales en clarificación y potabilización de aguas crudas, se ha estudiado la aplicación de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria textil, de industrias de extracción de aceite de oliva en aguas con elevado contenido de metales pesados como el cadmio.

Revelo *et al.* (2015), propone el uso de *Caesalpinia spinosa* M., comúnmente conocida como tara, en el tratamiento de aguas residuales textileras, las muestras de agua para el tratamiento fueron tomadas del río Pelileo, Tungurahua-Ecuador, para la obtención del biocoagulante se usó el método de pulverización de la tara y preparación concentrada de esta, la coagulación-floculación se realizó mediante el equipo de Flocumetric (Selecta-España), durante el proceso se utilizaron dos velocidades de agitación de 200 y 40 rpm en intervalos de 3, 5, 15 y 20 minutos; de igual modo se usaron las concentraciones de 9,0; 5,7; 23,3; 18,0; 11,4 y 45,0 g/L. Se concluyó que la efectividad de remoción de turbiedad oscila entre 24-52 %, con la concentración de 45,0 g/L siendo esta la más eficiente, en cuanto al tiempo se determinó que el mejor tiempo de agitación es el de 15 minutos en el equipo correspondiente.

Kumar *et al.* (2015), plantea el uso de la *Caesalpinia spinosa* M. (tara), *Aloe chinensis* L. (penca sábila) y *Carica papaya* L. (papaya) para el tratamiento de aguas turbias, las muestras de agua están preparadas con arcilla común en un laboratorio teniendo las turbiedad de 80-90-100 NTU, las pruebas se realizaron mediante la preparación de una solución concentrada de 500 mg de cada coagulante-floculante natural en un litro de agua para poder diluirla, a una velocidad rápida de 80 rpm

durante 5 minutos para luego aplicar una velocidad lenta de 40 rpm durante 25 minutos, los resultados fueron favorables logrando una reducción de la turbiedad en un 65.25 % en el caso de la tara, un 50 % en el caso de la penca sábila y 45.80 % en el caso de la papaya, tomando como turbiedad inicial 100 NTU llegando a la conclusión que el coagulante vegetal tara y aloe vera son los más eficientes en el tratamiento de aguas con turbiedad moderada, las cuales pueden recibir tratamientos secundarias en cuanto a filtración y desinfección si se quisiera consumir.

Según Ramírez y Jaramillo (2014), pretende aportar un método para que las poblaciones puedan tener conocimientos y hacer uso de sus recursos, creando un compuesto natural vinculando dos agentes coagulantes - desinfectantes que ofrezcan una solución integral para las comunidades. Mediante el método de jarras se determinó la efectividad del *Aloe vera* L., tuna y las semillas de frejoles, haba, maíz, maracuyá, papa y durazno, siendo estos los más destacados, estas semillas fueron secadas, molidas, tamizadas, para luego agregarles agua destilada como disolvente; para ello se tuvo en cuenta el pH, color y turbiedad para determinar las dosis óptimas de aplicación del coagulante, recolectando agua del río Combeima (Ibagué, Tolima) para la aplicación de coagulantes vegetales, usando de 40 mg/L a una velocidad de 200 rpm, se obtuvo como resultados previos la alta eficacia como coagulante a las semillas de frejol, de maíz y de maracuyá, y a su vez se obtuvo gran eficacia en el uso de vegetales como aloe vera y tuna.

Ramírez y Jaramillo (2015), plantea el uso de diversos coagulantes de origen vegetal para el tratamiento de clarificación del agua, teniendo como objetivo realizar el análisis de información existente referente a este tipo de coagulantes de origen natural, evaluando la eficacia y mecanismos que se pueden emplear para remover la turbiedad de aguas, mediante la prueba de jarras se pudo determinar la eficacia de estas especies, que en su mayoría se tomaron en cuenta parámetros como la velocidad de agitación entre 100 y 200 rpm, el tiempo de contacto usando de 15-20-30 minutos; entre las principales coagulantes estudiados se encuentran, *Moringa oleífera*, *Aloe vera*, cactus, almidones y taninos, llegando a concluir que el uso de materiales naturales minimizaría el impacto de coagulantes químicos, minimizando los costos de tratamiento de aguas, si se dispone de estos a nivel local, en general el coagulante vegetal *Moringa oleífera* y el cactus son los que arroja los mejores resultados de efectividad de hasta el 95 % de remoción de turbiedad.

Contreras *et al.* (2015), propone el uso del nopal como coagulante natural, comúnmente llamado tuna, teniendo como objetivo principal medir la eficacia del mucilago extraído del nopal para usarlo como complementario del sulfato de aluminio en el proceso de tratamiento para clarificar el agua del Río Magdalena en Sucre, mediante la prueba de jarras se realizó la clarificación, aplicando dos concentraciones de 35 y 40 mg/L a velocidades de 100 y 200 rpm aplicando dos tiempos de agitación de 20 y 30 minutos, teniendo en cuenta el pH, la porción y concentración del coagulante y la velocidad a la que se agitará la muestra; de este modo se determinó una eficiencia superior al 50 %, siendo las concentraciones más efectivas 96 – 98 % de coagulante nopal, este a su vez no afectó el pH de manera significativa, manteniendo las características iniciales de este, obteniendo como conclusión la alta efectividad del coagulante de nopal, reduciendo altamente la coloración y turbiedad del agua, llegando a un aproximado de 80% de efectividad.

Olivero *et al.* (2014), usa el mucilago de tuna para la clarificación del agua del río Magdalena en Magangué – Colombia, teniendo como objetivo comprobar la efectividad del producto natural, comparándolo con el coagulante comercial sulfato de aluminio; se extrajo el mucílago de la tuna mediante la trituración de su corteza, llevándola luego a un secado al vacío a 70 °C, para finalmente agregarle alcohol etílico con el propósito de extraer los pigmentos, los cuales se evaporaron y concentraron en un horno eléctrico obteniendo el polvo final. Se probaron dos tipos de concentraciones del producto vegetal, 35 y 40 mg/L a velocidades de 100 y 200 rpm, teniendo como tiempo de contacto de 15, 20 y 40 minutos. Se llegó a la conclusión de que a velocidades de 200 rpm se denota mayor efectividad en ambos coagulantes tanto el comercial como el vegetal, siendo un 83.66 % la efectividad del mucílago de tuna, denotando alta competitividad contra el sulfato de aluminio.

Según López *et al.* (2014), pretende evaluar la eficacia de las mezclas de almidón de malanga con sulfato de aluminio para remover la turbiedad, para la extracción del almidón se molieron 30 kg de fruto en una licuadora hasta su completa pulverización, para luego mezclar con agua a 40 °C obteniendo hasta tres veces su volumen, para luego centrifugar y filtrar y dejar reposar por 48 horas, el sobrenadante se retiró y dejó secar en una estufa a 50 °C por 24 horas, la demostración de su efectividad se realizó mediante la prueba de jarras en agua controlando la turbiedad, probándola en 50-60-70-80-90-100 NTU, en donde se obtuvieron resultados favorables y

significativos al mezclar el sulfato de aluminio con el almidón de malanga para remover la turbiedad del agua.

Guzmán *et al.* (2012), estudió la eficacia de algunos coagulantes vegetales, se utilizó como principales coagulantes el cactus del género *Opuntia* (familia Cactaceae) comúnmente conocido como tuna, aloe vera conocida comúnmente como penca sábila, semillas de roble turco (*Q. crris*), *Moringa oleífera* conocida comúnmente como jacinto, los cuales demostraron tener alta eficiencia en cuanto al tratamiento de aguas con alta turbiedad, se realizaron pruebas controladas mediante el método de jarras para cada uno de los estudios realizados que determinaron la efectividad de estos coagulantes, usando velocidades de 250 rpm a 30 minutos de agitación en dosis de 50 mL/L; de este modo se llegó a la conclusión de que el uso de estos coagulantes vegetales economiza el costo de tratamiento en un 25-30 %, reduciendo la dosis del coagulante químico a usar en el caso de tratamientos para potabilizar agua usada para consumo y brindando lodos biodegradables libres de agentes químico, los cuales pueden ser usados como abono.

Arévalo *et al.* (2013), propone el uso de coagulantes vegetales para el tratamiento de aguas turbias de las zonas rurales de Pamplona, las cuales no cuentan con red de abastecimiento de agua potable, generando un alto índice de enfermedades diarreicas agudas. Se tiene como objetivo principal la aplicación de la especie moringa oleífera y opuntia ficus-indica para el tratamientos de estas aguas, como método de prueba se introdujeron las semillas pulverizadas de moringa oleífera y el mucilago de la opuntia al agua captada contenida en un recipiente cilíndrico de 5 litros, en donde se agregó 30 g de moringa oleífera y 45 g de opuntia, se agitó rápidamente hasta formar los flóculos de forma ascendente y decantando las arenas, proceso que tardó 5 minutos aproximadamente, para finalizar el proceso se realiza el filtrado y la desinfección, se llegó a la conclusión que el método utilizado se puede obtener agua potable de alta calidad manteniendo sus características fisicoquímicas en valores aceptables para el consumo humano.

Lozano (2012), por su parte plantea el uso de extracto de hojas de fique como coadyuvante de coagulación del cloruro férrico hexahidrato, teniendo como objetivo el de medir la eficacia del producto vegetal para determinar si existen variaciones en la turbiedad, color, DQO, sólidos disueltos totales y pH luego de usar dicho producto,



este producto se probó mediante el método de jarras, se probó a una velocidad de 200 rpm y a una dosis de 1 g por cada mL de agua destilada para la preparación de solución base, dando como resultados el 15 % de la remoción de turbiedad, concluyendo a su vez que el uso de extracto de hojas de fique equivale a un ahorro adicional de 1000 mg/L de dosis del coagulante cloruro férrico hexahidrato, cabe recalcar también que el uso de esta especie vegetal no representaría riesgos para la salud ya que no existen pruebas que evidencien su toxicidad.

Por otra parte Melo y Turriago (2012), propone el uso de *Moringa oleífera*, comúnmente conocida como jacinto, como coagulante primario en la depuración y clarificación de aguas, evaluando su eficiencia en el proceso de clarificación, tomando en cuenta variables como dureza y alcalinidad, la dosis óptima y tiempo de agitación, color y DQO; para su respectivo análisis se procedió a tomar dos muestras de agua a las cuales se le aplicó el coagulante vegetal en una dosis de 40 mg/L, por medio de agitación durante 15 minutos se logró observar los primeros resultados, observando gran acumulación de flóculos, los cuales pueden ser decantados mediante procesos de filtración, llegando a la conclusión de reducción de turbiedad en un 84.34% equivalente a la reducción de 230 NTU a 36 NTU, concluyendo que la especie de *Moringa oleífera* puede ser considerada como un sustituto natural en el proceso de coagulación-floculación en el tratamiento de aguas turbias.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Polímeros sintéticos**

Los polímeros orgánicos sintéticos pueden ser usados ya sea como coagulantes o como floculantes, dependiendo del carácter molecular y de la forma de acción sobre los sólidos suspendidos. Los coagulantes poliméricos poseen típicamente una masa molar pequeña y una alta densidad de carga, y actúan sobre los coloides produciendo coagulación por neutralización de cargas (Guzmán *et al.* 2007).

La coagulación es a menudo favorecida con el uso de ayudantes de la coagulación o floculantes. Algunas veces, se añade un exceso del coagulante para favorecer flóculos de gran tamaño y velocidades de sedimentación rápidas. No obstante, en ciertos casos, aún grandes dosis de coagulante no van a producir flóculos satisfactorios. En estos casos se adiciona un floculante para acelerar las

reacciones y producir flóculos más densos y con ello se reduce la cantidad de coagulante requerido. Los floculantes actúan por la formación de puentes de polímero que aglomeran rápidamente a los flóculos pequeños formando un floc más grande y cohesivo, que sedimenta más rápido. Los floculantes también ayudan a formar una coagulación satisfactoria en un mayor ámbito de pH. Los tipos de floculantes más efectivos son las poliacrilamidas ligeramente aniónicas con masas moleculares muy elevadas que se aplican en muy bajas concentraciones (0,01 a 1,0 mg/l) lo que compensa su alto precio (Arboleda 2000).

