

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**Determinación del poder coagulante de la sábila
para la remoción de turbidez en el proceso de
tratamiento de agua para consumo humano –
Oxapampa - 2018**

Para optar el título profesional de

Ingeniero Ambiental

Autor : Bach. Jenny Angela MORALES OSORIO

Asesor : Dr. Sc. Hildebrando Anival CÓNDOR GARCÍA

Cerro de Pasco – Perú – 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**Determinación del poder coagulante de la sábila
para la remoción de turbidez en el proceso de
tratamiento de agua para consumo humano –
Oxapampa - 2018**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Julio Antonio ASTO LIÑAN
PRESIDENTE

Mg. Luis Alberto PACHECO PEÑA
MIEMBRO

Ing. Anderson MARCELO MANRIQUE
MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por guiarme en el camino del bien en cada momento de mi vida, por haberme dado una maravillosa familia que han sido mi mejor inspiración para sobresalir adelante y lograr mis objetivos.

A mis padres Dante Morales Trinidad y Marilyn Osorio Carbajal, por darme la vida y por hacer de mí, una mujer con principios y valores, por brindarme su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida ya sea en los malos y buenos momentos.

A mis hermanos, Yina, Lixandra, Roxana, Angelo, Gisela por ser quienes me dieron la fuerza e inspiración para alcanzar mis metas, por todo lo que hemos vivido juntos y por estar siempre al pendiente de mí en todo momento. A Jin por su gran apoyo incondicional en los momentos más importantes de mi vida.

RECONOCIMIENTO

Le doy gracias a Dios por todas las bendiciones recibidas, y por haberme acompañado en los momentos más difíciles que se presentaron y permitirme culminar mi carrera.

A mis padres, que siempre me han guiado por el sendero del bien.

A la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión mi alma mater por recibirme como alumna para poder estudiar mi carrera.

A todos mis profesores de la Facultad de Ingeniería Ambiental por sus sabias enseñanzas.

RESUMEN

La presente tesis lleva como título: “DETERMINACIÓN DEL PODER COAGULANTE DE LA SÁBILA PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO – OXAPAMPA - 2019”, tiene como objetivo general determinar el poder coagulante de la sábila para remover la turbidez en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano.

Se realizó la metodología experimental, que consistió en controlar y manipular intencionalmente dos variables (Concentración de mucilago de sábila y turbidez inicial del agua) en el laboratorio de ingeniería de la universidad nacional Daniel Alcides Carrión, donde se observó y se midió los cambios y efectos que se produjo en la variable denominado dependiente (porcentaje de reducción de turbidez).

Paralelamente se realizó la recolección de datos de fuentes primarias, se preparó cuatro muestras de agua con diferentes grados de turbidez (A: Baja=12,77 NTU; B: Media baja=19,43 NTU; C: Media alta=42,3 NTU y D: Alta=79,7 NTU), el cual representa los bloques.

Se agregó una cantidad de mucilago de sábila a las muestras de agua (0,3 g/L, 0,6 g/L, 0,9 g/L, 1,2 g/L, 1,5 g/L, 1,8 g/L y 2,1 g/L) y una de control.

Luego se procedió a desarrollar el proceso de pruebas de jarra, donde se agito fuertemente las muestras preparadas del vaso a 100 rpm por espacio de un minuto, luego se agregó el mucilago de sábila según la concentración

requerida y se agito a 50 rpm por espacio de 15 minutos, se dejó reposar la solución por espacio de 20 minutos y se procedió a medir la turbidez.

Se determinó que la dosis optima de sábila es de 1,8 g/L de sábila, estos resultados obtenidos permitieron concluir, que, bajo las condiciones manejadas durante las pruebas, se logró remover la turbidez en porcentajes significativos, utilizando solo pequeñas dosis del coagulante natural.

Palabras Clave: floculante, coagulante.

ABSTRACT

This thesis has title “DETERMINATION OF THE COAGULATING POWER OF THE ABILITY TO REMOVE TURBIDITY IN THE PROCESS OF WATER TREATMENT FOR HUMAN CONSUMPTION – OXAPAMPA – 2019” has as general objective to determine the coagulating power of the aloe to remove the turbidity in the process of water treatment for human consumption.

The experimental methodology was carried out, which consisted of intentionally controlling and manipulating two variables (Aloe mucilage concentration and initial water turbidity) in the engineering laboratory of the Daniel Alcides Carrión National University, where changes and effects were observed and measured. That occurred in the variable called dependent (percentage of turbidity reduction).

At the same time, data collection from primary sources was carried out, four water samples were prepared with different degrees of turbidity (A: Low = 12.77 NTU, B: Medium low = 19.43 NTU, C: Medium high = 42.3 NTU and D: High = 79.7 NTU), which represents the blocks.

An amount of aloe mucilage was added to the water samples (0.3 g/L, 0.6 g/L, 0.9 g/L, 1.2 g/L, 1.5 g/L, 1.8 g/L and 2.1 g/L) and one of control.

Then, the jar testing process was developed, where the prepared samples of the vessel were agitated strongly at 100 rpm for one minute, then the aloe mucilage was added according to the required concentration and stirred at 50 rpm per room. 15 minutes, the solution was allowed to stand for 20 minutes and the turbidity was measured. It was determined that the optimum dose of aloe vera is 1.8 g/L, these results allowed to conclude that, under the conditions managed during the test, turbidity was removed in significant percentages, using only small doses of the coagulant natural.

Key Words: flocculant, coagulant.

INTRODUCCIÓN

El agua es la sustancia preciada, necesaria para el sostén de la vida, es un recurso único en el mundo y es cada vez más escasa, ya sea por la contaminación o por la mala gestión del mismo debido al aumento poblacional y con ello el aumento de la demanda hídrica; sin embargo para lograr la potabilización de este recurso es necesario someterlo a varios procesos elementales, los cuales pueden comprender desde la sedimentación, clarificación, desinfección, para finalmente lograr el acondicionamiento tanto de manera química como organoléptica.

La coagulación-floculación es una etapa del proceso de tratamiento de aguas para el consumo humano, el cual tiene por objetivo desestabilizar las partículas en suspensión para luego ser aglomeradas, esto con la ayuda de un equipo especializado, formando los flóculos, los cuales puede ser eliminado mediante procedimientos de decantación y filtración con lo que se extraerán los lodos **(SEDAPAL 2006)**.

En el Perú actualmente se usa como coagulante el Sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 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 son no tóxicas para el consumo humano, comprobando su

efectividad como clarificantes que permitan sustituir parcial o totalmente los productos químicos; entre estos podemos encontrar el aloe vera (**Ramírez, Jaramillo 2014**).

El objetivo de esta investigación es determinar el poder coagulante de la sábila para la remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano, utilizando recursos vegetales: como la sábila (*Aloe Vera*).

El Aloe Vera L. se caracteriza por poseer en el interior una sustancia viscosa, también llamado gel o mucílago. Tras algunos estudios realizados se ha determinado que se contiene más de 130 compuestos, entre ellos polisacáridos que contienen distintas cantidades de manosa, glucosa y galactosa. Entre los cuales se pueden apreciar los glucomanos, galactoglucoarabinomanos y otros. Cabe señalar que en los últimos años se ha generado un gran interés por el acemanano (β -(1-4)-manano O-acetilados) por su componente activo, el cual se define como un polisacárido mucilaginoso. (**VILA R. 2001**) Este se considera un interesante compuesto dentro de los tratamientos de agua por su mecanismo de desestabilización de coloides. (**BABORA R. 2014**).

El trabajo presenta los siguientes capítulos:

En el capítulo I se presenta la determinación y formulación del problema, los objetivos generales, específicos, la importancia y alcances de la investigación.

En el capítulo II se presenta la revisión bibliográfica, la cual incluye los antecedentes de la investigación que como se mencionó líneas arriba son el soporte de la presente investigación, bases teóricas referidas al marco teórico, definiciones conceptuales y la formulación de hipótesis.

En el capítulo III muestra la parte experimental, tipo y diseño de investigación, la cual contiene los materiales, equipos y la metodología de la experimentación, que fueron utilizados en toda la investigación.

En el capítulo IV contiene el tratamiento de datos e interpretación de cuadros, en el tratamiento de datos se consideró los resultados obtenidos, así como los análisis de los mismos, en la discusión de resultados se hizo una apreciación y discusión sobre los resultados finales obtenidos.

Al final presentamos las conclusiones y recomendaciones.

ÍNDICE GENERAL

<i>DEDICATORIA</i>	<i>ii</i>
<i>RECONOCIMIENTO</i>	<i>IV</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>v</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>VII</i>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	<i>IX</i>
<i>INDICE</i>	<i>XII</i>
<i>CAPÍTULO I.</i>	<i>1</i>
<i>PROBLEMA DE INVESTIGACION</i>	<i>1</i>
1.1. Identificación y Determinación del Problema.	1
1.2. Formulación del Problema.	4
1.2.1. Problema General	6
1.2.2. Problemas específicos	6
1.3. Formulacion de Objetivos	7
1.3.1. Objetivo General.	7
1.3.2. Objetivos Específicos.	7
1.4. Justificación de la Investigacion	8
1.5. Importancia y Alcances de la Investigación.	9
1.6. Limitaciones.	10
<i>CAPÍTULO II.</i>	<i>11</i>
<i>MARCO TEÓRICO</i>	<i>11</i>
2.1. Antecedentes de estudio	11
2.2. Bases Teórico – Científicos.	18
2.2.1 Localización de la microcuenca de San Alberto	18
2.2.2 Sábila	24
2.2.3 Tratamiento del agua potable	35
2.2.4 Partículas en suspensión	40
2.2.5 Los Coloides	42
2.2.6 Coagulación	43
2.2.7 Floculación	49
2.2.8 Influencia de la Turbiedad	52
2.2.9 Remoción de Turbiedad	53
2.2.10 Ensayo de prueba de Jarra	54
2.2.11 Principales factores que afectan la microcuenca de San Alberto.	56
2.2.12 Base legal	62
2.2.13 Definición de Términos.	69
2.3. Formulacion de Hipótesis	72
2.3.1. Hipótesis general	72
2.3.2. Hipótesis específicas	72

2.4.	Identificación de las Variables	73
2.4.1.	Variables Independientes.	73
2.4.2.	Variables Dependientes.	73
2.4.3.	Variables Intervinientes.	73
<i>CAPÍTULO III.</i>		74
<i>METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACION</i>		74
3.1.	Tipo de Investigación.	74
3.2.	Diseño de la Investigación.	75
3.3.	Población Muestra.	77
3.3.1.	Población.	77
3.3.2.	Muestra.	77
3.5.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.	79
3.5.1.	Instrumentos	81
3.5.2.	Método de Experimentación	83
3.6.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.	87
3.7.	Tratamiento Estadístico de Datos.	87
<i>CAPÍTULO IV.</i>		88
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>		88
4.1.	Tratamiento Estadístico e Interpretación de Cuadros.	88
4.2.	Presentación de Resultados.	90
4.3.	Prueba de Hipótesis.	90
4.4.	Discusión de Resultados.	97
<i>CONCLUSIONES</i>		98
<i>RECOMENDACIONES</i>		99
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>		100
<i>ANEXOS</i>		104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación taxonómica de la sábila (Aloe vera)	
Tabla 2 Tamaño de partículas.....	41
Tabla 3 Categoría 1. Poblacional y Recreacional	68
Tabla 4 Diseño de bloque completamente aleatorizado.....	76
Tabla 5 Ficha de trabajo.....	81
Tabla 6 Pesos de arcilla para diferentes grados de turbidez.	83
Tabla 7 Pesos del mucilago de sábila para diferentes concentraciones.	85
Tabla 8 Resultados obtenidos de turbidez aplicando 8 tratamientos con mucilago de sábila.....	88
Tabla 9 Porcentaje de reducción de turbidez (PRT)	90
Tabla 10 Pruebas de efectos Inter sujetos.	91
Tabla 11 Evaluación de subconjuntos homogéneos entre los tratamientos	94
Tabla 12 Evaluación de subconjuntos homogéneos entre los bloques.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1	Localización de la microcuenca san Alberto.	19
Figura N° 2	Vista Panorámica De La Captación De Agua Del Sector San Alberto	19
Figura N° 3	Gradiente Altitudinal de la Microcuenca De San Alberto.....	20
Figura N° 4	Planta de Sábila.	25
Figura N° 5	Anatomía de la hoja de sábila.....	33
Figura N° 6	procesos para el tratamiento de aguas	37
Figura N° 7	Doble capa de una partícula coloidal.....	43
Figura N° 8	Fenómeno de la coagulación	45
Figura N° 9	Flóculos formados aglomeración.....	50
Figura N° 10	Diagrama de remoción de turbiedad	54
Figura N° 11	Terreno deforestado.....	58
Figura N° 12	Modelo conceptual de los factores	61
Figura N° 13	Captación San Alberto.	77
Figura N° 14	Muestra por Tratamiento	78
Figura N° 15	Muestra de agua cruda	79
Figura N° 16	Equipo digital para medir turbidez del agua	82
Figura N° 17	Equipo digital para medir pH del agua.	82
Figura N° 18	Peso de arcilla en la balanza analítica	83
Figura N° 19	Muestras de agua turbia	84
Figura N° 20	Obtención de muestra de sábila.....	84
Figura N° 21	Preparación de solución.	85
Figura N° 22	Medición de turbidez del agua.	89
Figura N° 23	Zona de rechazo y aceptación.....	91
Figura N° 24	Variabilidad de PRT, según el tratamiento.....	93

CAPÍTULO I.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y Determinación del Problema.

Motivada por la escasez de fuentes hídricas aptas para el consumo humano y a la importancia de este valioso líquido, se han realizado esfuerzos continuos, intentando mejorar la eficiencia de los métodos utilizados, para el tratamiento del agua destinada al consumo humano. Puesto que, aun siendo tan esencial e imprescindible, existen factores socioeconómicos y geográficos que afectan en gran medida su obtención y posterior purificación. Tanto es así que, en la actualidad, un enorme sector de la población mundial consume agua de mala calidad. A veces estos casos se dan por que las comunidades no tienen acceso a los coagulantes sintéticos

necesarios para la potabilización. Enmarcadas en este contexto, han surgido tecnologías alternativas, que por lo general son más económicas y amigables con el medio ambiente, pero con ciertas limitaciones técnicas, que aún no se han superado. **(Jasser Martínez & Luis Gonzales, 2012).**

El agua en su forma molecular pura no existe en la naturaleza, por cuanto contiene sustancias que pueden estar en suspensión o en solución verdadera según el tamaño de disgregación del material que acarrea. Por otra parte, de acuerdo con el tipo de impurezas presentes, el agua puede aparecer como turbia o coloreada, o ambas.

La turbiedad, que no es más que la capacidad de un líquido de diseminar un haz luminoso, puede deberse a partículas de arcilla provenientes de la erosión del suelo, algas o crecimientos bacterianos. El color está constituido por sustancias químicas, la mayoría de las veces provenientes de la degradación de la materia orgánica, tales como hojas y plantas acuáticas con las cuales entra en contacto.

Floculantes como sulfato de aluminio ($\text{Al}_2\text{SO}_4)_3$ son los más utilizados mundialmente y por ende en el país y la región son utilizados por su alta efectividad en el barrido de los floculo, surgiendo el problema de su alto costo en el mercado local siendo estos productos importados de otras zonas del país.

tal es el caso del distrito de Oxapampa que no cuenta con un sistema adecuado de tratamiento de agua para consumo humano en el cual se mitigue la presencia de partículas en suspensión, y se opte por utilizar un coagulante natural, por ello mi preocupación es el de determinar el poder coagulante de la sábila para la remoción de turbidez dentro del proceso de tratamiento de agua para consumo humano.