Hasta el presente se emplea una gran variedad de polímeros sintéticos, sin embargo, la toxicidad de estos productos es un factor de importancia en tanto que en ocasiones los monómeros que los componen pueden ser tóxicos, como lo son los monómeros acrílicos (Campos *et al.* 2003).

### **2.2.2. Polímeros naturales**

Son aquellos que se producen por reacciones bioquímicas naturales en animales y plantas. Son polímeros que muchas veces no tienen una sola composición química definida, pues están constituidos principalmente por varios tipos de polisacáridos (por ejemplo, almidón, celulosa, glucósidos, entre otros) y proteínas (por ejemplo, caseína, gelatina, olieratina, entre otros). Se ha encontrado que proteínas solubles en agua contenidas en semillas de *Moringa oleifera* L. presentan propiedades coagulantes y floculantes, y se han utilizado tradicionalmente como clarificadores para aguas de consumo humano. La toxicidad de los polímeros naturales es, por lo general, mínima o nula, incluso se utilizan en muchos casos como combustibles o como aditivos en diversos productos alimenticios (Almendárez 2004).

### **2.2.3. Mucílagos**

Los mucílagos son sustancias análogas a las gomas. En contacto con el agua forman unas dispersiones viscosas y poseen una enorme facilidad de embeberla; propiedad de suma importancia en el mecanismo de retención del agua de las cactáceas. Los mucílagos están contenidos dentro de las grandes células vesiculares de los parénquimas (Sáenz 2004).

Hernández *et al.* (1998), encontró en seis muestras de cactus, un contenido de mucílago que fluctúa entre 1,09 a 4,53 %. El análisis del mucílago obtenido de *O.ficus indica* M. mostró estar formado por glucosa y arabinosa, principalmente, mientras que los azúcares encontrados en el mucílago de *O. tomentosa* S. fueron glucosa, arabinosa y galactosa. En ambas muestras de mucilagos las cenizas representaban el 8,8 y el 13,21 % respectivamente, los azúcares totales el 62,92 % y el 64,53 % y los pentosanos el 28,9 y el 39,31 %.

#### **2.2.4. Coagulantes naturales**

Los coagulantes naturales son sustancias solubles en agua, procedentes de materiales de origen vegetal o animal, que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbiedad inicial de ésta. Algunos de estos coagulantes poseen además propiedades antimicrobianas, por lo que reducen o eliminan el contenido de microorganismos patógenos susceptibles de producir enfermedades (Ganjidoust 1997).

#### **2.2.5. Floculación y coagulación**

La coagulación y la floculación son métodos que se emplean para remover de las aguas residuales la materia coloidal y la suspendida (tamaño de 1 nm a 0,1 nm). La estabilidad de la materia suspendida se debe a la repulsión entre partículas inducida por el alto potencial zeta (-15 a - 20 mv). Esta materia no sedimenta fácilmente y no puede ser removida por métodos físicos convencionales. Durante la coagulación se desestabilizan los coloides debido a que disminuye la potencial zeta de las partículas mediante la adición de coagulantes. Esta desestabilización se produce por el contacto que se establece entre las partículas suspendidas (coloidales) y los microflóculos de carga positiva de fierro o de aluminio. El punto óptimo para la coagulación es cuando la potencial zeta alcanza su más bajo nivel, o punto isoeléctrico, que es cuando las fuerzas de Van der Waals prevalecen (Osorno 2009).

#### **2.2.6. Mecanismos de la remoción de la turbiedad**

Existe bastante desacuerdo entre autores con relación a cuáles pueden ser los mecanismos que inducen la coagulación de la turbiedad, debido a la falta de

conocimiento acerca de la estructura química de las sustancias que lo producen. Sin embargo, existe un consenso en que la máxima remoción ocurre cuando la carga de las partículas está cerca del punto isoeléctrico, pero casi nunca exactamente en el punto isoeléctrico. La cantidad de coagulantes metálicos necesarios para remover el color es directamente proporcional a la cantidad de color removido (Espinoza 2002).

La turbiedad puede ser removida por adsorción química en los precipitados poliméricos de los productos de hidrólisis de los coagulantes, formándose una interacción entre estos y los grupos carboxílicos de las moléculas orgánicas que producen el color. Lo anterior es posible solo a pH altos. A pH bajos, los compuestos húmicos interaccionan con los compuestos de aluminio cargados positivamente para formar un precipitado de sulfato de aluminio. Cuando con el color está presente la turbiedad, la superficie de los coloides se incrementa y con esto se estimula la adsorción de las moléculas del color, lo que implica una menor dosis de coagulantes (Kirchmer 1973).

### **2.2.7. Mecanismos de procesos de floculación**

Arboleda (2000), indica que normalmente, la floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas. En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos de transporte:

- 1) Floculación pericinética o browniana. Se debe a la energía térmica del fluido.
- 2) Floculación ortocinética o gradiente de velocidad. Se produce en la masa del fluido en movimiento.
- 3) Sedimentación diferencial. Se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran.

Al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizarse las partículas, se precisa de la floculación pericinética para que las partículas coloidales de tamaño menor de un micrómetro empiecen a aglutinarse. El movimiento browniano actúa dentro de este rango de tamaño de partículas y forma el microflóculo inicial (Yang *et al.* 2006). Recién cuando este alcanza el tamaño de

un micrómetro empieza a actuar la floculación ortocinética, promoviendo un desarrollo mayor del microflóculo. Este mecanismo ha sido estudiado en lugares donde la temperatura baja alrededor de cero grados, rango dentro del cual el movimiento browniano se anula y, por consiguiente, también lo hace la floculación pericinetica. En este caso, se comprobó que la floculación ortocinética es totalmente ineficiente y no tiene importancia alguna sobre partículas tan pequeñas (Guerrero *et al.* 2007).

### 2.2.8. Etapas de la coagulación

Crapper (1992), sostiene que el proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), en el que se presenta las siguientes etapas.

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de compuestos químicos poliméricos.
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Adsorción mutua de coloides.
- Acción de barrido.

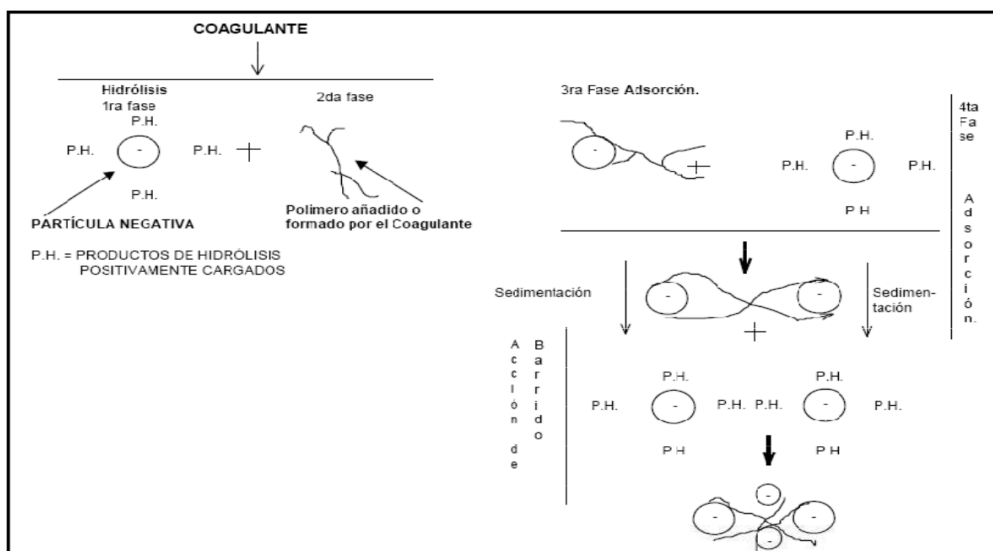


Figura 1. Etapas de la coagulación (Fuente: Tomado de Romero 2002: 56)

### 2.2.9. Factores que afectan la coagulación de la turbiedad

La coagulación del color es un fenómeno complejo donde intervienen al menos ocho factores que pueden modificarlo: dosis de coagulantes; pH; concentración de coloides o turbiedad; concentración de sustancias orgánicas en el agua; iones disueltos presentes; intensidad de la mezcla rápida y gradiente de velocidad de

la mezcla lenta; movilidad electroforética de las partículas y la temperatura (Romero 2002).

- **Influencia del pH**

El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua. El rango de pH es en función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dosis requerida es alta (Martínez 1999).

- **Influencia de la temperatura del agua**

La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación. Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc (Castro *et al.* 1979).

- **Influencia de la dosis de coagulante**

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así: Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escasa, por lo tanto, la turbiedad residual es elevada. Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas; por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada. La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra (Vázquez 1994).



- **Influencia de la mezcla**

El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecha y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente. En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica de corta duración (60seg., máx.) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microflóculos (Aragón *et al.* 2006).

#### **2.2.10. Prueba de jarras**

Es un método de simulación de los procesos de coagulación y floculación, realizado a nivel de laboratorio que permite obtener agua de buena calidad, fácilmente separable por decantación; los flóculos formados con diferentes dosis del coagulante dan como resultado valores de turbiedad diferentes. G. W. Fuller, J. Cairol y E. Theirault son precursores de la prueba de jarras como modelo predictivo (Galvín 1998). Probablemente el primer ensayo de prueba de jarras fue realizado por W. L. Langelier en la Universidad de California en 1918. Las primeras aplicaciones y el desarrollo inicial corresponden a John Baylis, Bartow y Petterson, Fleming, Nolte y Kromer (Trachtenberg 1981).

Las pruebas de jarras se utilizaron para la determinación de las dosis más efectivas de coagulante para una muestra de agua específica, ya que estas se utilizan comúnmente para el control del proceso de coagulación-floculación en una planta de tratamiento. (Martinez 1999).

#### **Descripción del equipo de prueba de jarras**

Coto (2011), señala que, para efectuar los ensayos de simulación de procesos, existen algunas variaciones en el equipo tradicional, que son descritas en la

literatura. Aunque no es un requisito indispensable, estas pruebas, en la mayor parte de los casos, son realizadas en equipos comerciales y uno de los más conocidos es el equipo de velocidad variable fabricado por la Phipps y Bird, para el cual se han desarrollado los ábacos que relacionan el gradiente de velocidad con la velocidad de rotación de las paletas. Normalmente estos equipos constan de los siguientes elementos:

- Un agitador mecánico provisto con tres a seis paletas, capaz de operar a velocidades variables (de 0 a 100 revoluciones por minuto; actualmente pueden obtenerse equipos que operan con velocidades de hasta 400 revoluciones por minuto).
- Un iluminador de flóculos localizado en la base del agitador del equipo.
- Vasos de precipitado de 2 L. de capacidad, de cristal refractario

#### **2.2.11. Calidad del agua**

En vista de la complejidad de los factores que determinan la calidad del agua y la gran cantidad de variables utilizadas para describir el estado de los cuerpos de agua en términos cuantitativos, es difícil dar una definición simple de calidad del agua. Además, los conocimientos sobre calidad del agua han evolucionado a través del tiempo a medida que ha aumentado su demanda en diferentes usos y han mejorado los métodos para analizar e interpretar sus características. La calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores internos y externos al cuerpo de agua (Sierra 2011).

#### **2.2.12. Cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R.**

*Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. El nombre específico alude al distrito de Balsas, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas. Esta especie se diferencia por ser más alta, 6 a 10 m de alto, ramas más delgadas, 8 a 12 cm de diámetro. Costillas 8 a 12, espinas radiales 8 a 12, centrales 1 a 3, flor 10 cm., púrpura. Su distribución se encuentra en la provincia de Celendín, Región Cajamarca, en Balsas, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas, en Sihuas, Región Ancash y en Pataz, Región La Libertad, de 800 a 2200 m. (Ostolaza 2011)

Su hábitat son valles secos, vertientes rocosas, matorrales. 400-1000 msnm. Es categorizado como Vulnerable (VU, B1a) (Ostolaza 2014).

### **2.2.13. Cactus *Espostoa mirabilis* R.**

El nombre específico (“maravilloso”), alude a la apariencia de la especie. Algunas especies de cactus, como las Espostoas, desarrollan un cefalio que es una mata de pelos, que se aprovecha como lana vegetal para rellenar cojines y colchones en algunos lugares del Perú (Ostolaza 2014).

Planta arbustiva a arbórea, 2 a 4 m de alto, ramas cilíndricas, erectas, 9 cm. de diámetro, costillas 16 a 25, que en la parte superior terminan en el cefalio, espinas hasta 40, 4 a 7 mm, finas, aciculares, rojo-marrón, cefalio cubre pocas costillas, flores blancas a rosadas, 5,5 cm de largo, frutos 1,5 a 3 cm. de largo, 1,5 a 2 cm de ancho, rojos, semillas 1,2 mm, negras, lustrosas. Este cactus se distribuye al este de Celendín, Cajamarca; Balzas, Amazonas; Bolívar y Pataz, La Libertad, 900 msnm, en ambas riberas del río Marañón. Lo hemos categorizado como: Vulnerable (VU). (Ostolaza 2011).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

La investigación se realizó en el distrito de Balzas departamento de Amazonas, situado entre los  $6^{\circ}50'14.67''S$  y  $78^{\circ} 1'14.44''O$  a 873 m.s.n.m. y en coordenadas UTM está situado a 0829326.929 E y 9243214,962N Zona 17S

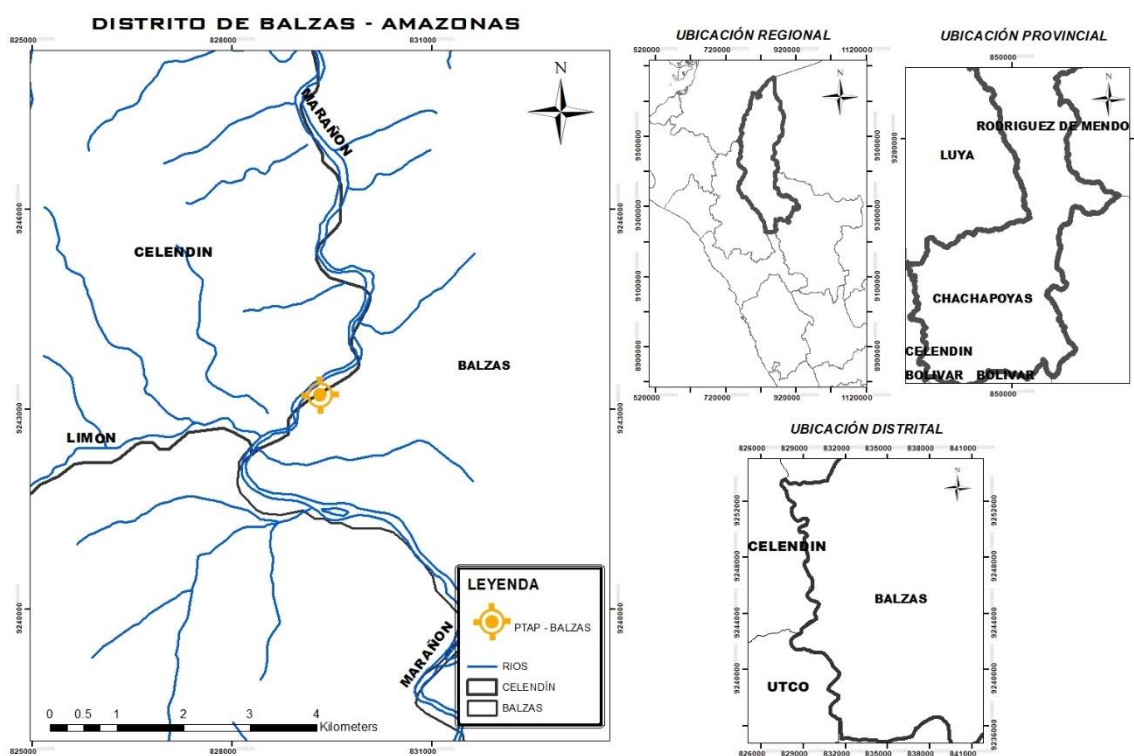


Figura 2. Ubicación del suministro de agua para consumo humano del distrito de Balzas - Amazonas

#### 3.2. Materiales

##### 3.2.1. Material experimental

- Cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R.
- Cactus *Espostoa mirabilis* R.
- Muestras de agua del suministro de agua para consumo humano del distrito de Balzas - Amazonas

##### 3.2.2. Materiales de campo

- Cámara fotográfica
- Balanza

- Libreta de campo
- Lápices
- Guantes de seguridad
- Tijeras
- Cuchillo
- Bageta
- Cinta métrica
- Recipientes de plástico de diferente volumen
- Etiquetas de identificación
- Recipiente de boca ancha de 10 litros de volumen

### **3.2.3. Materiales y equipo de laboratorio**

- Multiparámetro
- Turbidímetro.
- Vasos de precipitación de 2000 mL
- Equipo de filtración al vacío
- Papel de fibra de vidrio de 0.45  $\mu\text{m}$
- Agua destilada
- Probeta de 1000 mL
- Estufa
- Placas Petri
- Espátula
- Piseta
- Pinza
- Balanza analítica
- Desecador

### **3.2.4. Material y equipo de oficina**

- Hojas bond
- Impresora multifuncional
- Laptop
- Calculadora científica

### 3.3. Metodología

La metodología que se utilizó es una adecuación del método de prueba de jarras (Coto 2001), que es ampliamente usado en los procesos de clarificación de agua. El 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* R. y *Espostoa mirabilis* R.) de la siguiente manera:

**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

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 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	NIVELES			
	A (Especies de cactus)	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>Espostoa mirabilis</i> R.	a2b1	a2b2	a2b3	



### 3.2.1. Trabajo de campo

#### a. Identificación y recolección de los cactus a utilizar en proyecto de investigación

Se identificaron las dos especies de cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R. en el bosque seco del Marañón, a 20 minutos de la comunidad de Balzas; los pobladores de la comunidad utilizan el cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. 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 domiciliarios; los mismos nos 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. La *Espostoa mirabilis* R. tiene que tener una altura mayor a 1,5 m. y que su diámetro de altura de pecho (DAP) sea mayor a 5 cm.

Una vez identificados los cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R. con la ayuda de un cuchillo se recolecta entre 30 a 50 cm. de la parte superior de los mismos; para facilitar su traslado con una tijera se extraen las espinas.



**Figura 3.** Trozos de cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R.



**Figura 4.** Trozos de cactus *Espostoa mirabilis* R.

## b. Obtención del tejido vegetal de cada una de las especies

Se despojó a cada cactus de su epidermis para obtener el tejido vegetal, el mismo que se cortó en trozo muy delgados de un gramo aproximadamente, para usarlo como coagulante natural. Se pesa la relación masa – volumen de 25, 50 y 75 g/L requeridas para cada muestra a tratar.



**Figura 5.** Extracción de la epidermis y pesado de las diferentes relaciones masa – volumen (g/L) de *Armatocereus rauhi* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R.

## c. Recojo de la muestra de agua

Las muestras de agua se recolectaron previamente en un envase de boca ancha directamente del agua que consume el distrito de Balzas - Amazonas. Posteriormente se pasó a medir el pH, sólidos disueltos, turbiedad, temperatura y conductividad eléctrica. Una vez medidos los parámetros se agregó 2 L en cada vaso de precipitación



**Figura 6.** Recojo y medición de indicadores en muestras de agua que consume el distrito de Balzas – Amazonas

#### **d. Aplicación del tejido vegetal en las muestras de agua**

Se dispuso de tres vasos de precipitación que contenían 2 L de muestra de agua del suministro del distrito de Balzas, debidamente identificadas, a cada una de ellas se agrega 3 relaciones masa - volumen de 25, 50 y 75 g/L, de *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R., de la siguiente manera:

- Para ambos cactus, se pesó 50, 100 y 150 g de su tejido vegetal por los dos litros de volumen de muestra, estos pesos obtenidos por separados se colocaron a cada vaso de precipitación contenida la muestra de agua turbia debidamente identificado.
- Se agitó previamente por un lapso de un minuto a cada vaso de precipitación que contiene los 2 L de muestra, se agregó sin dejar de agitar las 3 relaciones masa - volumen de tejido vegetal (25, 50 y 75 g/L) a cada muestra. Una vez agregada las dosis correspondientes se sigue agitando por un lapso de tres minutos.



**Figura 7.** Agregado de las diferentes relaciones masa – volumen (g/L) de tejido vegetal a cada vaso de precipitación

#### **e. Medida de parámetros de campo a cada una de las muestras a diferentes relaciones masa – volumen del tejido vegetal de cada cactus.**

Una vez transcurrido los 30 minutos se procede a medir cuidadosamente los parámetros de campo; haciendo uso de un multiparámetros debidamente calibrado se determinó los indicadores como pH, temperatura, sólidos

disueltos y conductividad eléctrica, con la ayuda de un turbidímetro de campo debidamente calibrado se obtuvo los datos de turbiedad.



**Figura 8.** Medición de indicadores en cada muestra

Una vez determinados los parámetros se recolectó 1000mL de cada una de las muestras para la determinación de los sólidos suspendidos.



**Figura 9.** Recolección de muestras de la mezcla de agua con *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R.

### **3.2.2. Trabajo de laboratorio (se realizó en laboratorio de la Escuela Académico Profesional Ingeniería Ambiental - Sede Celendín – Universidad Nacional de Cajamarca)**

#### **Determinación de sólidos suspendidos**

- Se instaló el equipo de filtración al vacío, se marcó a cada caja petri de vidrio según la relación masa – volumen (g/L) correspondiente de cada una de las muestras de agua del suministro y se puso a secar los papeles filtros de 0.45  $\mu\text{m}$ .



- Se colocó el disco sobre el soporte, con el lado rugoso hacia arriba, se lavó con agua destilada contenido en una piseta y se dejó al vacío durante 1 minuto adicional para secar el disco.
- Cuidadosamente y con la ayuda de una pinza, se retiró el disco y se colocó dentro de la cápsula correspondiente.
- Se secó el conjunto (cápsula + disco) en la estufa precalentado a 105 °C por 3 h.
- Se llevó el conjunto a un desecador y se dejó enfriar aproximadamente por 15 minutos, hasta temperatura ambiente.
- Se pesó y se registró el peso del conjunto (cápsula + disco).
- Se mantuvo el conjunto en un desecador hasta ser utilizado.

#### **Procesamiento de la muestra.**

- Se instaló el disco en el equipo de filtración. Se colocó al vacío en el sistema fijando el papel filtro sobre el disco con una pequeña cantidad de agua destilada.
- Se agitó invirtiendo el recipiente de la muestra varias veces. De la muestra recién agitada, se tomó rápidamente una alícuota de 5 mL medida en una probeta de 100 mL y se transfirió al filtro.
- Se dejó al vacío por un minuto más para retirar el exceso de humedad del filtro.
- Se retiró cuidadosamente el disco con ayuda de una espátula y se colocó en la cápsula correspondiente.
- Se secó el conjunto en la estufa a 105 °C, durante 1 hora.
- Se llevó el conjunto a un desecador y se dejó enfriar aproximadamente por 15 minutos, hasta temperatura ambiente.
- Se pesó y se registró el peso del conjunto (cápsula + disco).

- Se repitió el ciclo de secado, enfriado y pesado, hasta peso constante. En caso contrario se tuvo que someter a un nuevo ciclo de secado hasta cumplir con el requisito anterior.

**Una vez obtenido los datos se aplicó la siguiente ecuación:**

$$SST = \frac{(A - B)1000}{V}$$

Donde:

SST: Sólidos Suspendidos Totales, en mg/L

A: Peso final del conjunto (disco + cápsula) con el residuo seco, en mg.

B: Peso inicial del conjunto (disco + cápsula), en mg.

V: Volumen de muestra filtrada, en mL.

### **Determinación del porcentaje de remoción de turbiedad y sólidos suspendidos totales (SST)**

Para verificar la influencia de remoción de sólidos versus la relación masa-volumen (g/L) de los cactus, se determinó el porcentaje de remoción a través de la siguiente fórmula:

$$Remoción (\%) = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100$$

Dónde:

R (%) : Porcentaje de remoción

$C_i$  : Medida inicial de los indicadores (SST y turbiedad) de la muestra

$C_f$  : Medida final de turbiedad y SST luego de agregarle floculante natural

### **3.2.3. Trabajo de gabinete**

En esta etapa se realizó el procesamiento de la información, el análisis de los datos obtenidos durante el trabajo de campo y de laboratorio, así como su respectiva interpretación.