El 19% de las viviendas particulares de la provincia tiene algún tipo de abastecimiento de agua mediante redes públicas (dentro o fuera de la vivienda). Igualmente, el 77% de las viviendas con agua son urbanas, mientras que el área rural tiene un acceso limitado. El distrito de Oxapampa cuenta con el 94% de las viviendas urbanas disponen de agua. **(Censo XI Nacional de Población y VI Vivienda 2007).**

Por estas razones, se considera pertinente buscar fuentes naturales para la producción de coagulantes amigables con el medio ambiente y más accesibles a las economías emergentes de los países en vías de desarrollo. En resumidas cuentas, las fuentes de obtención ideales no deben afectar la cadena alimenticia y tener una mínima o nula toxicidad. Allí radica la importancia de esta investigación, donde se pretende determinar el poder coagulante de la sábila (Aloe Vera) para la remoción de turbidez, en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano.

1.2. Formulación del Problema.

Como bien sabemos para mantenernos en un estado de salud óptimo y sobre todo para la vida de las personas es necesario consumir agua y especialmente que esta sea potable.

El agua es indudablemente el recurso más esencial para la supervivencia del ser humano y no existe absolutamente pura en la naturaleza. El agua de lluvia, por ejemplo, al estar en contacto con el aire absorbe oxígeno, nitrógeno, gotas de aceite, partículas de humo, etc.;

posteriormente, al entrar en contacto con el suelo, el agua superficial disuelve o dispersa otras sustancias, especialmente durante las estaciones de lluvia donde la calidad del agua de río no es estable **(Sáenz y colab., 2004; Zhang y colab., 2005; Díaz y colab., 1999).**

Las sustancias presentes en el agua se pueden clasificar en tres categorías, según el tamaño de éstas: a) Sólidos suspendidos, como arena, arcillas, bacterias, plancton, algas, virus, etc.; b) partículas coloidales (entre 10^{-6} m y 10^{-9} m) y c) sustancias disueltas (menor a 10^{-9} m) como cationes, aniones, ácidos, alcoholes, aldehídos, oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, etc. **(Van Bremen, 2001; Degremont, 1991).**

La efectividad de los procesos de tratamiento de aguas superficiales

es generalmente evaluada en términos de remoción de turbiedad; pues la turbidez tiene una gran importancia sanitaria, ya que refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación **(Espigares y Fernández,1999)**.

Los problemas referentes a tratamientos actuales para la obtención de agua potable traen consigo problemas que pueden dificultar la inocuidad del recurso hídrico; esto puede deberse tanto a la falta de capacitación técnica a personal encargado de este proceso como también a la falta de éste, por lo que se imposibilita la correcta dosificación y manejo de coagulantes químicos, como también a la falta de recursos económicos que puedan cubrir el coste de dicho tratamiento **(UNICEF, 2014)**.

Teniendo en cuenta la población más vulnerable, sobre todo en zonas rurales donde los recursos económicos escasean y el acceso a este recurso se complica debido a la geografía, el uso de agentes químicos para el tratamiento de aguas se dificulta al aplicar un tratamiento continuo puesto que es de alto costo; además del riesgo que el uso de estos agentes químicos trae consigo como el cambio en el pH, así como también existen problemas ambientales como las precipitaciones ácidas y el material particulado afectan a la seguridad hídrica **(Ramírez, Jaramillo 2015)**.

Por otra parte, se tiene el problema de la seguridad sanitaria del agua, puesto que el uso doméstico de aguas no aptas para el consumo humano pueden causar daños graves a la salud, enfermedades como el cólera, enfermedades gastrointestinales, problemas de parasitosis graves y riesgo de mortalidad, impactando negativamente a la población consumidora, ya que los coloides causantes de la turbidez del agua pueden contener agentes biológicos y micro algas que podrían afectar a la salud de las personas consumidoras de aguas sin previo tratamiento (**OMS., 2012**).

1.2.1. Problema general

¿De qué manera determinamos el poder coagulante de la sábila para la remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Qué efecto tendrá el mucílago de la sábila como floculante natural para la eliminación de las partículas suspendidas en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano?
- ¿Cuáles son los factores que indican la presencia de partículas suspendidas en la captación de agua para el consumo humano?

- ¿Cuál será la dosificación óptima del floculante natural (mucílago de sábila) para la eliminación de las partículas suspendidas en el proceso de tratamiento de aguas para consumo humano?

1.3. Formulación de Objetivos

1.3.1. Objetivo General.

Determinar el poder coagulante de la sábila para remover la turbidez en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Determinar el efecto que tendrá el mucílago de la sábila como floculante natural para eliminar las partículas suspendidas en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano.
- Determinar los factores que indican la presencia de partículas suspendidas en la captación de agua para procesar el tratamiento de agua en el consumo humano.
- Determinar la dosificación óptima del floculante natural (mucílago de sábila) para eliminar las partículas suspendidas en el proceso de tratamiento de aguas para el consumo humano.

1.4. Justificación de la Investigación.

La problemática de la captación de agua para consumo del sector San Alberto es la presencia de partículas suspendidas. Es por ello que se realizará esta investigación para determinar el poder coagulante de sábila para la remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano.

La captación del riachuelo San Alberto ubicada en el distrito de Oxapampa, provincia de Oxapampa, del cual se capta 63 l/s, se encuentra en una situación actual que cuenta solo con procesos simples aplicados a este sistema, en los que cabe mencionar son: captación, cámara de distribución, desarenador, sedimentador, líneas de aducción, líneas de conducción, reservorio, cloración todos los días por goteo y por ultimo distribución, en época de lluvia se reduce las veces de cloración , dado que cuando llueve su turbiedad se eleva a niveles difíciles de tratamiento, siendo así en algunos casos cerrado el abastecimiento de este punto de captación perjudicando de esta forma el servicio de uso de agua a la población y, por otro lado, las aguas de escorrentía superficial por la cuenca, arrastra residuos de una serie de elementos químicos que se utilizan en forma indiscriminada para el cultivo de algunos productos agrícolas.

Dada la necesidad de contar con un sistema de tratamiento de potabilización de agua de calidad, accesible y de bajo costo para el

distrito de Oxapampa nace la iniciativa de proponer un método alternativo.

Aspecto Tecnológico. - Este trabajo a realizar permitirá desarrollar un proceso tecnológico adecuado para la obtención de un nuevo tipo de clarificante y nos accederá aplicar y aportar los conocimientos necesarios e innovadores en el área de la biotecnología.

Aspecto Social. - La obtención del mucílago de la sábila, creará mayores fuentes de trabajo e incentivará la formación de industrias locales y regionales.

Aspecto Económico. - Promover y alentar el cultivo de sábila en el distrito, lo cual aumentará los ingresos económicos a los agricultores.

1.5. Importancia y Alcances de la Investigación.

Este proceso es importante para la población ya que se reducirá el uso de sustancias químicas como es el sulfato de aluminio $(Al_2SO_4)_3$. Como se puede deducir de los objetivos planteados, el desarrollo de este trabajo consistió en determinar el poder coagulante, usando la sábila como materia prima, luego identificarlo y por último comprobar su efectividad para la remoción de turbidez en una muestra de agua cruda tomada de la captación de la quebrada del sector de San Alberto.

Se espera que la información recopilada sirva como base para investigaciones futuras, que permitan establecer si es viable utilizar este producto a escala industrial, en los procesos de potabilización.

1.6. Limitaciones de la investigación.

Tiempo de producción del coagulante ya que esta se tiene que iniciar con la plantación de las sábilas.

Asimismo, la falta bibliográfica hace que sea una limitante para la investigación.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de estudio.

- **(Metcalf & Eddy, 1996).** Ingeniería de aguas residuales. México. Editorial McGraw-Hill. Tomo I. Expresa que los residuos líquidos producto de la perforación están constituidos por lodos, grasas, aceites y eventualmente aguas lluvias. Estos residuos hasta la presente, han sido tratados con Sulfatos de Aluminio y polímeros industriales como coagulantes - floculantes. Con el propósito de reemplazarlos por productos naturales se realizaron ensayos de Laboratorio que permitieron compara el comportamiento y rendimiento de estos frente a los productos tradicionales. El presente estudio tiene como objetivo optimizar el tratamiento de las aguas industriales provenientes del proceso de perforación

con el fin de disminuir el número y el dimensionamiento de las piscinas de lodos convencionales, utilizando productos naturales y algunos polímeros suministrados por firmas encargadas de comercializarlos o aplicarlos directamente en campo. Para evaluar la eficiencia del tratamiento se realizaron ensayos de laboratorio, mediante pruebas de jarra. En este análisis se apreciaron las características del Zumo de Fique como coagulante - floculante, así como las propiedades clarificantes del cristal de sábila en tratamientos con Sulfato de Aluminio. Se probaron otros productos tales como Harinas de Nuez y Haba, Zumos de Papaya y Durazno y Almidones de Papa y Yuca sin obtener ningún resultado satisfactorio.

- **(Andía, 2000).** Investigó que el sulfato de aluminio es el coagulante más utilizado por dar mejores resultados. Usando agua de la presa de Batán, ubicada en la ciudad de Querétaro, México. Esta investigación tuvo como objetivo, reducir el sulfato de aluminio combinado con floculantes naturales como el nopal (cladodio de opuncia) para el tratamiento acorde con las normas mexicanas y reducción de su costo. Se determinó, temperatura, turbiedad y pH. Posteriormente se realizaron pruebas de jarras variándose la concentración de sulfato de aluminio y cladodio de nopal. Seguidamente, se analizó nuevamente turbiedad y pH. De los resultados obtenidos se destaca que la combinación de sulfato de aluminio y de nopal disminuye la turbiedad de 40.6 a

4.86 UNT (Unidades nefelométricas de turbiedad), los que cumple con las normas oficiales mexicanas: NOM_201-SSA1-2002 y NOM-127-SSA1-1994.

- **(Cardoso, 2003).** Describe una nueva aplicación de los polímeros derivados del quitosano parcialmente hidrolizado (> al 75%) como floculantes para tratamiento de aguas residuales contaminadas con hidrocarburos y más específicamente, con aguas residuales de los negocios de lavado de autos en Brasil. La floculación es útil en el proceso de clarificación de aguas potables y de origen industrial. Las ventajas de estos polímeros naturales como floculantes son: menor formación de lodos, no se requiere un ajuste drástico del pH, forman agregados más grandes y compactos, se forman más rápidamente, la concentración de sales permanece baja y, finalmente, por ser polímeros naturales, son biodegradables y no afectan a los ecosistemas. Las aguas generadas en los autolavados son de difícil tratamiento, ya que contienen grasas (tanto emulsionadas como libres), detergentes, ceras, tierra, metales disueltos, entre otros.

- **(Almendárez Nabyarina, 2003).** Comprobación de la efectividad del polímero natural. Nicaragua. Planteo que al inicio de la década de los 70 de este siglo, en varios países latinoamericanos se adoptó la tecnología de tratamiento de agua

potable para países en vías de desarrollo. Se propuso la utilización de coagulantes naturales de cada región que pudieran en parte o en su totalidad, disminuir el consumo de los reactivos químicos importados. Sin embargo, la toxicidad de los polielectrolitos sintéticos debe investigarse y someterse a un exigente control de calidad, pues a veces los monómeros utilizados en la producción de polímeros son tóxicos. En cambio, la toxicidad de los polímeros naturales es por lo general mínima o nula; pues se les usa en muchos casos como comestibles. De lo anterior se desprende la importancia del desarrollo de esta línea de investigación, obteniéndose resultados satisfactorios en esta primera etapa.

- **(Robles, 2006).** Determino que la contaminación y la escasez de agua son problemas de gran importancia en el ámbito mundial. La ciudad de Querétaro, México, no es la excepción. En el tratamiento de aguas existe el proceso fisicoquímico que involucra coagulantes y floculantes para eliminar partículas en suspensión.

- **(Andía Cárdenas Yolanda, 2000).** Tratamiento de agua, coagulación y floculación. Lima, Perú. SEDAPAL. Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico. Determino que la contaminación y la escasez de agua son problemas de gran importancia en el ámbito mundial. En el tratamiento de aguas

existe el proceso fisicoquímico que involucra coagulantes y floculantes para eliminar partículas en suspensión. El sulfato de aluminio es el coagulante más utilizado por dar mejores resultados.

- **(Málaga, 2007)**. Estudio de la penca de tuna (*opuntia picus*), como floculante natural para el tratamiento de aguas. Puno – Perú determino que podía usar la penca de tuna como floculante natural.
- **(Martínez Y González, 2012)**. Evaluó del poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas, en un experimento realizado en test de jarras utilizando concentraciones de 50 mg/l a una agitación de 40 rpm, el coagulante natural alcanzo una eficiencia satisfactoria (85,4%), además logro remover un gran porcentaje de turbidez (85,5%) y de color (57,14%) presente en el agua cruda.
- **(Guo,2008)**. En su estudio sobre la Floculación Macromolecular natural del Aloe ha demostrado que el gel de aloe tiene aplicabilidad en un amplio rango de pH, la proporción de eliminación de la turbidez llega hasta el 92% cuando el pH de la muestra de agua es de entre 3 y 11, y que el efecto de floculación del aloe en muestras de alta turbidez es mejor que en muestras de menor turbidez.

➤ **(Tech, 2017).** En un estudio realizado sobre coagulación – floculación utilizando gel de Aloe vera en muestras de agua de alta y baja turbiedad mediante el método de pruebas de jarras, a una velocidad de agitación rápida (300-200 rpm) por 2 minutos y una velocidad de agitación lenta (30-40 rpm) por 15 minutos. Encontró que la mezcla de alumbre (10 ml/l) y Aloe vera (40 ml/l) es muy efectivo en la remoción de solidos suspendidos, para agua de alta turbiedad (75-81%) y en aguas de baja turbiedad (60-65%), siendo una alternativa para tratar aguas turbias.

➤ **(Revista Colomb. Biotecnol., Volumen 15, Número 1, p. 137-144, 2013).**

Actualmente municipios de la Costa Atlántica Colombiana no cuentan con suministro de agua potable. La aplicación artesanal de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante es una práctica tradicional en comunidades rurales. En esta investigación se realiza la caracterización del tallo de la Tuna que crece de manera silvestre en el departamento de Bolívar, y del polvo extraído de esta planta, con el fin de identificar componentes asociados a su poder coagulante para la remoción de turbidez y de color en aguas crudas. Las pencas de la planta se sometieron a operaciones de corte, pelado, secado, molienda, tamizado y despigmentado para obtener el coagulante. El rendimiento del proceso global fue de 65g de

coagulante/Kg de material vegetal. Los resultados indicaron que la penca contiene alto porcentaje de humedad y pequeñas proporciones de saponinas, flavonoides, sales minerales de calcio y hierro; lo cual permitió concluir que estos metabolitos y sales no son los responsables de su poder coagulante debido a las cantidades poco significativas en las que se encuentran. Se consideró que otras especies química tales como el ácido poligalacturónico y compuestos algínicos son realmente los que le confieran la cualidad al biomaterial. También, se evaluó el poder coagulante del material extraído, se analizó el efecto de tres dosis sobre el color, la turbidez y el pH del agua tratada. Los resultados indicaron que tiene la capacidad de remover 50% del color y 70% de turbidez de aguas crudas con alta turbidez inicial, y que no altera significativamente su pH.