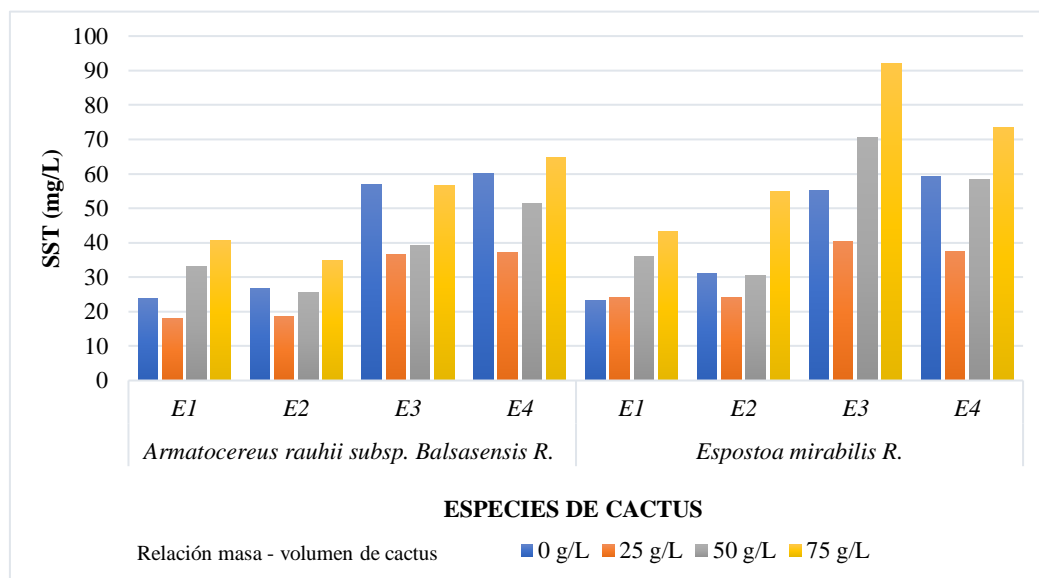
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Sólidos suspendidos totales (SST)

**TABLA 3.** Medidas obtenidas de sólidos suspendidos totales

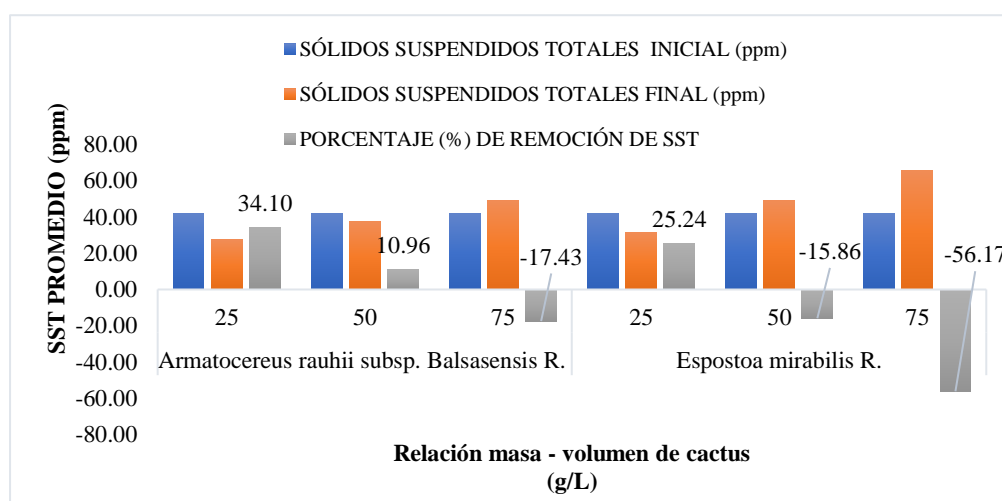
Especies de cactus	Evaluaciones	Sólidos suspendidos totales (ppm)			
		0	25	50	75
<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	E1	23.7	18.04	33.10	40.57
	E2	26.8	18.51	25.57	34.83
	E3	57	36.57	39.07	56.57
	E4	60.06	37.30	51.47	64.80
	<b>PROMEDIO</b>	<b>41.89</b>	<b>27.61</b>	<b>37.30</b>	<b>49.19</b>
<i>Espostoa mirabilis</i> R.	E1	23.23	24.18	36.10	43.20
	E2	31.04	24.01	30.51	54.82
	E3	55.3	40.43	70.50	92.07
	E4	59.17	37.50	58.37	73.40
	<b>PROMEDIO</b>	<b>42.19</b>	<b>31.53</b>	<b>48.87</b>	<b>65.87</b>



**Figura 10.** Comparación de sólidos suspendidos totales en cada evaluación y las relaciones de los cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R.

**TABLA 4.** Remoción de sólidos suspendidos totales

Factores		Sólidos suspendidos totales iniciales (ppm)	Sólidos suspendidos totales finales (ppm)	Porcentaje (%) de remoción de sólidos suspendidos totales (SST)
Especies de cactus	Relación masa - volumen de cactus (g/L)			
<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	25		27.61	34.10
	50	41.89	37.30	10.96
	75		49.19	-17.43
<i>Espostoa mirabilis</i> R.	25		31.53	25.24
	50	42.19	48.87	-15.86
	75		65.87	-56.17



**Figura 11.** Remoción de sólidos suspendidos totales (SST) en cada muestra

En la tabla 4 muestra el porcentaje (%) de remoción de sólidos suspendidos y se refleja que la relación masa – volumen (g/L) más efectiva es de 25 g/L del cactus de *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. seguido de la relación 50 g/L dando una remoción de 34,10 % y 10,96 %; con el tejido vegetal de *Espostoa mirabilis* R. logra una remoción de sólidos suspendidos totales de 25,24 % con la relación masa – volumen de 25 g/L y con 50 y 75 g/L existe un aumento de sólidos suspendidos totales en cada una de las muestras.



**TABLA 5.** Análisis de varianza para el indicador de sólidos suspendidos totales

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<b>Especies de cactus</b>	2070.24676	1	2070.24676	10.4664415	0.00190116	3.98626948
<b>Relaciones masa – volumen (g/L)</b>	9386.28889	2	4693.14444	23.7268922	1.7216E-08	3.13591793
<b>Interacción Dentro del grupo</b>	494.351869	2	247.175935	1.24963483	0.29330118	3.13591793
	13054.7031	66	197.798532			
<b>Total</b>	25005.5906	71				

La tabla estadística calculada nos muestra que no hay diferencia significativa, el valor de F calculado es mayor que el valor de F tabulado, tanto para las especies de los cactus como para las relaciones masa – volumen de los mismos, se concluye también que hay una significancia en las interacciones entre las especies versus la relación masa – volumen (g/L).

El agua con abundantes sólidos suele ser de inferior potabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor. En los resultados obtenidos se refleja que la relación masa – volumen más efectivo es de 25 g/L del cactus de *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. seguido de la relación masa – volumen de 50 g/L dando una remoción de 34,10 % y 10,96 %; con *Espostoa mirabilis* R. 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) en cada una de las muestras. Estos resultados obtenidos pueden deberse a que el agua que consume el distrito de Balzas – Amazonas no presenta predisposición para un buen tratamiento de coagulación-floculación, ya que sus niveles de pH son de 8,33 y para lograr que el proceso de floculación sea eficiente el pH debe ser inferior a 8; 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.

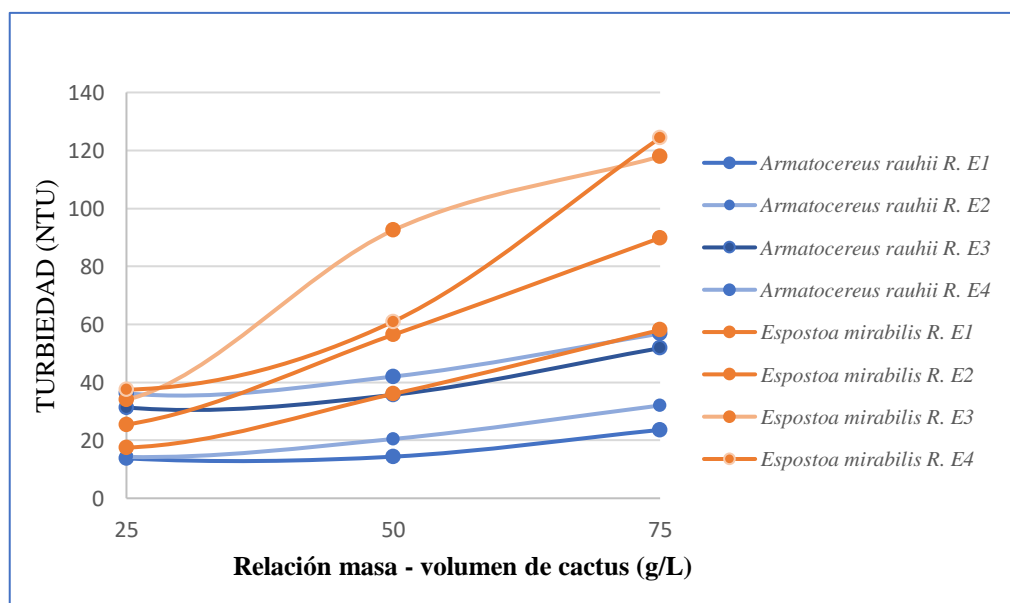
Los cactus que se ha usado en esta investigación son muy poco estudiados no se ha encontrado antecedentes sobre remoción de sólidos suspendidos o turbiedad con *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espositoa mirabilis* R., es por ello la importancia de encontrar nuevas alternativas de floculantes naturales y la especie *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R., muestra una remoción de sólidos suspendidos totales de 34,10 % y un 39,47 % de turbiedad, aunque esta remoción no se acerca a la remoción que consigue el cactus más estudiado en este campo la *Opuntia ficus-indica* M. 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* M. 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 solidos suspendidos de 42,04 ppm, logrando una remoción de 39,47 % de turbiedad y 34,10 % de sólidos suspendidos totales (SST) con la especie *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R., 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 y 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*

M., 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.

## 4.2. Turbiedad

**TABLA 6.** Medidas de turbiedad

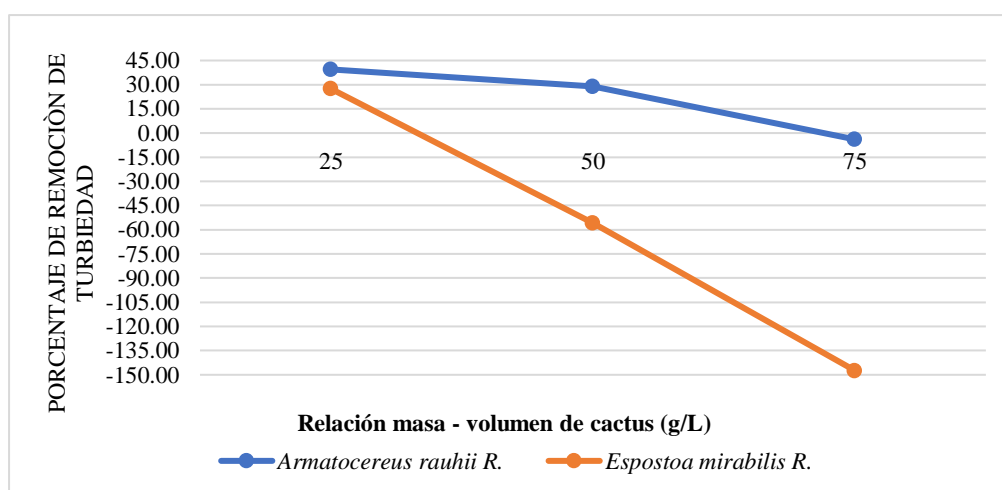
Especies de cactus	Evaluaciones	Turbiedad (NTU) inicial	Turbiedad (NTU)		
			25	50	75
<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	E1	23.9	13.79	14.36	23.60
	E2	23.97	14.27	20.46	32.01
	E3	51.3	31.35	35.70	51.80
	E4	58.83	36.23	42.00	56.80
<b>PROMEDIO</b>		<b>39.5</b>	<b>23.91</b>	<b>28.13</b>	<b>41.05</b>
<i>Espostoa mirabilis</i> R.	E1	30.07	17.50	36.01	58.07
	E2	28.17	25.44	56.41	89.81
	E3	47.73	34.00	92.47	117.90
	E4	56.73	37.47	60.97	124.33
<b>PROMEDIO</b>		<b>40.675</b>	<b>28.60</b>	<b>61.46</b>	<b>97.53</b>



**Figura 12.** Turbiedad por evaluación en las diferentes relaciones masa – volumen de los cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R.

**TABLA 7.** Remoción de turbiedad en las muestras de agua

Factores				
Especies de cactus	Relación masa - volumen de cactus (g/L)	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final (NTU)	Porcentaje (%) de remoción
<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	25		23.91	39.47
	50	39.50	28.13	28.78
	75		41.05	-3.93
<i>Espostoa mirabilis</i> R.	25		28.60	27.45
	50	40.675	61.46	-55.90
	75		97.53	-147.37



**Figura 13.** Porcentaje (%) de remoción de turbiedad en las diferentes relaciones masa –volumen

En la tabla 7 se observa que el porcentaje de remoción es baja, con el coagulante *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. con la relación masa – volumen de 25 y 50 g/L existe 39,47 y 28,78 % de remoción, pero con la relación masa – volumen de 75 g/L la turbiedad se incrementa en 3,93 %.

Con el coagulante *Espostoa mirabilis* R., 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.

**TABLA 8.** Análisis de varianza para el indicador de turbiedad

<b>Origen de las variaciones</b>	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<b>Especies de cactus</b>	17859.56	1.00	17859.56	57.02	0.00	3.99
<b>Relación masa – volumen (g/L)</b>	22363.36	2.00	11181.68	35.70	0.00	3.14
<b>Interacción</b>	8074.22	2.00	4037.11	12.89	0.00	3.14
<b>Dentro del grupo</b>	20672.58	66.00	313.22			
<b>Total</b>	68969.71	71.00				

Los resultados obtenidos nos muestran que respecto a las especies de los cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R. en relación a la turbiedad no existe diferencia estadística significativa pues el F calculado que tiene un valor de 57,02 es mayor que el valor crítico de F tabulado dándonos un valor de 3,99; si comparamos con la probabilidad también encontramos la misma relación pues hemos trabajado bajo un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ , entonces si el valor encontrado en la probabilidad es menor al valor de  $\alpha$ , por lo tanto concluimos que no existe diferencia significativa entre ambos cactus respecto a la turbiedad, lo mismo sucede con las relaciones masa – volumen (g/L); sin embargo podemos observar en tabla 8 en la parte de las interacciones el valor de F nos indica que no existe diferencia significativa y que si hay un efecto de interacción entre las variables, pero si hacemos la interpretación desde el valor de probabilidad se deduce que no hay diferencia significativa pues el valor es menor al valor de 0.05.

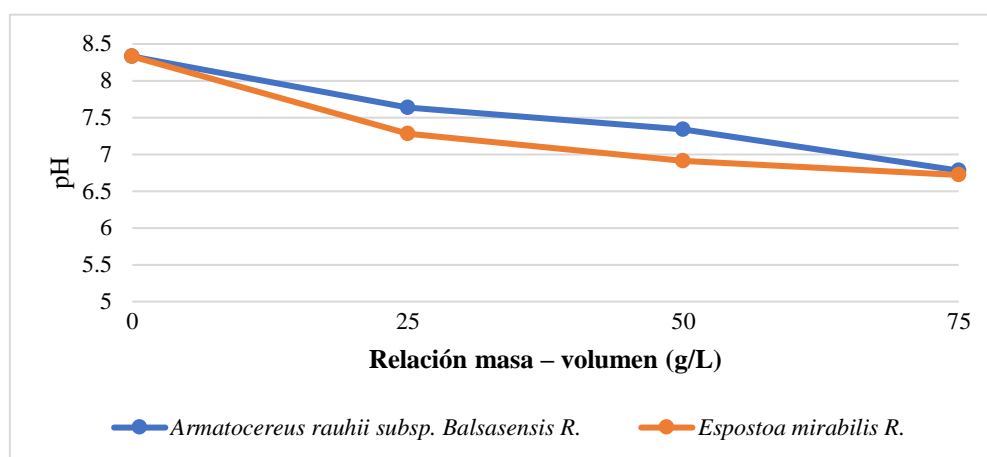
Los valores de turbiedad obtenidos no cumplen con las características mínimas exigidas en el D.S. N° 031-2010-SA para el agua potable (< 5 NTU); no obstante, es importante tener en cuenta que el proceso de clarificación es una de las primeras etapas implementadas durante el tratamiento del agua, y el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

puede observar en la tabla 7, el porcentaje de remoción no satisface la necesidad de mejorarlo; si bien es cierto la relación masa – volumen de 25 g/L de *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. 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 que varían entre 23 y 58 ppm, como lo indica la tabla 14 de anexo, que muestra las condiciones iniciales del agua que consume el distrito de Balzas; estos sólidos suspendidos determinados serían los causantes de los niveles altos de turbiedad del agua que consume la población de la comunidad de Balzas.

#### 4.3. pH

**TABLA 9.** pH de la mezcla con *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. (*Ar*) y *Espositoa mirabilis* R. (*Em*)

Evaluaciones	Factores		pH inicial	pH final
	Especies de cactus	Relación masa – volumen de cactus (g/L)		
<b>E1</b>	<i>Ar</i>	25	8.25	7.66
		50		7.46
		75		6.86
	<i>Em</i>	25	8.52	7.37
		50		6.98
		75		6.73
<b>E2</b>	<i>Ar</i>	25	8.56	8.08
		50		7.63
		75		6.50
	<i>Em</i>	25	8.52	7.22
		50		6.90
		75		6.73
<b>E3</b>	<i>Ar</i>	25	8.24	7.73
		50		7.51
		75		7.03
	<i>Em</i>	25	8.18	7.64
		50		7.32
		75		7.00
<b>E4</b>	<i>Ar</i>	25	8.25	7.10
		50		6.75
		75		6.72
	<i>Em</i>	25	8.12	6.90
		50		6.42
		75		6.41



**Figura 14.** Variación del pH

En los datos presentados en la tabla 9, podemos determinar que el uso de coagulantes naturales estabiliza el pH significativamente. El pH del agua que consume el distrito de Balzas tiene un pH 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* R. y *Espostoa mirabilis* R. como muestra los datos graficados en la figura 14.

Análisis estadístico de la interacción de los datos obtenidos de pH en las diferentes relaciones masa – volumen de ambos cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R.

**TABLA 10:** Análisis de varianza para el indicador pH

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<b>Especies de cactus</b>	1.45	1	1.45	10.45	0.00	3.99
<b>Relación masa – volumen (g/L)</b>	6.13	2	3.07	22.13	0.00	3.14
<b>Interacción</b>	0.47	2	0.23	1.68	0.19	3.14
<b>Dentro del grupo</b>	9.14	66	0.14			
<b>Total</b>	17.19	71				

Los resultados obtenidos nos muestran que respecto a las especies de los cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R. en relación al

pH no existe diferencia estadística significativa pues el F calculado que tiene un valor de 10,45 es mayor que el valor crítico de F tabulado dándonos un valor de 3,99; si comparamos con la probabilidad también encontramos la misma relación pues hemos trabajado bajo un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ , el valor encontrado en la probabilidad es menor al valor de  $\alpha$ , por lo tanto concluimos que no existe diferencia significativa entre ambos cactus respecto al pH, lo mismo sucede con la relación masa – volumen (g/L) de las especies de cactus investigadas; sin embargo podemos observar en tabla 10, en la parte de las interacciones el valor de F nos indica que si existe diferencia significativa y que no hay un efecto de interacción entre las variables (eso es bueno, pues una interacción muchas veces niega la validez de los otros valores de F).

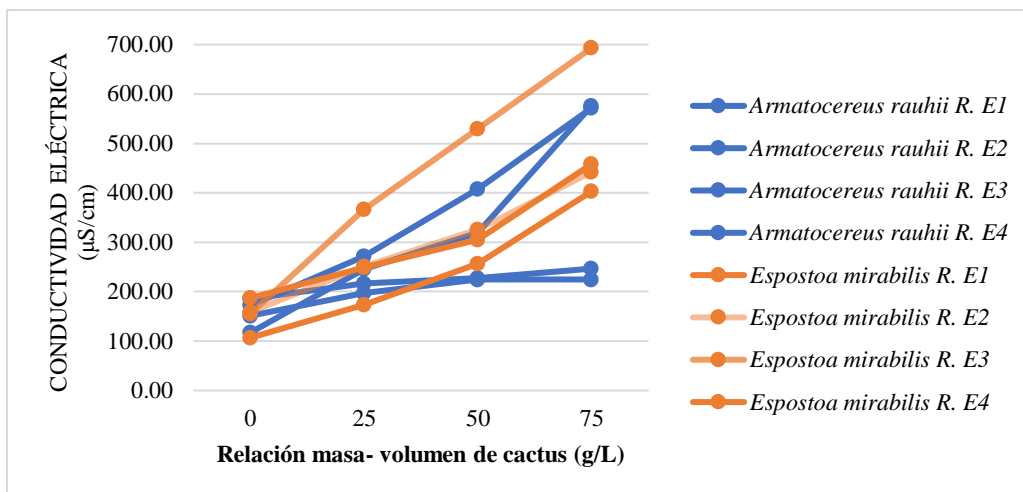
El pH no ejerce efectos directos en los consumidores, es uno de los parámetros indicadores de la calidad del agua; para que la desinfección con cloro sea eficaz es preferible que sea un pH inferior a 8, es por esta razón la importancia de reducir el pH en este tipo de agua ya que su uso es directo para consumo humano, y el pH promedio encontrado en el agua para consumo humano del distrito de Balzas es de 8,33.

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

**TABLA 11.** Conductividad eléctrica de la mezcla con *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espositoa mirabilis* R

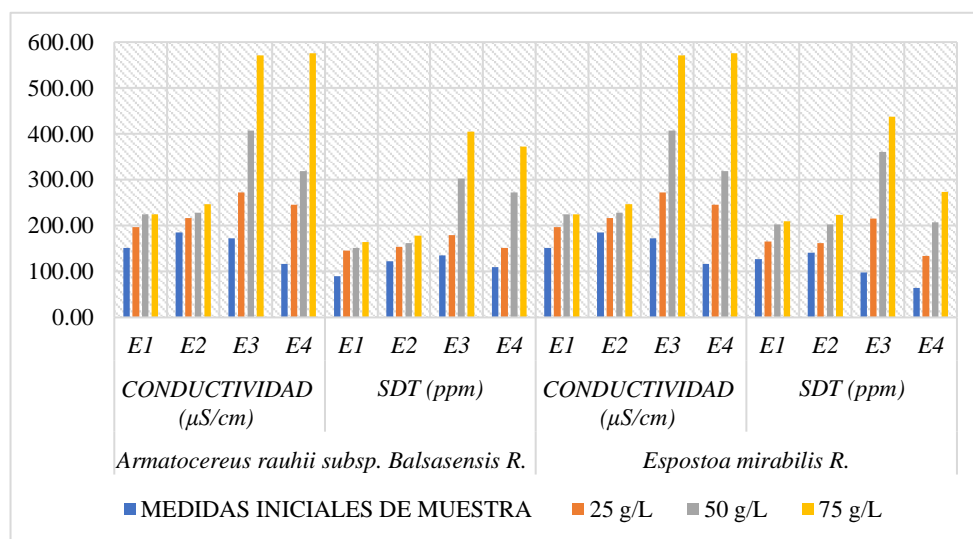
Especies de cactus	Evaluaciones	Medidas de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ )			
		0 g/L	25 g/L	50 g/L	75g/L
<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	E1	151.30	197.33	224.67	224.67
	E2	185.70	217.00	227.67	246.67
	E3	172.00	272.00	407.33	571.67
	E4	117.00	245.67	318.67	576.33
	<b>PROMEDIO</b>	<b>156.50</b>	<b>233.00</b>	<b>294.58</b>	<b>404.83</b>
<i>Espositoa mirabilis</i> R.	E1	187.00	249.33	305.33	458.33
	E2	158.70	250.67	325.67	442.33
	E3	155.30	366.33	529.67	693.33
	E4	106.70	173.33	257.00	403.00
	<b>PROMEDIO</b>	<b>151.93</b>	<b>259.92</b>	<b>354.42</b>	<b>499.25</b>





**Figura 15.** Variación de la conductividad eléctrica

Según los resultados reflejados utilizando los coagulantes de *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R., podemos observar que la conductividad eléctrica se incrementa significativamente lo cual 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 diferentes dosis del tejido vegetal de cada uno de los cactus, como muestra la siguiente tabla 11 y figura 15.