- **(Artículo Científico: Paredes, D.J.; Buenaño Allauca, M.P.; Mancera-Rodríguez, N.J.: Plantas medicinales, Los Ríos Ecuador).**

Se investigó el uso de plantas medicinales en la Comunidad San Jacinto, provincia de Los Ríos (Ecuador). Se estableció qué partes de las plantas son usadas, el tipo de administración, la preparación, las categorías de uso medicinal tradicional y el conocimiento por sexo y por rangos de edad. Se determinó el valor de uso (IVU), el conocimiento relativo (RVU) y el nivel de

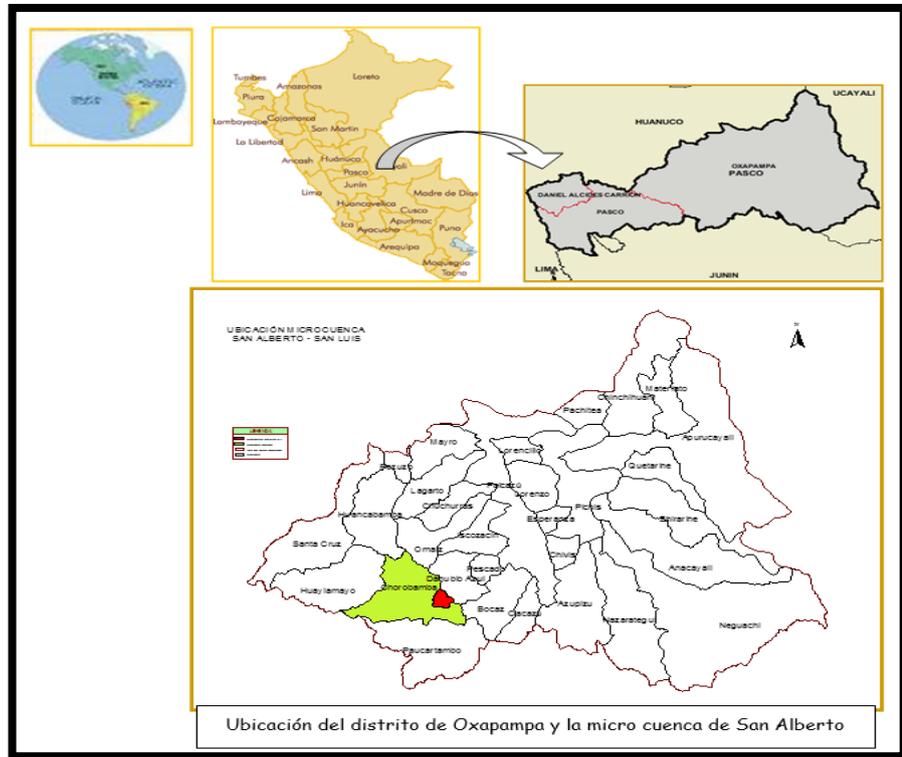
uso significativo Tramil (UST). Se registran 33 plantas que tuvieron uso medicinal; las hojas fueron las estructuras más utilizadas (87,9%); la forma de preparación principal fue la infusión (66,7%) y la vía de administración más empleada fue la bebida (87,9%). La categoría de uso medicinal mejor representada está relacionada con el sistema gastrointestinal (36,4%). No se encontró diferencias significativas en el conocimiento de las especies de acuerdo al sexo y al rango de edad de los informantes. Las plantas medicinales más importantes para la población local fueron: la sábila (*Aloe vera*), la hoja del aire (*Kalanchoe pinnata*), la ruda de gallinazo (*Ruta graveolens*), el toronjil (*Melissa officinalis*), la valeriana (*Valeriana officinalis*), la hierba luisa (*Cymbopogon citratus*) y el orégano (*Origanum vulgare*).

1.7. Bases Teóricas – Científicas.

2.2.1 Localización de la microcuenca de San Alberto

La microcuenca San Alberto, está ubicado en el distrito de Oxapampa, provincia del mismo nombre en la región Pasco – Perú. La ciudad de Oxapampa y la microcuenca en mención, se ubican al pie de las montañas del Yanachaga, declarada en 1986 Parque Nacional Yanachaga Chemillén por el estado peruano.

figura N° 1 Localización de la microcuenca san Alberto.



Fuente: elaboración propia.

Figura N° 2 Vista Panorámica De La Captación De Agua Del Sector San Alberto

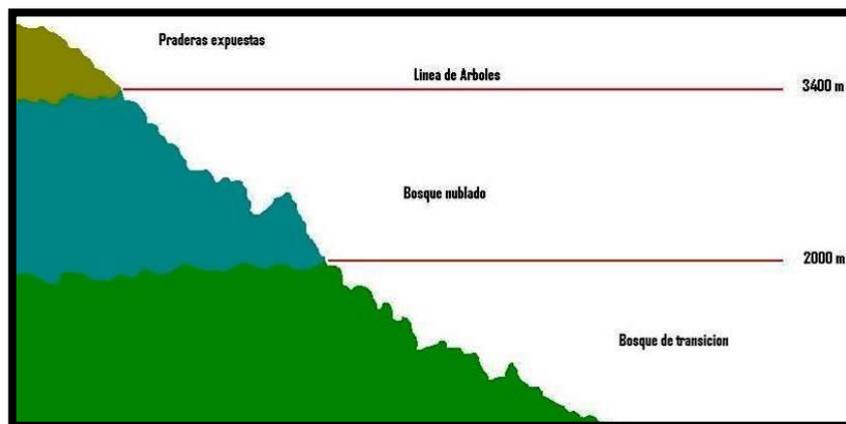


La microcuenca tiene una extensión de aproximadamente 3500 hectáreas y se extiende sobre la cordillera del Yanachaga. En general, su relieve es muy accidentado, predominando las laderas rocosas cubiertas por bosques (bosques de transición y bosques nublados). Su variación altitudinal es notable y va desde 1800 hasta más de 3500 metros sobre el nivel del mar.

Las rocas de la cordillera de Yanachaga son de origen sedimentario e ígneo, y en el flanco occidental existen yacimientos de plata, zinc, cobre y uranio. Los suelos de la cordillera de Yanachaga caen, en su mayoría, dentro de la categoría de suelos marginales o de protección (suelos tipo X), de acuerdo a los estudios que años atrás hiciera la Oficina Nacional de Recursos Naturales (ONERN). Debido a la triple conjunción de suelos débiles, pendientes fuertes e intensas lluvias, la alteración de la cobertura vegetal natural en la cordillera de Yanachaga conlleva un alto riesgo de distorsión en el ciclo hidrológico

Figura N° 3 Gradiente Altitudinal de la Microcuenca De San Alberto.

(Plan Maestro PNYCh, 2005).



Fuente: jardín botánico de Missouri – Perú

2.2.1.2 Infraestructura alrededor del sitio

La microcuenca de San Alberto cuenta con más de 8 km de caminos vecinas que fueron construidos como vías de acceso para la extracción de recursos forestales maderables. Este camino vecinal ganó mayor importancia debido a que es la ruta de acceso más cercano al Parque Nacional Yanachaga Chemillén desde la zona urbana de Oxapampa (Verde, M. 2008). En la actualidad sólo 5 km aproximadamente han sido rehabilitadas por el Instituto Vial Provincial de Oxapampa, el resto de vías se encuentran deterioradas.

No cuenta con infraestructura educativa, la población en edad escolar incluso estudiantes universitarios se trasladan a la ciudad de Oxapampa, donde funcionan instituciones educativas en todos los niveles, además del universitario.

En la misma microcuenca, la empresa privada Müller ha instalado un reservorio de agua para abastecer a dos mini plantas generadoras de energía eléctrica. **(Verde, M 2008).**

2.2.1.3 Características socio económicas del sitio

a. Historia del sitio / parque

El proceso de poblamiento de la microcuenca San Alberto – Llamaquizú se inicia aproximadamente en el año 1945. Las vías de acceso actuales, fueron trochas carrozables utilizadas para la extracción de madera, que en esas épocas constituía la actividad más importante de la provincia de Oxapampa como otrora capital maderera. Los asentamientos humanos se fueron estableciendo en los terrenos deforestados, como parte de pago por los servicios prestados por personas que migraban a la zona en busca de trabajo y que fueron empleados en las zonas extractivas de los concesionarios dueños de grandes aserraderos **(Verde, M. 2008).**

San Alberto, es la microcuenca que más ha contribuido en el desarrollo del distrito de Oxapampa, históricamente fue reconocida por albergar recursos maderables de alto valor económico, por dotar de energía eléctrica y agua para consumo de la población asentada en la zona urbana

del distrito de Oxapampa. En la actualidad, si bien los recursos forestales maderables de las zonas de extracción se han agotado, la presencia del Parque Nacional Yanachaga Chemillén, garantiza la existencia de recursos forestales en las partes altas y por ende el flujo permanente del recurso agua, el cual se torna cada vez más vulnerable a la contaminación a partir de las áreas con asentamientos humanos, donde realizan actividades productivas agropecuarias con tecnologías tradicionales no compatibles con la conservación de los recursos naturales.

b. Propiedad y uso de la tierra

En la microcuenca se estima que hay 87 productores agrarios con título de propiedad, que se dedican al cultivo de rocoto, zapallo, granadilla, palta, entre otros; en total hay una población de 127 habitantes que residen en forma permanente, pero existen más de 50 parcelas sin títulos de propiedad. Lo que nos permite especular que hay una población flotante en la microcuenca, es decir que hay productores agrarios que viven en la zona urbana de Oxapampa y se trasladan a la microcuenca todos los días para trabajar en sus parcelas **(Verde, M. 2008)**.

2.2.2 Sábila

La sábila ha sido conservada y atesorada desde tiempo de Aristóteles, una planta con propiedades curativas asombrosas. Al parecer Cristóbal Colón fue el primero en introducir la sábila al nuevo mundo cuatro plantas son imprescindibles para el bienestar del hombre: el trigo, la uva, la aceituna y la sábila (Aloe vera) el primero lo alimenta, el segundo realza su espíritu, el tercero le trae armonía y el cuarto lo cura que vendría a confirmar el Mahatma Gandhi al salir de su ayuno más largo. **(Udlap,2014, p.3).**

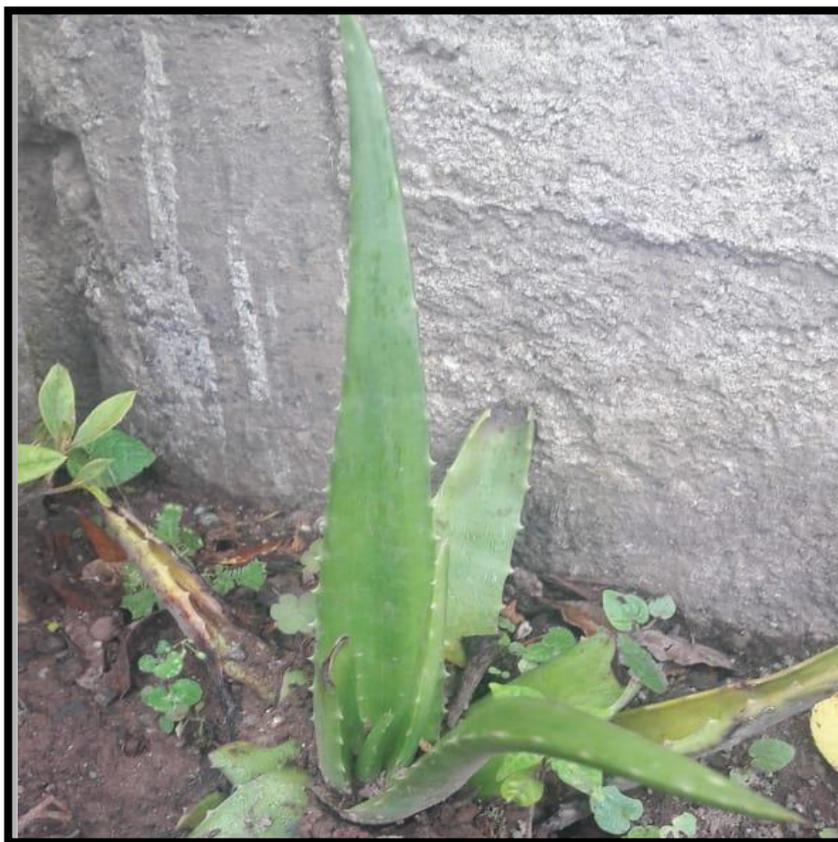
2.2.2.1 Morfología

Aloe vera mejor conocida por los latinos por “sábila”, es una planta de color verde grisáceo, herbácea, robusta, perenne, de aspecto arrosetado y tiene una serie de espinas en los extremos de cada una de sus hojas, además de un color verde grisáceo. Alcanza una altura de 61 cm cuando llega a un punto de madurez; el cual varia de 3 a 5 años, con un peso de 3 Kg cada planta y una inflorescencia que mide 80 cm aproximadamente. **(Sánchez, 1979; Taylor, S.F.).**

La Aloe vera es una planta que pertenece a la familia de las Liliáceas, a la que pertenece la cebolla y el esparrago, existen más de 200 variedades de Aloe Vera siendo la

más comercial la variedad Barbadensis, caracterizadas todas ellas por sus hojas carnosas de contenido succulento y dispuestas en forma de espiral o roseta como se muestra en la figura 4. (Bruce, 2014, p.1).

Figura N° 4 Planta de Sábila.



Fuente: elaboración propia.

El Aloe Vera L. se caracteriza por poseer en el interior una sustancia viscosa, también llamado gel o mucílago. Tras algunos estudios realizados se ha determinado que se contiene más de 130 compuestos, entre ellos polisacáridos que contienen distintas cantidades de

manosa, glucosa y galactosa. Entre los cuales se pueden apreciar los glucomanos, galactoglucoarabinomanos y otros. Cabe señalar que en los últimos años se ha generado un gran interés por el acemanano (β -(1-4)-manano O-acetilados) por su componente activo, el cual se define como un polisacárido mucilaginoso. **(VILA R. 2001)**. Este se considera un interesante compuesto dentro de los tratamientos de agua por su mecanismo de desestabilización de coloides. **(BABORA R. 2014)**.

2.2.2.2 Principales características de la sábila

- El género Aloe, que Reynolds fue el primero en describir, aceptaba la existencia de 314 especies, actualmente se sabe de 360. La mayor parte del género son dañinas, sin embargo, hay 4 especies que cuentan con propiedades medicinales; A. barbadensis Miller, A. peri Baker, A. Feroz y A. arborecens.
- Aunque se ha generado un interés más particular en la especie Barbadensis Miller, al ser la más conocida de mejor efecto medicinal y más potente, que recibe otros nombres como, A. vulgaris, A. indica, A. lanzare y A. vera.

Nativa de Sudáfrica el Aloe Vera es una especie arbustiva, perene de condiciones xerofita, que presenta

una morfología con hojas delgadas suculentas en disposición espiral. Las plantas maduras de 4-12 años presentan hojas de color verde grisáceo de 60 a 90 cm de largo y de 5-10 cm de ancho, observándose una curvatura cóncava en su base. **(Udlap, 2014, p. 3)**

➤ El mesófilo presenta una cutícula muy delgada, que se diferencia en células del clorenquima y células parenquimatosas de la pared, que se presentan como un gel claro, llamado mucilago. Los conductos vasculares portan un exudado de látex amarillo (savia) con propiedades laxantes debido al contenido de antraquinonas presentes entre las dos capas celulares. **(Udlap, 2014, p. 4).**

➤ El Aloe Vera Barbadosensis es una planta de raíces bulbosas y fruto capsular, no existiendo tallo. Existen más de 17 variedades que han sido llevadas para su cultivo a diversas zonas tropicales y subtropicales del planeta, en busca de la explotación comercial del látex contenido en sus hojas, cuyas propiedades como antiinflamatorio y como catártico se conocen desde la antigüedad. **(Aloevare, 2014, p.1).**

➤ Todavía es controvertida la identidad de las sustancias activas en la sábila y los mecanismos que le confieren

sus propiedades, como lo son: el saneamiento de quemaduras (atribuido al alto contenido en agua), que sumado a la presencia de emolientes es aprovechado en la elaboración de cosméticos. **(Udlap, 2014, p. 4)**

- Los efectos antiinflamatorios y cicatrizantes como actividades farmacológicas y fisiológicas de los polisacáridos, hacen suponer que la pulpa encierra el secreto de sus propiedades, la acción analgésica debida a la elevada concentración de iones de Mg. **(Udlap, 2014, p. 4).**
- Las plantas de esta especie son herbáceas de tallo corto, viváceas, perennes, con aspecto rosetado (rosetas basales), de color verde grisáceo que presenta manchas rojizas por la exposición prolongada al sol. En su etapa adulta llega a medir 65 – 80 cm de altura. Esta planta presenta características tales como la succulencia y su metabolismo ácido crasuláceo que indican una importante adaptación a zonas caracterizadas por la escasez de agua. Las plantas en estado silvestre o naturalizado generalmente forman densas colonias, siendo la planta central la planta madre. Cada planta produce en promedio 20 rosetas laterales (hijuelos) en donde difícilmente alcanzan los 40 cm de altura.