**Figura 16.** Relación masa – volumen de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales

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 corroborar en la figura

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

**TABLA 12:** Análisis de varianza para el indicador de conductividad eléctrica

<b>Origen de las variaciones</b>	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<b>Especies de cactus</b>	60494.01	1	60494.01	5.31	0.02	3.99
<b>Relación masa – volumen (g/L)</b>	536506.58	2	268253.29	23.53	0.00	3.14
<b>Interacción</b>	10921.36	2	5460.68	0.48	0.62	3.14
<b>Dentro del grupo</b>	752575.92	66	11402.67			
<b>Total</b>	1360497.88	71				

Los resultados obtenidos en la tabla 12 nos muestra que respecto a las especies de los cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R. en relación a la conductividad eléctrica no existe diferencia estadística significativa en relación de las especies de cactus y las relaciones masa – volumen (g/L); existe diferencia significativa en las interacciones puesto que el valor de F es menor al valor crítico de F.

La conductividad eléctrica se incrementa significativamente con las distintas cantidades de los cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R., teniendo como mínimo el valor de 233 hasta 499,25 como muestra la tabla 11. La conductividad eléctrica es directamente proporcional a los valores de sólidos disueltos, por lo tanto, cuanto mayor sea dicha relación masa – volumen (g/L), mayor será la conductividad eléctrica (Moreno 2016). 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 y 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.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

- El mucilago del tejido vascular de *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R. 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* R. 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 vascular de *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R., 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.

## CAPÍTULO VI

### BIBLIOGRAFÍA

- Alfrey, AC; Legendre GR; Kaehny WD. 1976. The dialysis encephalopathy syndrome, a posible aluminum intoxicification. 184 -188 p.
- Almeida, V; De Souza, M; Fávaro, S; Freitas, T; García, J; Geraldino, H; Oliveira, V. 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.
- Almendárez, N. 2004. Comprobación de la efectividad del coagulante (Cochifloc) en aguas del Lago de Managua. Mexico. Zeta-Meter. 120p.
- Aragón, A; Gómez, A; Medina, T; Toro, V. 2006. Structural characteristics of gels formed by mixtures of carrageenan and mucilage gum from *Opuntia ficus-indica* (en línea). *Carbohydrate Polymers*. Consultado 21 mar. 2017. Disponible en <http://worldwidescience.org/+opuntia+ficus-indica.html>.
- Arboleda, J. 2000. Teoría y práctica de la purificación del agua. 3 ed. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria. México. Mc Graw Hill. 256 p.
- Arévalo, C; Wilchez, J; Morales, W; Rivera, H. 2013. Alternativa para la potabilización del agua en zonas rurales (en línea). *Revista ambiental agua aire y suelo*. 4(2):130-140. Consultado 05 ago. 2018. Disponible en [http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/RA/article/view/430ISSN1900-9178](http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/view/430ISSN1900-9178)
- Campos, J; Colina, G; Fernández, N; Ojeda, G; Torres, G. 2003. Caracterización del agente activo de las semillas de *Moringa oleifera*. HPLC. Venezuela, Huaracán.
- Cárdenas, A. 1999. Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus indica*) mucilage in solution. (en línea). Consultado 21 mar. 2017. Disponible en [http://www.jpacd.org/downloads/Vol2/6\\_CPUNFAO.pdf](http://www.jpacd.org/downloads/Vol2/6_CPUNFAO.pdf).

- Castro Leon, M; Gibaja Oviedo, S. 1979. Extracción de polisacáridos de la *Opuntia ficus indica*, Identificación de algunos de sus componentes y su uso en Tratamientos de aguas. Tesis Ing. Quim. Lima, Perú, UNMSM.
- Castro, ML. 2014. Parámetros físico-químicos que influyen en la calidad y en el tratamiento del agua. Lima.
- Contreras, K; Aguas, Y; Salcedo, G; Olivero, R; Mendoza, G. 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/10567/1333ISSN1909-0455>.
- Coto, R. 2011. Estudio preliminar del uso de coagulantes químicos en la coagulación-floculación de aguas residuales Tecnología en Marcha. Tesis. Ecuador, ESPCH. 121p.
- Crapper, S. 1992. Proceso de coagulación. México. Zeta-Meter.
- Crittenden, J; Hand, D; Howe, K; Tchobanoglous, G; Trussell, R. 2005. *Water Treatment Principles and Design*. 2 ed. Sons, J. W. (ed.). New Jersey, Inc., Hoboken. 240p.
- Duan, J; Gregory, J. 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.
- Galvín Marín, R. 1998. "Jar Test" en el tratamiento de aguas: Una valiosa herramienta (en línea). Tecnología del Agua, Córdoba, Empresa Municipal Aguas de Córdoba. Consultado 20 jul. 2018. Disponible en <http://webcd.usal.es/Web/ETAP/unidades/documen.alu/jartest/jartest.htm>
- Ganjidoust H.1997. Effect of syntethic and natural coagulant on ligning removal from pulp and paper waste water. *Water Science Technology*. 286-291p.

- Guerrero, L; Océn C; Moreno, C. 2007. Nuevo proceso fisicoquímico para la potabilización de agua sin la utilización de poliacrilamidas, en XXVII Jornadas Técnicas AEAS. Málaga. 11-21 p.
- Guzmán, L; Núñez, A; Tarón, A. 2007. Utilización del polvo de semilla de cañafístula (*Cassia fistula*) como agente coagulante natural en el tratamiento de agua potable. Tesis Ing. Quim. Cartagena, UC-FI. 98p.
- Guzmán, R; Aquino, E; Chavarría, Y; Chávez, J; Silva, E. 2012. Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (*Opuntia spp.*) color rojovioleta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración. (en línea). Consultado 12 ago. 2018. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4035433ISSN-e 1665-4412>
- Hernandez, A; Gallardo, Y; Zambrano, M. 1998. Características fisicoquímicas del nopal. Temas en Tecnología. Mexico. F. CYTED. 2: 29-42.
- Jahn, Musnad, B. 1986. The tree that purifies water: cultivating multipurpose moringaceae in Sudan. Sudan. UNASYLVA 38 (152): 23 - 28.
- Jaramillo, J; Ramírez, H. 2014. Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos. (en línea) Ingeniería Solidaria. 10(17): 139-151. Consultado 13 ago. 2018. Disponible en <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.813>.
- Jaramillo, J; Ramírez, H. 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/1303/1359ISSN 1900-4699>.
- Kirchmer C. 1973. Aspectos Químicos y Físicos de la coagulación del agua. Lima, Perú. 1 – 9 p.
- Kumar, S., Krishna, G., Sivasankar, V. 2015. Coagulation performance evaluation of natural and synthetic coagulants in waste water treatment (en línea). ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 10(6): 2714-2717. Consultado 07

- ago. 2018. Disponible en [http://www.arnjournals.com/jeas/research\\_papers/rp\\_2015/jeas\\_0415\\_1820.pdf](http://www.arnjournals.com/jeas/research_papers/rp_2015/jeas_0415_1820.pdf)ISSN 1819-6608.
- López, R; Aparicio, M; Hernández, J; Laines, J. 2014. Evaluación de almidones de malanga (*Colocasia esculenta*) como agentes coadyuvantes en la remoción de turbiedad en el proceso de potabilización del agua. (en línea). Scielo. 13(3): 855-863. Consultado 03 ago. 2018. Disponible en <http://www.scielo>.
- Lozano, W. 2012. Uso del extracto de Fique (*Furcraea sp.*) como coadyuvante de coagulación en tratamiento de lixiviados. (en línea). Contaminación Ambiental. 28 (3): 219-227. Consultado 22 jul. 2018. Disponible en <http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/32534>
- Martínez García, J; González Silgado, L. 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.
- Martínez, S. 1999. Parámetros de diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales. México. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Melo, G; Turriago, F.2012. Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de Moringa oleífera como una alternativa de biorremediación en la purificación superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias. Tesis Ing. Agroforestal. Colombia, UNAD. 121p.
- Moreno Pérez, SC. 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](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/6854/moreno_ps.pdf?sequence=1)
- Ndabigengesere, M. 1997. Alkali treatment to asphaltic crude oil and its effect on thermal properties of asphaltic fractions Proceedings of the Second International Symposium on Colloid Chemistry in oil production. Brazil. WaterMill.



- Olivero, R; Aguas, Y; Casas, D; Mercado, I; 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](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/](http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2012/drinking_water_20120306/es/)
- Osorno, H. 2009. Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Tesis Ing. de Min. Medellín, UNM.
- Ostolaza C. 2011. 101 cactus del Perú (en línea). Ministerio del Ambiente MINAM. Lima, Perú, Franco EIRL. 257p. Consultado 10 ago. 2018. Disponible en
- Ostolaza C. 2014. Todos los cactus del Perú. (en línea). Ministerio del Ambiente MINAM. Lima, Perú, Franco EIRL. 541p. Consultado 10 ago. 2018. Disponible en <http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wpcontent/uploads/sites/21/2014/02/document.pdf>
- Peruco Theodoro, JD; Bergamasco, R; Felipe, LG; Fiori, ZR. 2013. Coagulants and Natural Polymers: Perspectives for the Treatment of Water. *Plastic and Polymer Technology*. México. 2(3): 55-62.
- Poddar, S. 2004. Chromosome Damage Induced by Ferric Chloride in Human Peripheral Lymphocytes (en línea). Consultado el 25 mar. 2018. Disponible en <http://www.krepublishers.com/02-Journals/IJHG/IJHG-04-0-000-000-2004-Web/IJHG-04-4-227-294-2004-Abst-PDF/IJHG-04-4-261-264-2004-Poddar-S/IJHG-04-4-261-264-2004-Poddar-S.PDF>.
- 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.

- Revelo, A; Proaño, D; Banchón, C. 2015. Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de *Caesalpinia spinosa* (en línea). 6(1): 1-12. Consultado 6 abr. 2018. Disponible en <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute>  
Publicación trimestral e-ISSN: 1390-6542.
- Romero Rojas, J. 2002. Calidad del agua. Nva. ed. Colombia. S.A. 253p.
- Sáenz C. 2004. Compuestos funcionales y alimentos derivados de *Opuntia* spp. In *El Nopal: Tópicos de Actualidad*. Esparza, G; Valdez, R; Méndez S (eds.). Universidad Autónoma de Chapingo, México. p.211-222.
- Sánchez, J; Beltran, J; Carmona, C; Gibello, P. 2011. Absorbentes naturales a partir de taninos: Una propuesta de reutilización de residuos forestales para la purificación de aguas. Tesis. Mérida, Plasencia. UE.139p.
- Sepúlveda, E; Aceituno, C; Aliaga, E; Sáenz, C. 2007. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. (en línea). *Journal of Arid Environments*. Consultado el 22 de marzo de 2017. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014019630600259X>.
- Sierra, R. 2011. Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico. 1 ed. Colombia, Bogotá. Ediciones de la U. 457 p.
- Silva Casas, MN. 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](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/7155/Silva_cm.pdf?sequence=1)
- Trachtenberg, S; Mayer, AM. 1981. Composition and properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage. *Phytochemistry*, 266-268 p. (en línea) consultado el 18 de mayo 2017. Disponible en [http://www.japsonline.com/admin/php/uploads/541\\_pdf.pdf](http://www.japsonline.com/admin/php/uploads/541_pdf.pdf).
- Vásquez O. 1994. Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales (en línea). Tesis Ing. Amb. Nuevo León, Monterrey, UANL. Consultado 22 ago. 2018. Disponible en <http://eprints.uanl.mx/7207/1/1020091188.PDF>

- Warner, E. 1972. Impacto Económico de los Nuevos Procesos de Tratamiento de Agua: Memorias Simposio Nuevos Métodos de Tratamiento de Agua. Asunción. 527 – 536 p.
- Wiersma. 1986. Research methods in education: an introduction. Boston. Ally and Bacon.
- Wilchez, J; Morales, W; Arévalo, C; Rivera, H. 2013. Alternativa para la potabilización del agua en zonas rurales (en línea). Revista ambiental agua aire y suelo. 4(2):130-140. Consultado 13 ago. 2018. Disponible en [http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.Php/RA/article/view/430ISSN1900-9178](http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.Php/RA/article/view/430ISSN1900-9178)
- Yang, H; Fang, Z; Zhang, J. 2006. Estudio preliminar sobre cactus como coagulante en el tratamiento de aguas, Proceso de Bioquímica. 2ed. México. Zeta-Meter. 230 p.