- **RAIZ:** es medianamente superficial, con estructura escamosa.
- **HOJAS:** son lineales (largas y angostas), acuminadas (terminada en punta), los márgenes son espinosos – dentados; de textura coriácea (similar al cuero, resistente pero flexible); succulenta (jugosa, carnosa); de 30-60 cm de longitud, se encuentra usualmente apiñadas en una roseta densa; de color intenso en tonos variables de verde.
- **INFLORESCENCIA:** de 1-1,3 m de alto, simple o escasamente ramificado (una o dos ramificaciones laterales).
- **FRUTO:** es una capsula loculidial o septicidal, con paredes inconsistentes y se conforma de tres válvulas localizadas, oblongas y triangulares. (Inecc, 2014,p.1).
- **FLORES:** amarillas, acampanadas, colgantes, de hasta 2,5 cm de longitud en espigas terminales sobre tallos cilíndricos, leñosos sin hojas. (Botanical, 2014 p.1).

2.2.2.3 Clasificación Taxonómica

Tabla 1 Clasificación taxonómica de la sábila (Aloe vera)

Reino	Vegetal
División	Embriophyta – siphonogama
Subdivisión	Angiosperma
Clase	Monocotiledoneae
Orden	Liliales
Familia	Liliaceae
Subfamilia	Asfondoideae
Tribu	Aloinaeae
Género	<i>Aloe</i>
Especie	<i>Vera</i>
Sinónimo	<i>Barbadensis</i>

Fuente: (Inecc, 2014, p.1)

2.2.2.4 Estructura y composición química

La estructura de las hojas está formada por el exocarpio o corteza, la cual está cubierta de una cutícula delgada. La corteza representa aproximadamente del 20 al 30% del peso de toda la planta y dicha estructura es de color verde o verde azulado, dependiendo de diversos factores tales como: el lugar, clima o nutrición de la planta.

El parénquima, conocido comúnmente como pulpa o gel se localiza en la parte central de la hoja y representa del 65 al 80 % del peso total de la planta.

Como se mencionó anteriormente, entre la corteza y la pulpa, ocupando toda la superficie interna de la hoja, se encuentran los conductos de aloína que son una serie de canales longitudinales de pocos milímetros de diámetro por donde circula la savia de la planta, conocida como acíbar. El acíbar se puede obtener dejando fluir el líquido de los conductos de aloína; dicha sustancia tiene usos farmacéuticos como laxante. Esta sustancia presenta un alto contenido de aloína (>28% en base húmeda), la cual es una antraquinona derivada del aloe-emodina y la glucosa.

Por otra parte, con respecto a la composición química se ha reportado que la planta de Aloe vera está constituida por una mezcla compleja de compuestos como se muestra a continuación y que más de 20 de estas sustancias poseen actividades benéficas para la salud.

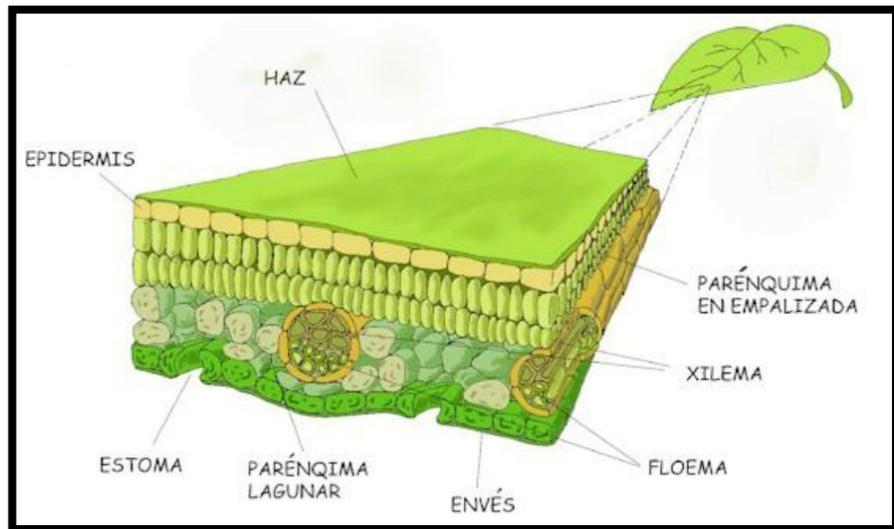
- Antraquinonas (ácido aloético, antranol, ácido cinámico, barbaloína, ácido crisofánico, emodina, aloe-emodin, éster de ácido cinámico, aloína)
- Vitaminas (ácido fólico, vitamina B1, colina, vitamina B2, vitamina C, betacaroteno)

- Minerales (calcio, magnesio, potasio, zinc, sodio, cobre, hierro, manganeso)
- Carbohidratos (celulosa, galactosa, glucosa, xilosa, manosa, arabinosa, glucomanosa)
- Enzimas (amilasa, ciclooxidasas, carboxipeptidasas, lipasa, catalasa, oxidasas)
- Lípidos y compuestos orgánicos (esteroides, ácidos salicílicos, sorbato de potasio, triglicéridos)
- Aminoácidos (alanina, ácido aspártico, arginina, ácido glutámico, glicina, histidina, lisina, metionina)

Químicamente el Aloe Vera se caracteriza por la presencia de constituyentes fenólicos que son generalmente clasificados en dos principales grupos: las cromonas, como la aloensina y las antraquinonas (libres y glicosiladas) como la barbaloína, isobarbaloína y la aloemodina; estos compuestos se encuentran en la capa interna de las células epidermales. La aloína es el principal componente del acíbar, que la planta secreta como defensa para alejar a posibles depredadores por su olor y sabor desagradable. También interviene en el proceso de control de la transpiración en condiciones de elevada insolación. La aloína es un glicósido antraquinónico que le confiere propiedades laxantes al acíbar y se utiliza en

preparados farmacéuticos produciendo en ocasiones alergias a personas sensibles. (Domínguez, 2012, p.1)

Figura N° 5 Anatomía de la hoja de sábila.



Fuente: Ministerio de Educación, cultura y deporte.

2.2.2.5 Condiciones climáticas

- La sábila presenta un amplio rango de adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales; el consejo Internacional del Aloe señala que se desarrolla generalmente, en áreas 15° hacia al norte y hacia el sur del ecuador, obstante puede ser encontrada en un espectro climático bastante amplio. Los climas en que se desarrollan van de tropicales y subtropicales a desérticos.
- Se establecen preferentemente en área con temperaturas medias anuales de 18 a 25 °C con una

precipitación media anual de 400 a 800 mm, encontrándose en sitios hasta de 200 mm al año, donde su desarrollo es más lento.

- Aunque esta planta puede encontrarse en bosques ecuatoriales, climas templados y montañas, se adapta bien a zonas de pronunciada sequía, a la intensidad de los rayos solares y concentración de las sales, condiciones que caracterizan a grandes superficies localizadas en las zonas áridas y semiáridas. **(Inecc, 2014, p.1).**

2.2.2.6 Condiciones edáficas

Se desarrolla en suelos de rocas de origen sedimentarios, principalmente en calizas y conglomerados; puede crecer en suelos someros, pedregosos y pocos profundos, escasos en materia orgánica, bien drenados, con pH que va de alcalino a neutro o ligeramente ácido y diferentes clases texturales.

Aunque puede establecer y sobrevivir en suelos pobres, los suelos ideales para sábila en cultivos son profundos, con buen drenaje, de textura media, preferentemente franco arenoso y pH ligeramente alcalino. **(Inecc, 2014, p.1)**

2.2.2.7 Mucílago

Es parecida a una goma que en contacto con el agua forma una sustancia viscosa que tiene gran facilidad para atrapar. Los mucilagos están compuestos de polisacáridos que suelen contener glucosa y galactosa.

(BABORA R. 2014)

Propiedades del gel o mucilago de la sábila

- Inhibidora del dolor
- Antiinflamatorio
- Coagulante
- Querolítico
- Antibiótico
- Regenerador celular.
- Energético y nutritivo
- Digestivo
- Desintoxicante
- Rehidratante y cicatrizante
- Detergente natural (contiene saponinas)

2.2.3 Tratamiento del agua potable

Para garantizar la potabilización del agua se hacen necesario eliminar todas las impurezas presentes en ella, para lograr este objetivo es preciso combinar varios tratamientos elementales, cuyas bases pueden ser físicas, químicas o

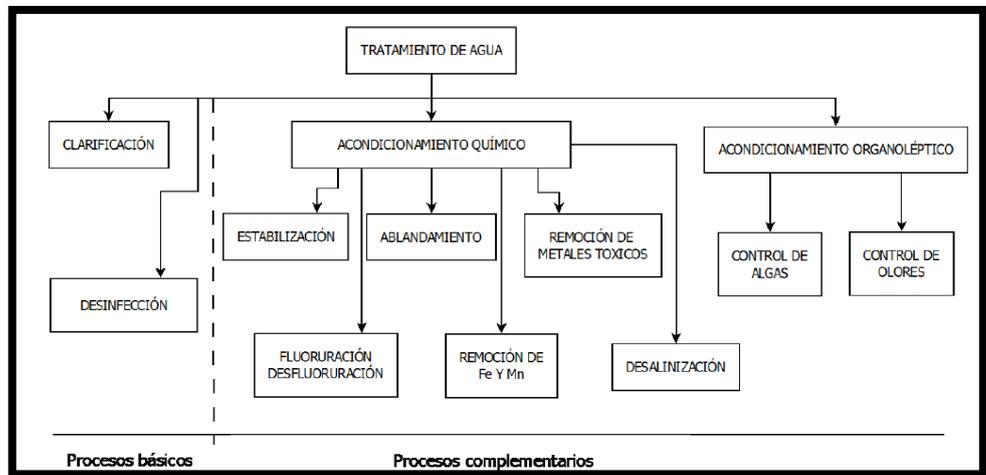
biológicas. A través de estos procesos se remueven las partículas suspendidas, coloidales y disueltas, en el agua cruda.

El agua potable, es aquella, que es apta para el consumo humano y debe reunir las siguientes características:

- Ser limpia, incolora e inodora.
- Contener oxígeno disuelto.
- Debe contener cierta proporción de sales minerales disueltas.
- No contener materias orgánicas en descomposición.
- No debe contener microbios patógenos.
- Debe ser capaz de disolver bien el jabón y los detergentes.

El proceso de potabilización, empieza con la captación del agua cruda, luego el agua es transportada hasta la planta de tratamiento, donde es retenida en albercas donde se realiza el proceso de desarenación, a partir de ese momento el agua se somete a una serie de procesos físicos y químicos, divididos en primarios y complementarios (Figura 6), estas etapas se explican mejor a continuación:

Figura N° 6 procesos para el tratamiento de aguas



Fuente: (Tchnobanoglous. 2000)

- **Captación:** en aguas superficiales, esta operación se lleva a cabo mediante bocatomas ubicadas en ríos o diques. El hecho de que, este tipo de agua, se encuentra más expuesta a sustancias y microorganismos contaminantes, implica que, deba ser sometida a un tratamiento de mayor complejidad. La turbiedad, el contenido mineral y el grado de contaminación varían según la época del año.

Otra alternativa, es a partir de aguas subterráneas, esta se efectúa por medio de pozos de bombeo o perforaciones, y requiere de un tratamiento menos complejo pero su captación es más costosa.

- **Conducción:** luego de ser tomada de la fuente de captación, debe ser transportada a través de tubos o por medio de canales abiertos, hasta la planta de tratamiento.
- **Desarenación:** esta etapa se realiza en espacios acondicionados para retener la arena, estos sólidos pesados caen al fondo. Estos equipos pueden estar dotados con placas, que permiten remover una mayor cantidad de partículas. El agua tratada pasa a la siguiente etapa por rebose.
- **Clarificación:** En esta etapa al agua se le retiran la turbidez y color, pero todavía conserva agentes patógenos, el proceso consta de las siguientes 4 fases:
- **Dosificación del coagulante:** en este punto se le agrega un agente coagulante para desestabilizar las partículas coloidales presentes en el agua.
- **Floculación:** estos equipos, pueden ser mecánicos o hidráulicos, y se utilizan para lograr una mezcla homogénea entre el producto coagulante y el agua cruda. Gracias a su movimiento constante hacen posible que las partículas presentes en el agua se aglutinan, formando los llamados floc.

Los floculadores mecánicos son aspas de grandes dimensiones, los cuales por lo general operan a bajas velocidades de mezclado. En cuanto a los hidráulicos, estos son canales en forma serpentina, donde se produce una turbulencia que genera la agitación, y por ende la aglomeración de los coloides.

➤ **Sedimentación:** se realiza en decantadores o albercas de capacidad variable. Debido a que los floc tienen mayor densidad que la del agua, estos sedimentan por gravedad, trayendo consigo la formación de lodos en el fondo, y por lo tanto una considerable disminución de la turbiedad, color aparente, sustancias generadoras de olor y sabor, virus, bacterias y otros organismos patógenos. Es usual que, el tiempo de retención o residencia en esta zona varía entre 40 minutos a una hora. Estos equipos en su parte final tienen una serie de canaletas donde se deposita la capa superior del agua, es decir la más clara, a través de estos canales el agua pasa a la zona de filtros.

➤ **Filtración:** se realiza haciendo pasar el agua sedimentada a través de una batería de filtros, los cuales retienen las impurezas o turbiedad residual que persistían en la etapa de decantación. Los filtros rápidos

pueden operar de manera continua por unas 30 horas. Una vez que el filtro colmató su capacidad de limpieza, estos se someten a un retrolavado.

- **Desinfección:** una vez, el agua es filtrada, pasa a ser almacenada, allí se desinfecta según distintos métodos. El más usado es agregándole cloro líquido. El cloro tiene la característica química de ser un oxidante, al reacciona con el agua libera oxígeno matando los agentes patógenos, ya que, por lo general, estas son bacterias anaeróbicas. Otros desinfectantes utilizados son: hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, ozono, luz ultravioleta, etc. **(MARTÍNEZ GARCÍA & GONZÁLEZ SILGADO).**

2.2.4 Partículas en suspensión

Las partículas en suspensión de una fuente de agua superficial provienen de la erosión de suelos, de la disolución de sustancias minerales y de la descomposición de sustancias orgánicas. A este aporte natural se debe adicionar las descargas de desagües domésticos, industriales y agrícolas. En general la turbiedad del agua es causada por las partículas de materias inorgánicas (arcillas, partículas de lo), en tanto que el color está formado por las partículas de

materias orgánicas e hidróxidos de metal (hierro, por ejemplo). **(Andia, 2000)**.

Las características de las partículas en suspensión son las siguientes:

Tamaño de las partículas en Suspensión

Las partículas se clasifican de acuerdo a su tamaño; así las partículas con diámetro inferior a 1 micrómetro que corresponden a partículas de materias orgánicas o inorgánicas, se depositan muy lentamente. **(Andia, 2000)**

La tabla siguiente indica los tiempos de decantación de las diferentes partículas en función de: sus dimensiones; densidad y de la temperatura del agua.

Tabla 2 *Tamaño de partículas*

Tipo de Partículas	Diámetro (mm)	Tiempo de Caída	
		Densidad 2.65	Densidad 1.1
Grava	10	0.013 s.	0.2 s.
Arena Gruesa	1.0	1.266 s.	20.9 s.
Arena fina	0.1	126.66 s.	34.83 min.
Lodo fino	0.01	3.52 h.	58 h.
Bacterias	0.001	14.65 d.	249.1 d.
Coloides	0.0001	4.12 a.	66.59 d.

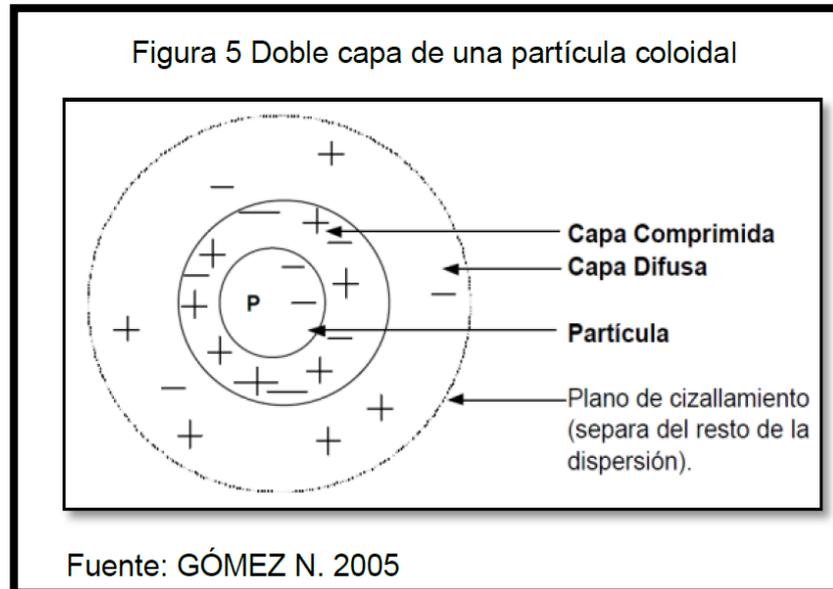
Fuente: Coagulación y floculación. Andia, 2000.

Se observa fácilmente que, a la misma densidad, las partículas más pequeñas tienen un tiempo de duración de caída más grande, esto imposibilita la decantación sin la adición de un factor externo.

2.2.5 Los Coloides

Los coloides son los causantes de la turbidez del agua, no poseen un límite de tamaño y son estudiados en base a sus propiedades fisicoquímica, asimismo tienen una suspensión estable por lo que es de gran importancia cambiar la condición en la que se encuentran para que puedan sedimentar. Su sistema coloidal presenta cargas eléctricas negativas, también nombradas como cargas primarias que atraen a las partículas que atraen a los iones positivos y estos a su vez a los iones negativos unidos con una débil cantidad de iones positivos. **(GÓMEZ N. 2005).**

Figura N° 7 Doble capa de una partícula coloidal



Fuente: Gomez N. 2005

2.2.6 Coagulación

Es un proceso que se inicia con la adición de un agente coagulante al agua y la agitación, dando lugar a que los coloides se desestabilicen. **(GÓMEZ N. 2005).**

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. **(Andia, 2000)**

En la siguiente figura se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas de la superficie del

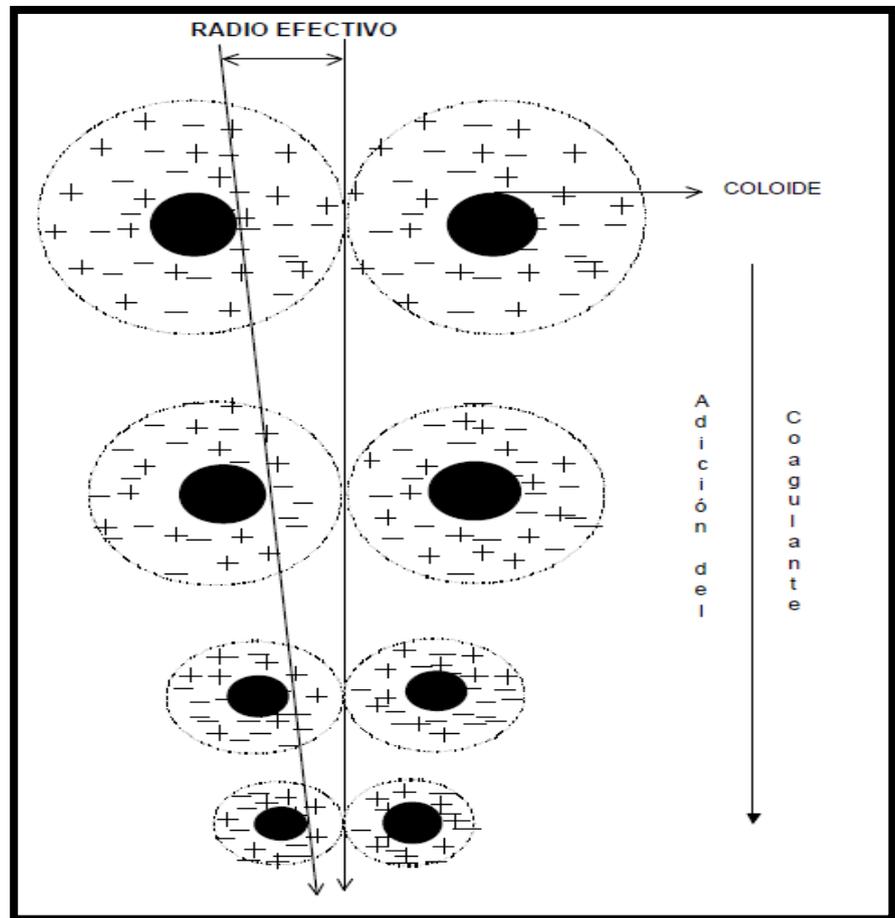
coloide permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos.

El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto, que se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada.

En esta figura se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

Figura N° 8 Fenómeno de la coagulación



Fuente: GÓMEZ N. 2005

El tipo de coagulación que se da al utilizar un coagulante natural con contenido de mucílago es de adsorción y formación de puente (**CHUN-YANG Y. 2010**), es decir las partículas coloidales de carga negativa son atraídas por las cargas positivas del coagulante natural. Las moléculas son largas por lo que pueden retener partículas coloidales por todas sus extremidades formando puentes, prosiguiendo con la creación de los flóculos. (**ANDIA Y. 2000**).

2.2.6.1 Mecanismo de la coagulación

(Andia, 2000). Indica que la desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos, clasificándolo de la siguiente manera:

- Comprensión de la doble capa
- Adsorción y neutralización de cargas
- Atrapamiento de partículas en un precipitado
- Adsorción por puente.

2.2.6.2 Factores que influyen en la Coagulación

(GÓMEZ, 2005). Indico que los principales factores que influyen en la optimización de la coagulación son los siguientes:

- Ph
- Turbiedad
- Sales disueltas
- Temperatura del agua
- Tipo de coagulante utilizado
- Condiciones de Mezcla
- Sistemas de aplicación de los coagulantes
- Tipos de mezcla y el color

Las interrelaciones entre cada uno de ellos permiten predecir cuales son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua.

pH: Es un parámetro importante en el proceso de la coagulación ya que si el tratamiento se diese fuera del valor optimó de pH se tendría que utilizar mayor concentración de coagulante. **(ANDÍA, 2000)** El rango óptimo de pH depende del coagulante y el agua que se utilizará para el tratamiento, para el Aloe Vera L. y Opuntia ficus indica se requiere un pH entre 6-7 **(PARRA Y. 2011)**.

Temperatura: La elevada temperatura de agua perjudica el proceso de coagulación, puesto que permite que las partículas cambien su energía cinética haciendo este proceso más lento. Asimismo, la baja temperatura de agua aumenta su viscosidad lo cual causa dificultades para que el floculo formado sedimente. **(ANDÍA, 2000)** Es por ello **(PARRA Y. 2011)** sugiere una temperatura ambiente entre 21–25 °C.

2.2.6.3 Principales coagulantes

(Vargas y Romero, 2006). Los coagulantes más ampliamente usados están hechos a base de sales de hierro y aluminio. Los más ampliamente usados están hechos a base de sales de hierro y aluminio. Los mas ampliamente usados son sulfatos de aluminio, cloruro de hierro (II) y sulfato de hierro (II).

(Martínez y Gonzales, 2012), lo clasifican en coagulantes metálicos, polielectrolitos y coagulantes naturales. A continuación, se describen dichos coagulantes:

a. Coagulantes metálicos

Poseen la capacidad de actuar como coagulantes y floculantes; cuando son disueltos estos forman compuestos complejos hidratados como: $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ y $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$.

b. Polielectrolitos

Son polímeros orgánicos sintéticos de gran tamaño molecular con carga eléctrica neta, estos coagulantes son muy eficaces en un amplio rango de pH y debido a su alto costo se utilizan junto con los coagulantes metálicos. Se clasifican según su carga en:

- **Catiónicos**, con carga positiva: al entrar en contacto con el agua forman aniones, que permiten remover las partículas de carga negativa y son más eficaces a pH bajo.
- **Aniónicos**, que tienen carga negativa: al entrar en contacto con el agua forman cationes, que permiten remover las partículas de carga positiva y son más eficaces a pH alto.

➤ **No iónicos**, son neutros: al entrar en contacto forman iones positivos y negativos, pero necesitan dosis mayores en comparación con los anteriores para obtener resultados similares.

c. Coagulantes Naturales

(Renault et al., 2009). Se consideran una fuente alternativa con un gran potencial, debido a que son biodegradables y no generan daños al medio ambiente en comparación con coagulantes inorgánicos y polímeros sintéticos.

Presentan una mínima o nula toxicidad, en muchos casos son productos alimenticios, con alto contenido de carbohidratos y proteínas. Entre el grupo de sustancias conocidas que poseen estas propiedades aglomerantes se encuentran algunos compuestos orgánicos de origen vegetal, los cuales pueden obtenerse del tallo o las semillas de una enorme variedad de plantas como la moringa oleífera, la tuna, el frijol, maíz entre otros.

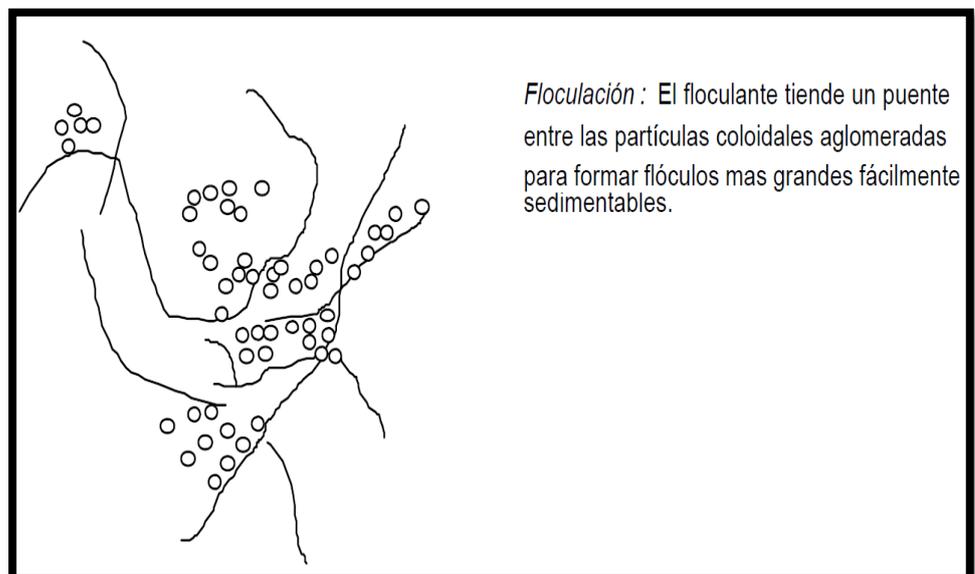
2.2.7 Floculación

Es el proceso que le prosigue a la coagulación, este se basa en agitar la masa lentamente por un periodo más largo con la finalidad que conseguir acrecentar y aglomerar los flóculos

para lograr el aumento del tamaño y el peso para una fácil sedimentación. (ANDÍA, 2000).

Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar.

Figura N° 9 Flóculos formados aglomeración



Fuente: Coagulación y floculación. ANDÍA Y. 2000.

2.2.7.1 Tipos de floculación

(Cueva, 2014). Clasifica a la floculación en pericinética y ortocinética.

- **Floculación Pericinética:** Esta producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta

inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano.

- **Floculación Ortocinética:** Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

2.2.7.2 Floculantes

(Díaz, 2014). Los floculantes pueden ser de naturaleza mineral, orgánica natural y orgánico de síntesis, tales como se describen a continuación.

- **Floculantes minerales:** Se encuentran la sílice activada que es el primer floculante que fue empleado en los años 70 y 80 para la neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución.
- **Floculantes Orgánicos Naturales:** Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales.

Los alginatos, cuya estructura polimérica son:

- Los ácidos manuránicos
- Los ácidos glucónicos.

- **Floculantes orgánicos de síntesis:** Son los más utilizados y son macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con

masa molecular elevada de 10^6 a 10^7 g/mol, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros: Aniónicos (generalmente copolímeros de la acrilamida y del ácido acrílico), Neutros o no iónicos (poliacrilamidas) y Catiónicos (copolímeros de acrilamidas + un monómero catiónico).

2.2.8 Influencia de la Turbiedad

Turbiedad: Es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz; y es función del número, tamaño y forma de partículas.

La turbiedad del agua superficial es gran parte debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5 μm . La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo. La variación de la concentración de las partículas permite hacer las siguientes predicciones:

- Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.
- Cuando la turbiedad aumenta se debe adicionar la cantidad de coagulante no es mucho debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy

elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario, cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.

- Cuando la turbiedad es muy alta, conviene realizar una presedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico.

2.2.9 Remoción de Turbiedad

La aplicación de una dosis creciente del coagulante al agua presenta diferentes zonas de coagulación, como se puede observar en la Fig. 10.

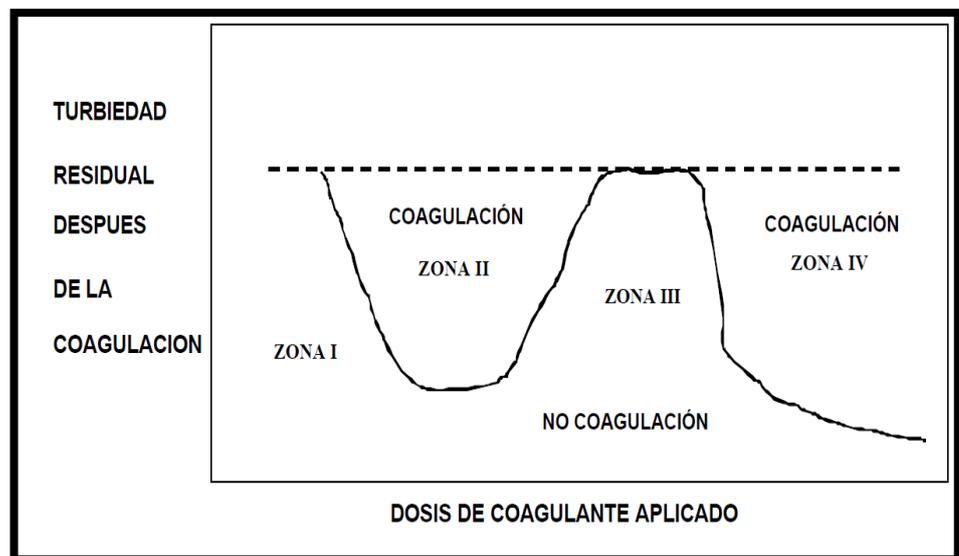
Zona 1.- La dosis de coagulante no es suficiente para desestabilizar las partículas y por lo tanto no se produce coagulación.

Zona 2.- Al incrementar la dosis de coagulantes, se produce una rápida aglutinación de los coloides.

Zona 3.- Si se continúa incrementando la dosis, llega un momento en que no se produce una buena coagulación, ya que los coloides se reestabilizan.

Zona 4.- Al aumentar aún más la dosis, hasta producir una supersaturación se produce de nuevo una rápida precipitación de los coagulantes que hace un efecto de barrido, arrastrando en su descenso las partículas que conforman la turbiedad (ANDÍA Y. 2000).

Figura N° 10 Diagrama de remoción de turbiedad



Fuente: Coagulación y floculación. ANDÍA Y. 2000.

2.2.10 Ensayo de prueba de Jarra

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, (ANDÍA, 2000).

El test de jarra es un método de simulación del proceso de coagulación, floculación y sedimentación. Los factores de control para la realización del Test de Jarras son la variación de agitación rápida y lenta, tiempo de sedimentación, dosis del coagulante, pH y temperatura en dosis de 600, 700 y 800 mg/l de coagulante natural **(PARRA Y. 2011)**.

La prueba de jarras se realiza de la siguiente manera:

Determinar la temperatura del agua cruda, el color, la turbiedad, el pH y la alcalinidad. Añadir los coagulantes al agua en dosis progresivas en cada vaso de precipitado en cualquiera de las tres formas siguientes:

- Se coloca el agua de la muestra en las 6 jarras, las cuales se introducen debajo de los agitadores, los cuales se ponen a funcionar a 100 rpm. Luego, se inyecta el coagulante con una pipeta de 2 a 10 ml, profundamente dentro del líquido junto a la paleta. El tiempo de mezclado suele ser entre 30 y 60 segundos.
- Por medio de una pipeta o bureta se colocan las cantidades de coagulantes que se van a agregar, en seis vasos pequeños de precipitado. El contenido de cada vaso se succiona con una jeringa médica provista de su aguja hipodérmica. Se retira dicha aguja de la jeringa y esta

última, con su dosis completa, se pone junto a la jarra correspondiente.

- Se hacen girar las paletas del aparato a 100 rpm y se inyecta el contenido de cada jeringa en la jarra que le corresponde, cuidando que la solución penetre profundamente para que la dispersión sea más rápida.
- Se pone previamente en las jarras la dosis de coagulantes requeridas y se vierte rápidamente el agua de la muestra en los mismos, mientras se hacen girar las paletas a 100 rpm. Esto produce una mezcla completísima, muy semejante a la que se obtiene en un salto hidráulico. Una vez hecha la mezcla rápida se disminuye la velocidad de rotación de las paletas a 30-60 rpm (promedio de 40 rpm) y se deja flocular el agua durante 15-30 min. Luego se suspende la agitación, se extraen las paletas y se deja sedimentar el agua. Una vez mezclados los coagulantes con el agua se pueden hacer las determinaciones de tipo cuantitativas como: turbiedad, color alcalinidad, pH entre otras. **(Arboleda 2000).**

2.2.11 Principales factores que afectan la microcuenca de San Alberto.

2.2.11.1 Agricultura migratoria y ganadería extensiva

En general, los modelos agrícolas utilizados en la zona son insostenibles, debido al empleo de técnicas inapropiadas para los ecosistemas alto amazónicos y a la poca o nula aptitud agrícola de las tierras en que se producen, con graves consecuencias ecológicas y socioeconómicas. Aún son escasas las prácticas agrícolas con sistemas agroforestales y cultivos integrales con rotaciones concebidas técnicamente. No se cuenta con registros ni tampoco con información de casos exitosos de agricultura sostenible en laderas por la zona, con la excepción de algunos casos aislados de cultivo perenne de palto y agroforestería, como el café bajo sombra o granadilla con tutores vivos de paca (*Inga spp.*). En general, hay muy poca difusión de alternativas tecnológicas y productivas sostenibles que sean económicamente viables para los agricultores (Plan Maestro PNYCh 2005).

Figura N° 11 Terreno deforestado.



Fuente: Elaboración propia

Son los colonos de origen andino, los que ocupan las laderas altas de los valles, conduciendo actividades agrícolas y ganaderas sobre tierras no aptas para estas prácticas, en especial para el cultivo del rocoto. Este cultivo crece óptimamente entre los 1450 y los 2400 m.s.n.m. y sólo en tierras en donde el bosque primario ha sido talado; consume, además, una elevada cantidad de agroquímicos, principalmente, pesticidas. Este cultivo constituye el principal factor de presión por nuevas tierras en las zonas de amortiguamiento del Parque Nacional Yanachaga Chemillén, y en general, de todas las tierras altas de la provincia. Debido a que el uso de fertilizantes es muy bajo, las tierras son abandonadas a los dos años o antes, luego de lo cual son utilizadas para establecer

pastos o son sencillamente abandonadas al proceso natural de sucesión vegetal. Los mayores frentes de presión por actividad agrícola, particularmente para la producción de rocoto, se dan a lo largo de todo el flanco occidental de la cordillera de Yanachaga (**Plan Maestro PNYCh 2005**).

2.2.11.2 Extracción forestal con fines comerciales

El principal recurso en la zona aún sigue siendo el forestal. Sin embargo, como sucede en muchas partes, la extracción forestal no se realiza de manera sostenible y los bosques se empobrecen paulatinamente con la pérdida de especies de valor comercial. Con niveles de reposición forestal muy bajos, la reforestación no llega en ningún caso a compensar el grado de deforestación existente. Además, prácticamente no se efectúa ningún manejo en las plantaciones (**Plan Maestro PNYCh 2005**).

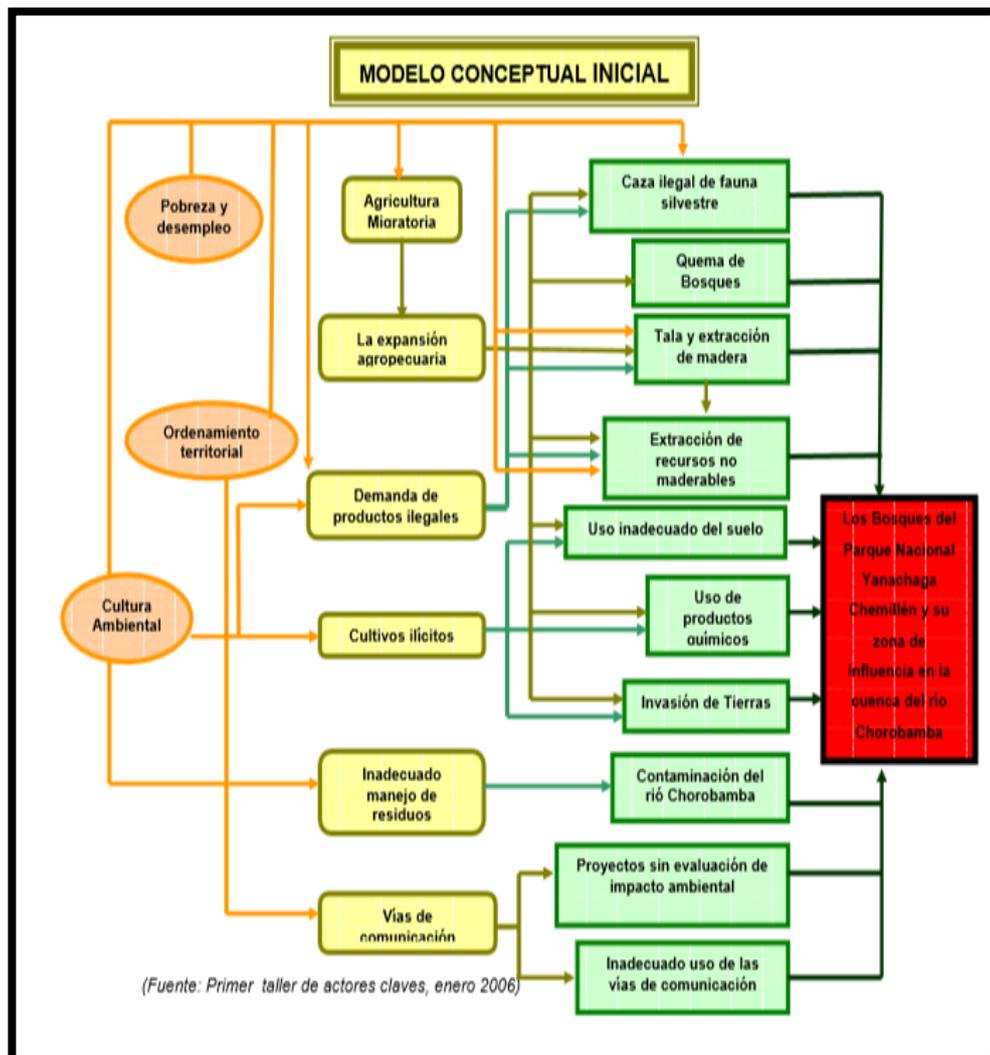
El acelerado cambio de uso de la tierra es la principal amenaza para sostenibilidad de la actividad forestal en la zona. La degradación y progresiva desaparición de las masas boscosas, como consecuencia de todos los hechos mencionados anteriormente, generan un incremento gradual de la presión por nuevos recursos madereros que, en el largo plazo, pueden afectar

seriamente la viabilidad del Parque Nacional Yanachaga Chemillén (**Plan Maestro PNYCh 2005**).

2.2.11.3 El inadecuado uso y manejo de agroquímicos

Los agroquímicos son usados en excesiva frecuencia y cantidad, y muchas veces son de etiqueta amarilla y roja (es decir, los más fuertes). Al mismo tiempo, se dispone inadecuadamente los residuos de los agroquímicos. Los envases de los mismos son dejados en el campo. Asimismo, se produce contaminación del río con agroquímicos, tanto directamente (por el lavado de mochilas y el arrojado de los envases al río) como también por un proceso de filtración de agroquímicos peligrosos en las aguas subterráneas y suelos. Esto último ocasiona una degradación de la calidad de las aguas freáticas y del río San Alberto, y la degradación progresiva de la calidad de los suelos, quienes son más vulnerables con el paso del tiempo a cierto tipo de plagas y enfermedades. Finalmente, el excesivo uso de pesticidas conduce a la mayor proliferación de las plagas y enfermedades, debido al aumento de la resistencia de las mismas (**Gonzales, J. 2009**).

Figura N° 12 Modelo conceptual de los factores



Fuente: Primer taller de actores claves, enero 2006.

2.2.11.4 Factores que afectan la eficiencia del coagulante

La eficiencia del agente coagulante se ve afectada por ciertos factores, como:

- **Características del agua.**

Caudal: cuando se trata pequeños caudales, se requiere gran exactitud para suministrar el coagulante.

➤ **Características físicas:**

El color y la turbiedad aumentan la dosis necesaria de coagulante para obtener resultados aceptables.

➤ **Características químicas:**

- pH: existe un determinado intervalo de pH, el cual favorece la labor del coagulante. Por lo general actúan mejor en medios alcalinos.
- Presencia de otras sustancias: existen otras sustancias a las mencionadas que altera el pH óptimo del coagulante.
- Punto de aplicación: es fundamental escoger bien la zona donde se va a dosificar para obtener mejores resultados durante el proceso, y varía según el equipo utilizado.
- Temperatura: bajas temperaturas retardan la formación de los flóculos.

2.2.12 Base legal

- **La Constitución Política, promulgada en el año 1993,** fija normas que garantizan el derecho que tiene toda

persona a la protección de su salud y gozar de un ambiente equilibrado. Establece asimismo que es el Estado quien determina las políticas nacionales de salud y ambiente.

El inciso 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Estado señala que es deber primordial del mismo garantizar el derecho a toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; siendo esto un derecho de todos.

Asimismo, el artículo 57 de la referida carta magna establece que el Estado determina la política ambiental.

En tal sentido, la Ley General de Salud señala en su artículo 103 que la protección del ambiente es responsabilidad del Estado y de las personas naturales o jurídicas, lo que tiene la obligación de mantenerlo dentro de los estándares para preservar la salud de las personas.

➤ **Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental N° 27446**

Establece dentro de los criterios de protección ambiental, la protección de la calidad ambiental, tanto del aire, del agua, del suelo, como la incidencia que puedan producir el ruido y los residuos sólidos, líquidos y emisiones gaseosas; aspectos ambientales comunes a toda infraestructura de

disposición final de residuos sólidos. Así mismo define los estudios ambientales correspondientes a cada tipo de proyecto dependiendo de la envergadura de éstos y la potencialidad de los impactos en el ambiente.

➤ **Ley General del Ambiente N° 28611**

Artículo I.- Del derecho y deber fundamental

Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

➤ **Ley de recursos hídricos Ley N° 29338**

Artículo 1º.- El agua

El agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación.

Artículo 2º.- Dominio y uso público sobre el agua

El agua constituye patrimonio de la Nación. El dominio sobre ella es inalienable e imprescriptible. Es un bien de uso público y su administración solo puede ser otorgada y ejercida en armonía con el bien común, la protección ambiental y el interés de la Nación. No hay propiedad privada sobre el agua.

➤ **Decreto Supremo N°031-2010-SA – Reglamento de la calidad del agua para consumo humano**

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 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 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.

➤ **Decreto Supremo N°004-2017.MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen Disposiciones Complementarias.**

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

Tabla 3 Categoría 1. Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**

Fuente: Publicación diario El Peruano

2.2.13 Definición de Términos.

2.2.13.1 Coagulación.

Solidificación de los líquidos mediante un floculante.

2.2.13.2 Sólidos Suspendidos.

Estado de la materia en el que las moléculas poseen el mayor grado de cohesión.

2.2.13.3 Floculación.

Colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico colisiones de las partículas debido al movimiento del agua.

2.2.13.4 Las partículas coloidales.

Son las causantes de la turbiedad y del color por lo que el tratamiento del agua está orientado a la remoción de estas partículas; estas poseen normalmente una carga eléctrica negativa situado sobre su superficie.

2.2.13.5 Proceso de Coagulación.

La coagulación por definición, es el fenómeno de desestabilización de las partículas coloidales,

2.2.13.6 Partículas en Suspensión.

Desde el punto de vista físico se puede hablar que los sólidos totales, que son impurezas del agua.

2.2.13.7 Polímeros naturales.

Son los que se producen en las reacciones bioquímicas naturales de animales y plantas, tales como proteínas, carbohidratos y polisacáridos (almidón, glucósidos). Muchos de estos componentes tienen propiedades coagulantes o floculantes y son usados por los nativos en forma empírica para clarificar el agua, como pasa con la penca de la tuna o nopal (que se emplea en las sierras del Perú y en Méjico) o con las semillas del nirmalí (utilizado en la India).

2.2.13.8 Polímeros sintéticos.

Son compuestos orgánicos producidos por medio de la transformación química de derivados del carbón y del petróleo. Incluye la mayoría de los polímeros manufacturados por la industria y de mayor venta comercialmente. Muchos, aunque no todos, se encuentran en forma de polvo seco.