## CAPÍTULO VII

### ANEXOS

#### 7.2. Análisis estadísticos

**TABLA 13.** Matriz de diseño experimental según el arreglo del diseño factorial ANOVA: Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo aleatorizado.

- Tratamiento = T
- Repetición = R
- Especie de cactus = A
- *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. = a1
- *Espositoa mirabilis* R. = a2
- Relaciones masa – volumen = B
- 25 g/L = b1
- 50 g/L = b2
- 75 g/L = b3

Tratamientos	Interacción de factores	Contraste				Variable de salida
		1	A	B	AB	
R1T1	a1b1	+	+	+	+	E1
R1T2	a1b2	+	-	+	-	E1
R1T3	a1b3	+	-	-	+	E1
R1T4	a2b1	+	+	-	-	E1
R1T5	a2b2	+	-	+	-	E1
R1T6	a2b3	+	-	-	+	E1
R2T7	a1b1	+	-	-	-	E1
R2T8	a1b2	+	-	-	-	E1
R2T9	a1b3	+	+	+	-	E1
R2T10	a2b1	+	+	+	+	E1
R2T11	a2b2	+	+	+	+	E1
R2T12	a2b3	+	-	-	+	E1
R3T13	a1b1	+	+	-	-	E1
R3T14	a1b2	+	-	+	-	E1
R3T15	a1b3	+	+	-	-	E1
R3T16	a2b1	+	-	-	+	E1
R3T17	a2b2	+	+	-	+	E1
R3T18	a2b3	+	-	+	+	E1
R1T19	a1b1	+	+	+	+	E2
R1T20	a1b2	+	-	+	-	E2
R1T21	a1b3	+	-	-	+	E2
R1T22	a2b1	+	+	-	-	E2
R1T23	a2b2	+	-	+	-	E2
R1T24	a2b3	+	-	-	+	E2

**TABLA 14.** Condiciones iniciales del efluente del suministro de agua para consumo humano del distrito de Balzas - Amazonas

<b>Especies de cactus</b>	<b>Evaluaciones</b>	<b>pH Promedio</b>	<b>Conductividad eléctrica (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>	<b>Turbiedad (NTU)</b>	<b>Sólidos suspendidos totales (ppm)</b>	<b>Sólidos disueltos totales (ppm)</b>
<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	<b>E1</b>	8.25	151.3	23.9	23.7	90.33
	<b>E2</b>	8.56	185.7	23.97	26.8	122
	<b>E3</b>	8.24	172	51.3	57	134.7
	<b>E4</b>	8.3	117	58.83	60.06	109.7
<i>Espostoa mirabilis</i> R.	<b>E1</b>	8.52	187	30.07	23.23	127
	<b>E2</b>	8.52	158.7	28.17	31.04	141.3
	<b>E3</b>	8.18	155.3	47.73	55.3	98.33
	<b>E4</b>	8.12	106.7	56.73	59.17	64.33

**TABLA 15.** Datos promedios obtenidos de todos los indicadores a medir durante las distintas evaluaciones

DATOS POR EVALUACIONES								
Evaluaciones	Factores		pH	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Turbiedad (NTU)	Sólidos suspendidos totales (ppm)	Sólidos disueltos totales (ppm)	Temperatura (°C)
	Especies de cactus	Relación de cactus masa - volumen (g/L)						
E1	<i>Armatocereus</i>	25	7.66	197.33	13.79	18.04	146.00	28.63
	<i>rauhii</i> subsp.	50	7.46	224.67	14.36	33.10	152.00	28.70
	<i>Balsasensis</i> R.	75	6.86	253.67	23.60	40.57	163.67	28.73
	<i>Espostoa</i>	25	7.37	249.33	17.50	24.18	165.33	28.93
	<i>mirabilis</i> R.	50	6.98	305.33	36.01	36.10	203.00	29.03
			75	6.73	458.33	58.07	43.20	289.33
E2	<i>Armatocereus</i>	25	8.08	217.00	14.27	18.51	154.00	28.53
	<i>rauhii</i> subsp.	50	7.63	227.67	20.46	25.57	162.33	28.53
	<i>Balsasensis</i> R.	75	6.50	246.67	32.01	34.83	178.00	28.50
	<i>Espostoa</i>	25	7.22	250.67	25.44	24.01	162.00	28.37
	<i>mirabilis</i> R.	50	6.90	325.67	56.41	30.51	203.00	28.30
			75	6.73	442.33	89.81	54.82	343.33
E3	<i>Armatocereus</i>	25	7.73	272.00	31.35	36.57	179.00	25.50
	<i>rauhii</i> subsp.	50	7.51	407.33	35.70	39.07	302.00	25.27
	<i>Balsasensis</i> R.	75	7.03	571.67	51.80	56.57	404.67	25.30
	<i>Espostoa</i>	25	7.64	366.33	34.00	40.43	215.33	25.23
	<i>mirabilis</i> R.	50	7.32	529.67	92.47	70.50	360.33	25.00
			75	7.00	693.33	117.90	92.07	437.33
E4	<i>Armatocereus</i>	25	7.10	245.67	36.23	37.30	151.67	23.27
	<i>rauhii</i> subsp.	50	6.75	318.67	42.00	51.47	272.33	23.13
	<i>Balsasensis</i> R.	75	6.72	576.33	56.80	64.80	372.67	23.00
	<i>Espostoa</i>	25	6.90	173.33	37.47	37.50	134.33	22.53
	<i>mirabilis</i> R.	50	6.42	257.00	60.97	58.37	207.00	22.80
			75	6.41	403.00	124.33	73.40	273.00

### 7.3. Cálculos estadísticos

#### Sólidos suspendidos totales

**TABLA 16.** Porcentaje (%) de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) en cada una de las evaluaciones

Evaluaciones	Factores		Sólidos suspendidos totales inicial (ppm)	Sólidos suspendidos totales (ppm)	Porcentaje (%) de remoción
	Especies de cactus	Relación masa - volumen de cactus (g/L)			
E1	<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	25	23.70	18.04	23.87
		50		33.10	-39.66
		75		40.57	-71.17
	<i>Espostoa mirabilis</i> R.	25	23.23	24.18	-4.09
		50		36.10	-55.40
		75		43.20	-85.97
E2	<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	25	26.80	18.51	30.92
		50		25.57	4.60
		75		34.83	-29.98
	<i>Espostoa mirabilis</i> R.	25	31.04	24.01	22.64
		50		30.51	1.72
		75		54.82	-76.60
E3	<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	25	57.00	36.57	35.85
		50		39.07	31.46
		75		56.57	0.76
	<i>Espostoa mirabilis</i> R.	25	55.30	40.43	26.88
		50		70.50	-27.49
		75		92.07	-66.49
E4	<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	25	60.06	37.30	37.90
		50		51.47	14.31
		75		64.80	-7.89
	<i>Espostoa mirabilis</i> R.	25	59.17	37.50	36.62
		50		58.37	1.36
		75		73.40	-24.05

**TABLA 17.** Resumen del análisis estadístico para determinar el ANOVA con respecto a los sólidos suspendidos totales (SST)

<b>Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo</b>				
<b>Resumen</b>	25	50	75	Total
<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.				
<b>Cuenta</b>	12	12	12	36
<b>Suma</b>	331.27	447.6	590.3	1369.17
<b>Promedio</b>	27.6058333	37.3	49.1916667	38.0325
<b>Varianza</b>	96.8290265	105.652727	164.795379	195.582734
<i>Espostoa mirabilis</i> R.				
<b>Cuenta</b>	12	12	12	36
<b>Suma</b>	378.38	586.42	790.45	1755.25
<b>Promedio</b>	31.5316667	48.8683333	65.8708333	48.7569444
<b>Varianza</b>	66.2745061	343.86367	409.375881	459.712805
<b>Total</b>				
<b>Cuenta</b>	24	24	24	
<b>Suma</b>	709.65	1034.02	1380.75	
<b>Promedio</b>	29.56875	43.0841667	57.53125	
<b>Varianza</b>	82.0266027	249.897321	347.176151	

### Turbiedad

**TABLA 18.** Remoción de turbiedad en cada evaluación

Evaluaciones	Factores		Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final (NTU)	Porcentaje (%) de remoción
	Especies de cactus	Relación masa - volumen de cactus (g/L)			
E1	<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	25	23.90	13.79	42.32
		50	23.90	14.36	39.92
		75	23.90	23.60	1.24
	<i>Espostoa mirabilis</i> R.	25	23.07	17.50	24.13
		50	23.07	36.01	-56.08
		75	23.07	58.07	-151.70
E2	<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	25	23.97	14.27	40.45
		50	23.97	20.46	14.63
		75	23.97	32.01	-33.53
	<i>Espostoa mirabilis</i> R.	25	30.17	25.44	15.67
		50	30.17	56.41	-86.96
		75	30.17	89.81	-197.67
E3	<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	25	51.30	31.35	38.89
		50	51.30	35.70	30.41
		75	51.30	51.80	-0.97
	<i>Espostoa mirabilis</i> R.	25	47.73	34.00	28.77
		50	47.73	92.47	-93.73
		75	47.73	117.90	-147.01
E4	<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	25	58.83	36.23	38.41
		50	58.83	42.00	28.61
		75	58.83	56.80	3.45
	<i>Espostoa mirabilis</i> R.	25	56.73	37.47	33.96
		50	56.73	60.97	-7.47
		75	56.73	124.33	-119.17



**TABLA 19.** Resumen del análisis estadístico para determinar el ANOVA con respecto a la turbiedad

<b>Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo</b>				
<b>RESUMEN</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>Total</b>
<i>Armatocereus rauhii</i>				
<b>Cuenta</b>	12	12	12	36
<b>Suma</b>	286.93	337.57	492.63	1117.13
<b>Promedio</b>	23.9108333	28.1308333	41.0525	31.0313889
<b>Varianza</b>	111.882463	137.803354	216.632093	201.255869
<i>Espostoa mirabilis</i>				
<b>Cuenta</b>	12	12	12	36
<b>Suma</b>	343.24	737.54	1170.32	2251.1
<b>Promedio</b>	28.6033333	61.4616667	97.5266667	62.5305556
<b>Varianza</b>	69.736297	453.147015	890.12417	1259.03437
<b>Total</b>				
<b>Cuenta</b>	24	24	24	
<b>Suma</b>	630.17	1075.11	1662.95	
<b>Promedio</b>	26.2570833	44.79625	69.2895833	
<b>Varianza</b>	92.6053781	572.440033	1361.31773	

### pH

**TABLA 20.** Datos obtenidos de pH en las muestras de agua con las especies de cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R. en todo el proceso de evaluaciones