2.2.13.9 Poder coagulante.

Un coagulante es sales metálicas que reaccionan con la alcalinidad del agua, para producir un floculo de hidróxido del metal, insoluble en agua, que incorpore a las partículas coloidales.

2.2.13.10 Turbidez.

Es la medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión.

2.2.13.11 Sedimentación.

Es un proceso físico donde las partículas que tienen mayor densidad que el agua usan la fuerza de gravedad para descender hacia el fondo. La sedimentación de las partículas, también llamado decantación es más eficiente cuando estas tienen mayor tamaño.

2.2.13.12 Bloque.

Trozo grande y sin labrar de un material compacto y duro, en especial piedra o madera.

2.2.13.13 Tratamiento.

Es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico, físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación.

1.8. Formulación de Hipótesis

1.8.1. Hipótesis General

El poder coagulante de la sábila para remover la turbidez en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano es recomendable.

1.8.2. Hipótesis Específicas

- El efecto que tendrá el mucílago de la sábila como floculante natural para eliminar las partículas suspendidas (turbidez) en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano, es aceptable a concentraciones óptimas.
- Los factores que indican la presencia de partículas suspendidas en la captación de agua para procesar el tratamiento de aguas en el consumo humano, son la deforestación de áreas aledañas a las captaciones y las precipitaciones pluviales.
- La dosificación óptima del floculante natural (mucílago de sábila) para la eliminar las partículas suspendidas en el proceso de tratamiento de aguas para el consumo humano está entre 0,3 a 2,1 mg/L

1.9. Identificación de Variables

1.9.1. Variable Independiente.

- Porcentaje de reducción de turbidez.

1.9.2. Variables Dependientes.

- Turbidez inicial del agua a tratar.
- Concentración de mucilago de sábila (Aloe Vera)

1.9.3. Variables Intervinientes.

- pH
- temperatura
- Velocidad de agitación.

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.4 Tipo de Investigación.

La presente investigación a) Según su finalidad es experimental, debido a que se buscó conocer el problema de calidad del agua b) Según su alcance temporal es sincrónico porque se estudió en un periodo puntual, c) Por su profundidad es explicativa porque además de medir las variables se estudió las relaciones de influencia entre ellas. d) Según su amplitud es micro, debido a que la investigación hará referencia al estudio de las variables en grupos pequeños, e) Según sus fuentes es primaria, debido a que la investigación utilizó datos de primera mano (medición en laboratorio),f) Según su carácter es cuantitativo g) Según su naturaleza es experimental porque se trabajó con hechos provocados o manipulados en

laboratorio h) Por su marco fue de laboratorio porque se dará condiciones artificiales a condiciones controladas.

3.5 Métodos de la Investigación.

El método de investigación utilizado fue inductivo aplicativo, por que consistió en controlar y manipular intencionalmente dos variables experimentales (Concentración de mucilago de sábila y turbidez inicial del agua) en un ambiente preparado y controlado en laboratorio de ingeniería ambiental de la universidad nacional Daniel Alcides Carrión de Oxapampa, para observar, medir los cambios y efectos que se produce en la variable denominado dependiente (porcentaje de reducción de turbidez).

3.6 Diseño de la Investigación.

El diseño que se realizó para esta investigación es experimental debido a que se aplicó una serie de pruebas en las cuales se introdujo cambios deliberados en las variables de entrada (Turbidez inicial y concentración de mucilago de sábila) que forman el proceso, de manera que se observó e identificó las causas de los cambios en la variable de salida (porcentaje de reducción de turbidez).

Para este caso se consideró un diseño de bloques completamente aleatorizado (DBCA), el cual se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 4 Diseño de bloque completamente aleatorizado.

Tratamiento	Bloques			
	A	B	C	D
T ₁	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄
T ₂	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	Y ₂₄
T ₃	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₃	Y ₃₄
T ₄	Y ₄₁	Y ₄₂	Y ₄₃	Y ₄₄
T ₅	Y ₅₁	Y ₅₂	Y ₅₃	Y ₅₄
T ₆	Y ₆₁	Y ₆₂	Y ₆₃	Y ₆₄
T ₇	Y ₇₁	Y ₇₂	Y ₇₃	Y ₇₄
T ₈	Y ₈₁	Y ₈₂	Y ₈₃	Y ₈₄

Fuente: Elaboración propia.

Donde los bloques, son niveles de turbidez iniciales del agua tratada (A=Turbidez inicial baja, B=Turbidez inicial media baja, C=Turbidez inicial media alta y D=Turbidez inicial alta), además se tendrá un testigo (T₁), además siete tratamientos de diferentes concentraciones de mucilago de sábila (T₂=0,3 g/L; T₃=0,6 g/L; T₄=0,9 g/L; T₅=1,2 g/L; T₆=1,5 g/L; T₇=1,8 g/L y T₈=2,1 g/L).

Modelo estadístico.

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + u_{ij} \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \text{ y } 8 ; \quad j = 1, 2, 3 \text{ y } 4$$

y_{ij} : La variable aleatoria que representa la observación (i)-ésima del bloque (j)-ésimo.

μ : es un efecto constante. Media global.

τ_i : El efecto producido por el nivel i-ésimo del factor principal.

$$\sum_{i=1}^i \tau_i = 0$$

β_j : El efecto producido por el nivel j-ésimo del factor secundario o

factor de bloque. Se supone que $\sum_{j=1}^J \beta_j = 0$

u_{ij} : Variables aleatorias independientes con distribución $N(0, \sigma)$.

3.7 Población Muestra.

3.7.1 Población.

Todas las fuentes de agua que sirve como fuente de captación para el sistema de abastecimiento de agua potable en el sector San Alberto.

figura N° 13 Captación San Alberto.



Fuente: elaboración propia.

3.7.2 Muestra.

Se preparó en el laboratorio cuatro muestras con turbidez inicial conocidas (A: Baja=12,77 NTU; B: Media baja=19,43

NTU; C: Media alta=42,3 NTU y D: Alta=79,7 NTU), cada una de 10 litros, para luego dar 8 tratamientos (Vasos de 500 ml) de concentración de mucilago de sábila ($T_1=0$ g/L, $T_2=0,3$ g/L; $T_3=0,6$ g/L; $T_4= 0,9$ g/L; $T_5=1,2$ g/L; $T_6=1,5$ g/L; $T_7=1,8$ g/L y $T_8= 2,1$ g/L).

Figura N° 14 Muestra por Tratamiento



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 15 Muestra de agua cruda



Fuente: Elaboración Propia.

3.8 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

Para la determinación de la remoción de la turbidez del agua del sector San Alberto, se utilizó la técnica analítica de la aplicación de la prueba de jarras, de este modo se conoció cuantitativamente el proceso de clarificación de las muestras tratadas de agua.

Se usaron datos como turbidez inicial del agua tratada (A=Turbidez inicial baja, B=Turbidez inicial media baja, C=Turbidez inicial media alta y D=Turbidez inicial alta), lo cual se determinó mediante el uso de un equipo denominado turbidímetro marca OAKTON modelo T100, el cual se usó también para medir la turbidez final una vez aplicado el coagulante-floculante, donde se tuvo un testigo (T_1), con

siete tratamientos de diferentes concentraciones de mucilago de sábila ($T_2=0,3$ g/L; $T_3=0,6$ g/L; $T_4=0,9$ g/L; $T_5=1,2$ g/L; $T_6=1,5$ g/L; $T_7=1,8$ g/L y $T_8=2,1$ g/L).

La técnica de recolección de datos se realizó de fuentes primarias a través de mediciones en laboratorio, lo cual se anotó en una ficha de trabajo, las muestras se recogieron de la microcuenca del sector de San Alberto, en el que se hizo uso de una jarra pequeña para llenar un balde de 5 litros.

La muestra compuesta del balde fue llevada al laboratorio de ingeniería ambiental Oxapampa, para los respectivos ensayos de coagulación – floculación a prueba de jarras.

Tabla 5 Ficha de trabajo

Ficha de recolección de información	
Responsable de laboratorio:	Ing. Edson Ramos Peñaloza
Responsable de toma de datos:	Yenny Morales Osorio.

		Bloque (NTU)							
		A		B		C		D	
		T _{inicial} =	12,77	T _{inicial} =	19,43	T _{inicial} =	42,3	T _{inicial} =	79,7
T1=	0 g/L	5,39		15,89		29,20		60,00	
T2=	0,3 g/L	5,58		14,61		25,70		53,10	
T3=	0,6 g/L	6,44		13,57		21,40		54,80	
T4=	0,9 g/L	6,33		15,40		26,90		55,20	
T5=	1,2 g/L	6,32		15,33		26,40		55,30	
T6=	1,5 g/L	6,00		13,90		25,60		52,50	
T7=	1,8 g/L	7,02		15,49		24,90		54,40	
T8=	2,1 g/L	7,09		15,63		22,40		53,00	

Fuente: Elaboración propia

3.8.1 Instrumentos

a. Equipos de Laboratorio

técnica	Instrumento
Aplicación de prueba de jarras	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Equipo para prueba de Jarras. ➤ Turbimetro marca OAKTON modelo T100. ➤ pH-metro PCE-228 ➤ Termómetro. ➤ Buretas ➤ Fiolas ➤ Pipetas ➤ Vasos de Precipitados ➤ Balanza Analítica ➤ Jeringa médica ➤ Matraces ➤ Licuadora

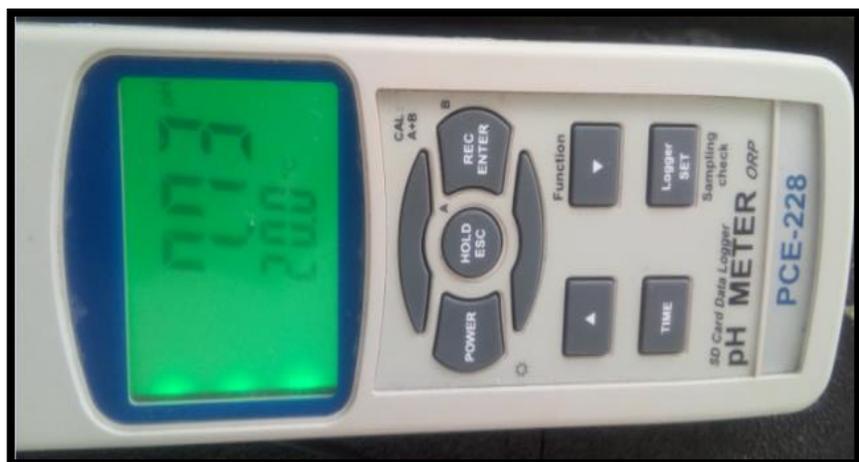
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Probetas
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mucilago de sábila. ➤ Muestra a tratar (agua). ➤ Agua destilada. ➤ Arcilla.

Figura N° 16 Equipo digital para medir turbidez del agua



Fuente: elaboración propia.

Figura N° 17 Equipo digital para medir pH del agua.



Fuente: elaboración propia.

3.8.2 Método de Experimentación

Consideraciones

- Se obtuvo la arcilla seca roja, extraída de la zona de captación el cual fue secada y tamizada para luego ser usada.

Tabla 6 Pesos de arcilla para diferentes grados de turbidez.

Peso en (g)	Grados de turbidez
0,25 g/L	A: Baja =12,77 NTU
0,50 g/L	B: Media baja=19,43 NTU
0,75 g/L	C: Media alta=42,3 NTU
1,0 g/L	D: Alta =79,7 NTU

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 18 Peso de arcilla en la balanza analítica



Fuente: Elaboración propia

- Se preparó cuatro muestras de agua con diferentes grados de turbidez (A: Baja=12,77 NTU; B: Media baja=19,43

NTU; C: Media alta=42,3 NTU y D: Alta=79,7 NTU), el cual representó los bloques.

Figura N° 19 Muestras de agua turbia



Fuente: elaboración propia.

- Se preparó la solución de mucilago de sábila (Aloe vera), como coagulante-floculante.

Figura N° 20 Obtención de muestra de sábila



Fuente: Elaboración propia

- Se peso en la balanza analítica la cantidad de (0,15 g; 0,3 g; 0,45 g, 0,6 g; 0,75 g; 0,9 g y 1,05 g) y una de control de mucilago de sábila, el cual se agregó a 0,5 litros de agua.

Tabla 7 Pesos del mucilago de sábila para diferentes concentraciones.

Peso en (g)	Concentración en (g/L)
0,15	0,3
0,3	0,6
0,45	0,9
0,6	1,2
0,75	1,5
0,9	1,8
1,05	2,1

Fuente: elaboración propia

- Se agregó las cantidades pesadas del mucilago de sábila a las muestras de agua, (0,3 g/L, 0,6 g/L, 0,9 g/l, 1,2 g/L, 1,5 g/L, 1,8 g/L y 2,1 g/L) y una de control, luego se procedió a agitar haciendo uso de una bagueta.

Figura N° 21 Preparación de solución.



Fuente: Elaboración propia

Procedimiento

El proceso de prueba de jarras se realizó de la siguiente manera:

- Se Agito fuertemente la muestra madre preparada y se tomó una porción de 500 ml en un vaso de precipitación y se midió la turbidez inicial.
- Se Mantuvo agitando la muestra del vaso a 100 rpm por espacio de un minuto. Luego se agregó el mucilago de sábila según la concentración requerida y se procedió a agitar a 50 rpm por espacio de 15 minutos.
- Se dejó reposar la solución por espacio de 20 minutos y se procedió a medir la turbidez final.
- El mismo procedimiento se realizó para los 8 tratamientos.

Cálculos

Para calcular el porcentaje de reducción de turbidez se usará la siguiente relación.

$$PRT = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100 \quad (1)$$

Dónde:

Ti: Turbidez inicial

Tf: Turbidez final.

PRT: porcentaje de reducción de turbidez

3.9 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.

Para el procesamiento de datos se utilizó la estadística descriptiva, tablas de frecuencias, gráficos de barras y otros, con la finalidad de hacer un adecuado análisis e inferencia estadística y determinar la dosis óptima de sábila (floculante).

3.10 Tratamiento Estadístico de Datos.

Los resultados obtenidos en el laboratorio de ingeniería ambiental Oxapampa, como turbidez inicial y final, lo cual se calculó el porcentaje de reducción de turbidez que fueron tratados utilizando Excel y el software SPSS 23, para determinar la dosis adecuada de floculación.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.4 Tratamiento Estadístico e Interpretación de Cuadros.

Primeramente, se hizo la identificación se ensambló el equipo de prueba de jarras que consistía de un vaso de 500 ml, un cronometro y un agitador manual obteniéndose:

Tabla 8 Resultados obtenidos de turbidez aplicando 8 tratamientos con mucilago de sábila.

Tratamiento	Bloque (NTU)			
	A	B	C	D
	Ti=12,77 NTU	Ti=19,43 NTU	Ti=42,3 NTU	Ti=79,7 NTU
T1= 0 g/l	10,39	15,89	29,20	60,00
T2= 0,3 g/l	8,58	14,61	25,70	53,10
T3= 0,6 g/l	8,44	14,57	22,40	52,80
T4= 0,9 g/l	7,33	13,30	22,90	52,20
T5= 1,2 g/l	7,32	13,33	21,40	51,30

T6= 1,5 g/l	6,00	13,90	21,60	50,50
T7= 1,8 g/l	5,09	12,49	20,90	50,40
T8= 2,1 g/l	7,09	12,63	20,40	49,00

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 8, el tratamiento 1, es de control y los demás tratamientos nos indica la influencia que presentó la concentración de mucilago de sábila en la disminución de la turbidez, al mismo tiempo los bloques (A, B, C y D) son niveles de turbidez del agua a tratar. En todos los casos podemos observar que si existe influencia del mucilago de sábila (Aloe Vera), en la reducción de turbidez.

Figura N° 22 Medición de turbidez del agua.



Fuente: elaboración propia.

4.5 Presentación de Resultados.

Para comparar los resultados obtenidos, recurrimos al porcentaje de reducción de turbidez (PRT), según la ecuación (01). Estos resultados resumimos en el siguiente cuadro:

Tabla 9 Porcentaje de reducción de turbidez (PRT)

Tratamiento	Bloque (PRT)			
	A	B	C	D
T1= 0 g/L	18,64	18,22	30,97	24,72
T2= 0,3 g/L	32,81	24,81	39,24	33,38
T3= 0,6 g/L	33,91	25,01	47,04	33,75
T4= 0,9 g/L	42,60	31,55	45,86	34,50
T5= 1,2 g/L	42,68	31,39	49,41	35,63
T6= 1,5 g/L	53,01	28,46	48,94	36,64
T7= 1,8 g/L	60,14	35,72	50,59	36,76
T8= 2,1 g/L	44,48	35,00	51,77	38,52

Fuente: Elaboración propia.

4.6 Prueba de Hipótesis.

Para la determinación de prueba de hipótesis se siguió los siguientes pasos:

➤ **Formulación de H_0 y H_1 .**

Tratamiento.

H_0 : La aplicación de mucilago de sábila en el tratamiento agua, no influye en el porcentaje de reducción de turbidez.

$$\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6 = \tau_7 = \tau_8$$

H_1 : La aplicación de mucilago de sábila en el tratamiento agua, influye en el porcentaje de reducción de turbidez.

$$\tau_1 \neq \tau_2 \neq \tau_3 \neq \tau_4 \neq \tau_5 \neq \tau_6 \neq \tau_7 \neq \tau_8$$

Bloques.

H₀: La turbidez inicial del agua a tratar, no influye en el porcentaje de reducción de turbidez.

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4$$

H₁: La turbidez inicial del agua a tratar, influye en el porcentaje de reducción de turbidez.

$$\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq \beta_4$$

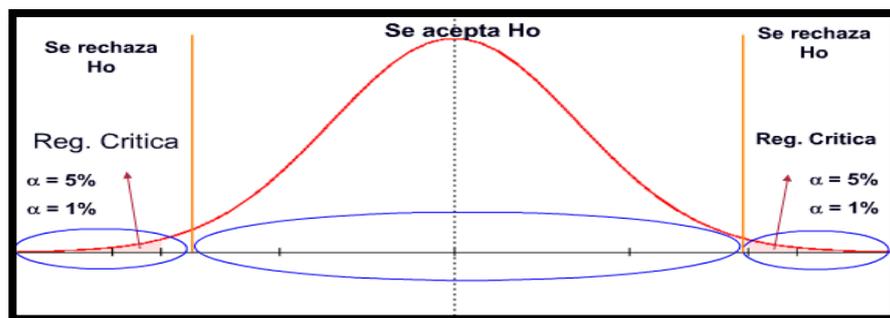
➤ **Nivel de significancia.**

El nivel de significancia es de $\alpha=0,05$

➤ **Criterio.**

Rechazar H₀ si $p < 0,05$ y aceptar H₀ si $p > 0,05$.

Figura N° 23 Zona de rechazo y aceptación



Fuente: elaboración propia.

➤ **Cálculo estadístico de prueba.**

Tabla 10 Pruebas de efectos Inter sujetos.

Variable dependiente: Porcentaje de reducción de turbidez (PRT)

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2724,110 ^a	10	272,411	13,097	0,000
Intersección	44711,713	1	44711,713	2149,630	0,000
Tratamiento	1420,696	7	202,957	9,758	0,000
Bloques	1303,414	3	434,471	20,888	0,000
Error	436,794	21	20,800		
Total	47872,618	32			
Total corregido	3160,904	31			

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla N° 10, el valor del estadístico de contraste de bloques es de 20,888 que corresponde a $p=0,000$ que es menor a 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y afirmamos que la turbidez inicial del agua a tratar, influye en el porcentaje de reducción de turbidez.

La eficacia de este diseño depende de los efectos de los bloques. Un valor grande de f de los bloques (20,888) implica que el factor bloque (turbidez inicial del agua) tiene un efecto grande.

Por lo tanto, podemos afirmar que el factor de turbidez inicial del agua a tratar en el modelo es acertado, así el porcentaje de reducción de turbidez depende de la turbidez inicial del agua.

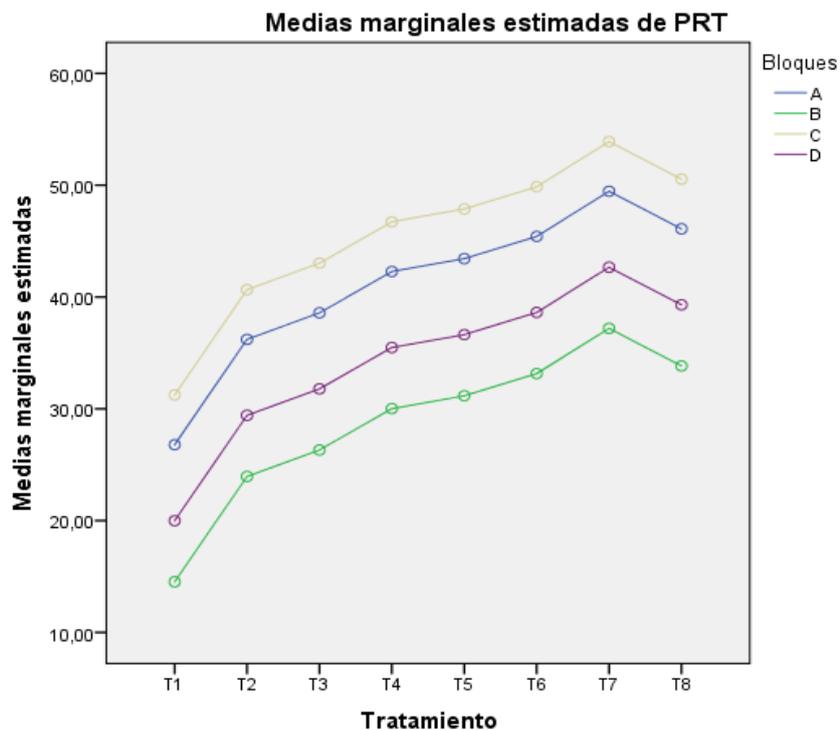
El valor del estadístico de contraste de igualdad de tratamiento, $f=9,758$ deja a su derecha un valor de $p=0,000$, menor que el nivel de significación de 5%, por lo que se rechaza la hipótesis nula y podemos afirmar que la aplicación de mucilago de sábila en el

tratamiento agua, influye en el porcentaje de reducción de turbidez.

Es decir, existen diferencias significativas en el porcentaje de reducción de turbidez (PRT) de los 8 tratamientos.

También nos muestra que R cuadrado vale 0,862, indicándonos que el modelo explica el 86,2 %de la variabilidad de los datos.

Figura N° 24 Variabilidad de PRT, según el tratamiento.



Fuente: elaboración propia.

Como podemos observar en la figura 25, según se va aumentando la concentración de mucilago de sábila en el tratamiento del agua, va aumentando el PRT, siendo máximo en el tratamiento 7 (T7),

que corresponde a una concentración de 1,8 g de mucilago de sábila por litro de agua.

Al mismo tiempo si observamos los bloques, afirmamos que en el bloque C, donde se trató agua con turbidez inicial de 42,3 NTU, se obtiene un máximo de reducción de turbidez.

Además, el tratamiento 1 (T₁), es un tratamiento control y observamos que difiere significativamente con el demás tratamiento donde se agregó mucilago de sábila.

Tratamiento

Tabla 11 Evaluación de subconjuntos homogéneos entre los tratamientos

Porcentaje de reducción de turbidez (PRT)

Duncan^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
T1	4	23,1375			
T2	4		32,5600		
T3	4		34,9275	34,9275	
T4	4		38,6275	38,6275	38,6275
T5	4		39,7775	39,7775	39,7775
T6	4			41,7625	41,7625
T8	4				42,4425
T7	4				45,8025
Sig.		1,000	,051	,064	,057

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 20,800.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = 0,05.

Fuente: elaboración propia.

La tabla N° 11 de subconjuntos homogéneos muestra por columna los subgrupos de medias iguales, formados al utilizar el método de Duncan.

Se observa que el tratamiento 1 (Control), difiere significativamente de los demás tratamientos hechos que se confirman en la figura N° 25, además podemos afirmar que los tratamientos (T₂, T₃, T₄ y T₅), los tratamientos (T₃, T₄, T₅ y T₆) y tratamiento (T₄, T₅, T₆, T₇ y T₈) presentan similitudes entre sí.

También se observa que el porcentaje de reducción de turbidez promedio es mayor con el tratamiento 7 (45,8025) y menor con el tratamiento 1 (23,1375)

Bloques

Tabla 12 Evaluación de subconjuntos homogéneos entre los bloques

Porcentaje de reducción de turbidez (PRT)

Duncan^{a,b}

Bloques	N	Subconjunto		
		1	2	3
B	8	28,7700		
D	8		34,2375	
A	8			41,0338
C	8			45,4775
Sig.		1,000	1,000	,065

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 20,800.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,000.

b. Alfa = 0,05.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 12, se observa que los bloques B y D difieren de los bloques A y C, se afirma que los bloques A y C tienen similitud ya que presenta $p = 0,065$, que es mayor a 0,05.

Además, observamos (Tabla N° 8 y tabla N° 12) que en el bloque B (turbidez inicial de 19,43 NTU), presenta un menor porcentaje de reducción de turbidez (28,77) y en el bloque C (turbidez inicial de 42.3 NTU), presenta un mayor porcentaje de reducción de turbidez (45,4775).

➤ **Decisiones.**

Como se observó en la tabla N° 10 y figura N° 23, rechazamos la hipótesis nula de tratamiento y bloques, esto indica que existe diferencia significativa entre ellos.

➤ **Conclusiones.**

De lo mencionado anteriormente afirmamos que, la turbidez inicial del agua a tratar si influye significativamente en la reducción de turbidez y que la cantidad de mucilago de sábila influye en la reducción de turbidez teniendo así un efecto floculante natural.

4.7 Discusión de Resultados.

Según la figura N° 24 observamos que según se va aumentando la concentración de mucilago de sábila, va aumentando el porcentaje de reducción de turbidez hasta llegar a un máximo cuando se agrega 1,8 g/L empezando a disminuir cuando se agrega más sábila.

Podemos observar en la tabla N° 8, que en ningún caso se llegó a una turbidez ideal según lo indica el DS N° 031-2010-SA, que el agua para consumo humano debe ser como máximo de 5 NTU, esto puede llegarse aumentando el tiempo de sedimentación.

Según la tabla N.º 10, observamos que la sábila si tiene efectos coagulante floculante, pero que funciona a turbidez intermedia esto debido a que la sedimentación se hace más lenta según va aumentando la turbidez.

Además, se observa que el mucilago de sábila por si solo tiene una turbidez, el cual se ha considerado como turbidez del agua.

CONCLUSIONES

El mucilago de sábila presentó un poder coagulante que sirve para remover turbidez, en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano, pero no siendo lo suficiente para llegar a lo establecido en el DS N° 031-2010-SA, necesitándose sedimentadores más efectivos.

El mucilago de sábila en todos los tratamientos (Tabla N° 11) presento una considerable reducción de turbidez siendo el promedio en cada uno de los tratamientos $T_2=32,5600$; $T_3=34,9275$; $T_4=38,6275$; $T_5=39,7775$; $T_6=41,7625$; $T_7=45,8025$; $T_8=42,4425$, frente al tratamiento testigo que solo fue de $T_1=23,1375$.

La microcuenca de San Alberto, al igual que la mayoría de las cuencas de nuestra selva, presentan agricultura y ganadería, que es la principal causa de deforestación que tiene como consecuencia la erosión de los suelos, debido a las constantes lluvias y suelos expuestos, las partículas del suelo son arrastrados hacia los ríos o acuíferos, aumentando así la turbidez del agua, haciéndole no apta para el consumo humano.

El mucilago de sábila presenta un poder coagulante que sirve para remover turbidez, en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano llegándose a obtener un resultado óptimo a una concentración de mucilago de 1.8 g/l como se observa en la figura N° 24.

RECOMENDACIONES

Aumentar el tiempo de sedimentación para determinar el tiempo óptimo de floculación.

Realizar pruebas para encontrar el pH óptimo de floculación y así poder mejorar el efecto floculante de la sábila.

Realizar estudios para determinar el efecto a la salud humana, el uso de sábila como floculante del agua.

Identificar poblaciones rurales donde se puedan aplicar la sábila como floculante natural y pueda ayudar a mejorar la salud de la población humana.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDIA, Yolanda (2000). Tratamiento de agua, coagulación y floculación - Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico. Química. Lima, Perú. SEDAPAL.
- Metcalf & Eddy. (1996). Ingeniería de aguas residuales. México. Editorial McGraw-Hill. Tomo I.
- Nalco C.C. (1989). Realizo el Manual del agua, Su naturaleza, Tratamiento y aplicaciones. En la ciudad de México. Editorial Mc Graw Hill.
- Robles & Lucero, (2006). Realizo la investigación de Reducción del uso de floculante sulfato de aluminio mediante el uso de una combinación de floculantes naturales y sintéticos. México.
- Arboleda Valencia Jorge. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. Colombia. Editorial Mc Graw Hill. Tomo 1.
- Almendárez N. (2003). Comprobación de la efectividad del polímero natural. Nicaragua.
- Rev. Colomb. Biotecnol., Volumen 15, Número 1, p. 137-144, 2013.
- Artículo Científico: Paredes, D.J.; Buenaño-Allauca, M.P.; Mancera-Rodríguez, N.J.: Plantas medicinales, Los Ríos Ecuador.
- SEDAPAL. Tratamiento de agua coagulación y floculación. Lima 2006. Disponible:

http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

- RAMÍREZ, H, JARAMILLO, J. (2014). Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos. *Ingeniería Solidaria*. Vol. 10, no. 17, p. 139-151. Disponible: <http://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/813e-ISSN2357-6014>.
- OMS Informe acerca de los progresos sobre el agua potable y saneamiento, 2012. Disponible: <http://www.who.int/mediacentre/news/>.
- UNICEF. Water and Sanitation. UNICEF. 2014. Disponible: <http://www.unicef.org/spanish/wash/>.
- RAMÍREZ, H., JARAMILLO, J. Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. 2015. Vol. 11, no. 2, p. 136-153. Disponible: <http://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/download/1303/1359ISSN1900-4699>.
- GOMEZ Puentes, Néstor Alejandro (2005). Remoción de Materia Orgánica por Coagulación – Floculación. Trabajo de Titulación (Ingeniero Químico). Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Química, 17p.

- MARTINEZ GARCIA Jasser & GONZALES SILGADO Luis Enrique. Evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas. Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería Química. Tesis.2012. Cartagena.
- CHUN-YANG, Y (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry* 45 . vol. 1. Disponible en:
<http://d20uo2axdbh83k.cloudfront.net/20130403/e5f30167f9f6f27e78e4f24b7958d264.pdf>.
- Tech, M. (2012). Use of Aloe Vera as coagulant aid in Turbidity Removal. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 10(1), 314-317.
- SÁENZ, C.; SEPÚLVEDA, E.; MATSUHIRO, B. (2004). *Opuntia* spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments*, No 57, pp. 275-290.
- VAN BREEMEN, A. N. (2001). Water treatment conventional and advance treatment methods. *International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering*, 4ta Ed., University of Technology, Netherlands, pp. 30-45.
- ESPIGARES, M., FERNÁNDEZ-CREHUET, M. (