<b>pH</b>	<b>Relación masa - volumen (g/L)</b>		
	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>75</b>
<b>Especies de cactus</b>			
<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	7.97	7.6	6.79
	7.76	7.36	6.8
	7.26	7.42	6.98
	8.17	7.69	6.7
	7.96	7.3	6.5
	8.1	7.9	6.3
	7.72	7.36	7.07
	7.76	7.2	6.98
	7.7	7.98	7.03
	7.1	6.72	6.55
	7.09	6.81	6.7
	7.1	6.71	6.92
	<i>Espostoa mirabilis</i> R.	8.18	7.53
7.14		6.9	6.68
6.79		6.5	6.36
7.24		7.1	6.58
7.12		6.7	6.7
7.3		6.9	6.9
7.72		7.44	7.01
7.7		7.32	6.98
7.5		7.21	7
6.97		6.44	6.42
6.9	6.4	6.4	
6.82	6.43	6.41	

**TABLA 21.** Resumen del análisis estadístico para determinar el ANOVA con respecto al pH

<b>Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo</b>				
<b>RESUMEN</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>Total</b>
<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.				
<b>Cuenta</b>	12	12	12	36
<b>Suma</b>	91.69	88.05	81.32	261.06
<b>Promedio</b>	7.64083333	7.3375	6.77666667	7.251666667
<b>Varianza</b>	0.16115379	0.182165909	0.05646061	0.257454286
<i>Espostoa mirabilis</i> R.				
<b>Cuenta</b>	12	12	12	36
<b>Suma</b>	87.38	82.87	80.6	250.85
<b>Promedio</b>	7.28166667	6.905833333	6.71666667	6.968055556
<b>Varianza</b>	0.17888788	0.171190152	0.08142424	0.192330397
<b>Total</b>				
<b>Cuenta</b>	24	24	24	
<b>Suma</b>	179.07	170.92	161.92	
<b>Promedio</b>	7.46125	7.121666667	6.74666667	
<b>Varianza</b>	0.19628098	0.217605797	0.06688406	

### Conductividad eléctrica

**TABLA 22.** Relación entre los datos obtenidos de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales (SDT)

Especies de cactus	Indicadores	Evaluaciones	Medidas iniciales	Relación masa - volumen de cactus (g/L)		
			0 g/L	25 g/L	50 g/L	75 g/L
<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.	<b>Conductividad</b>	E1	151.30	197.33	224.67	224.67
		E2	185.70	217.00	227.67	246.67
		E3	172.00	272.00	407.33	571.67
		E4	117.00	245.67	318.67	576.33
	<b>SDT</b>	E1	90.33	146.00	152.00	163.67
		E2	122	154.00	162.33	178.00
		E3	134.7	179.00	302.00	404.67
		E4	109.7	151.67	272.33	372.67
<i>Espostoa mirabilis</i> R.	<b>Conductividad</b>	E1	151.30	197.33	224.67	224.67
		E2	185.70	217.00	227.67	246.67
		E3	172.00	272.00	407.33	571.67
		E4	117.00	245.67	318.67	576.33
	<b>SDT</b>	E1	127	165.33	203.00	209.33
		E2	141.3	162.00	203.00	223.33
		E3	98.33	215.33	360.33	437.33
		E4	64.33	134.33	207.00	273.00

**TABLA 23.** Datos obtenidos de conductividad eléctrica *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. (*Ar*) y *Espostoa mirabilis* R. (*Em*)

Evaluaciones	Factores		Conductividad eléctrica inicial (μS/cm)	Conductividad eléctrica final (μS/cm)
	Especies de cactus	Relación masa volumen de cactus (g/L)		
E1	<i>Ar</i>	25	151.3	197.33
		50		224.67
		75		253.67
	<i>Em</i>	25	187	249.33
		50		305.33
		75		458.33
E2	<i>Ar</i>	25	185.7	217.00
		50		227.67
		75		246.67
	<i>Em</i>	25	158.7	250.67
		50		325.67
		75		442.33
E3	<i>Ar</i>	25	172	272.00
		50		407.33
		75		571.67
	<i>Em</i>	25	155.3	366.33
		50		529.67
		75		693.33
E4	<i>Ar</i>	25	117	245.67
		50		318.67
		75		576.33
	<i>Em</i>	25	106.7	173.33
		50		257.00
		75		403.00

**TABLA 24.** Resumen del análisis estadístico para determinar el ANOVA con respecto a la conductividad eléctrica

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo				
RESUMEN	25	50	75	Total
<i>Armatocereus rauhii</i> subsp. <i>Balsasensis</i> R.				
Cuenta	12	12	12	36
Suma	2796	3535	4945	11276
Promedio	233	294.583333	412.083333	313.222222
Varianza	1075.27273	6222.99242	28679.1742	16983.7206
<i>Espostoa mirabilis</i> R.				
Cuenta	12	12	12	36
Suma	3119	4253	5991	13363
Promedio	259.916667	354.416667	499.25	371.194444
Varianza	5234.99242	12004.447	15199.1136	20159.2468
<b>Total</b>				
Cuenta	24	24	24	
Suma	5915	7788	10936	
Promedio	246.458333	324.5	455.666667	
Varianza	3206.95471	9651.3913	22967.3623	

**7.4. Panel fotográfico: Identificación y recolección de cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R.**



**Figura 17.** Ubicación de los cactus para su respectiva recolección



**Figura 18.** Identificación de los cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R.



**7.5. Panel fotográfico: Suministro de agua para consumo humano del distrito de Balzas – Amazonas**

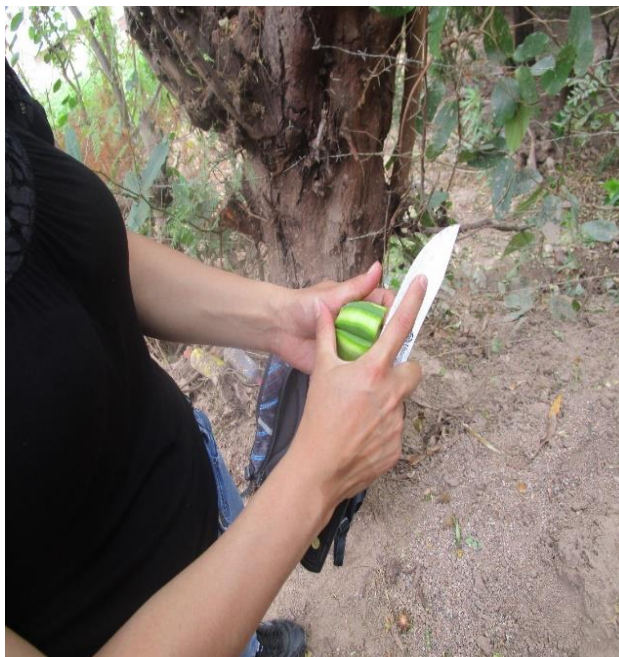


**Figura 19.** Filtros de canto rodado para el agua que consume la población de Balzas - Amazonas



**Figura 20.** Agua almacenada que servirá de muestra para nuestra investigación

7.6. **Panel fotográfico: Preparación del tejido vegetal de los cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R.**



**Figura 21.** Extracción de la epidermis de los cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y del cactus *Espostoa mirabilis* R.



**Figura 22.** Peso del tejido vegetal de los cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R.



### 7.7. Panel fotográfico: medición de indicadores de las muestras



**Figura 23.** Medición de pH, temperatura, sólidos suspendidos totales (SDT), conductividad eléctrica, salinidad y turbiedad de las muestras agua



**Figura 24.** Agregado de tejido vegetal a cada vaso de precipitación y agitado por cuatro minutos



**Figura 25.** Medición de parámetros de muestras tratadas con *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R.



**Figura 26.** Recolección de la muestra para determinar la turbiedad



**Figura 27.** Formación de flóculos en las muestras tratadas con los cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espositoa mirabilis* R.



7.8. Panel fotográfico: instrumentos utilizados para medir parámetros de campo



Figura 28. Turbidímetro utilizado para medir en campo la turbiedad de las muestras tratadas con los cactus *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y del cactus *Espostoa mirabilis* R.



Figura 29. Multiparametros utilizados para determinar sólidos disueltos totales (SDT), conductividad eléctrica, temperatura, pH de cada muestra tratada

**7.9. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano D.S. N°  
031-2010-SA**

---

Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano



Reglamento de la Calidad del Agua para  
Consumo Humano

DS N° 031-2010-SA.

Dirección General de Salud Ambiental  
Ministerio de Salud  
Lima – Perú  
2011

**Catalogación hecha por la Biblioteca Central del Ministerio de Salud**

Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano: D.S. N° 031-2010-SA /  
Ministerio de Salud. Dirección General de Salud Ambiental – Lima: Ministerio de  
Salud; 2011.  
44 p.; ilus.

SALUD AMBIENTAL / CONSUMO DE AGUA (Salud Ambiental) / LEGISLACIÓN  
SANITARIA / CONTROL DE CALIDAD / VIGILANCIA SANITARIA, organización &  
administración / ABASTECIMIENTO DE AGUA

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2011-02552

Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano

Elaborado por: Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud

© MINSA, Febrero 2011

Ministerio de Salud. Dirección General de Salud Ambiental  
Las Amapolas N°350-Lince- Lima 14-Perú  
Telef. : (51-1) 4428353  
[http:// www.digesa.minsa.gob.pe](http://www.digesa.minsa.gob.pe)  
<http://webmaster@digesa.minsa.gob.pe>

1ra. Edición, 2011  
Tiraje: 1000 unidades

Imprenta: J.B. GRAFIC E.I.R.L.  
Dirección: AV. IGNACIO MERINO N° 1681  
Distrito: LINCE  
Teléfono: 4700108

Versión digital disponible:  
<http://www.minsa.gob.pe/bvsminsa.asp>  
<http://www.minsa.gob.pe/webftp.asp?ruta=normaslegales/2010/DS031-2010-SA.pdf>

**TÍTULO IX**  
**REQUISITOS DE CALIDAD**  
**DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO**

**Artículo 59°.- Agua apta para el consumo humano**

Es toda agua inocua para la salud que cumple los requisitos de calidad establecidos en el presente Reglamento.

**Artículo 60°.- Parámetros microbiológicos y otros organismos**

Toda agua destinada para el consumo humano, como se indica en el Anexo I, debe estar exenta de:

1. Bacterias coliformes totales, termotolerantes y *Escherichia coli*,
2. Virus;
3. Huevos y larvas de helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos;
4. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos y nemátodos en todos sus estadios evolutivos; y
5. Para el caso de Bacterias Heterotróficas menos de 500 UFC/ml a 35°C.

**Artículo 61°.- Parámetros de calidad organoléptica**

El noventa por ciento (90%) de las muestras tomadas en la red de distribución en cada monitoreo establecido en el plan de control, correspondientes a los parámetros químicos que afectan la calidad estética y organoléptica del agua para consumo humano, no deben exceder las concentraciones o valores señalados en el Anexo II del presente Reglamento. Del diez por ciento (10%) restante, el proveedor evaluará las causas que originaron el incumplimiento y tomará medidas para cumplir con los valores establecidos en el presente Reglamento.

**Artículo 62°.- Parámetros inorgánicos y orgánicos**

Toda agua destinada para el consumo humano, no deberá exceder los límites máximos permisibles para los parámetros inorgánicos y orgánicos señalados en la Anexo III del presente Reglamento.

**Artículo 63°.- Parámetros de control obligatorio (PCO)**

Son parámetros de control obligatorio para todos los proveedores de agua, los siguientes:

1. Coliformes totales;
2. Coliformes termotolerantes;
3. Color;
4. Turbiedad;
5. Residual de desinfectante; y
6. pH.

En caso de resultar positiva la prueba de coliformes termotolerantes, el proveedor debe realizar el análisis de bacterias *Escherichia coli*, como prueba confirmativa de la contaminación fecal.

**ANEXO II**  
**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE**  
**CALIDAD ORGANOLÉPTICA**

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mg L <sup>-1</sup>	1 000
8. Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	250
9. Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> L <sup>-1</sup>	250
10. Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	500
11. Amoníaco	mg N L <sup>-1</sup>	1,5
12. Hierro	mg Fe L <sup>-1</sup>	0,3
13. Manganeso	mg Mn L <sup>-1</sup>	0,4
14. Aluminio	mg Al L <sup>-1</sup>	0,2
15. Cobre	mg Cu L <sup>-1</sup>	2,0
16. Zinc	mg Zn L <sup>-1</sup>	3,0
17. Sodio	mg Na L <sup>-1</sup>	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad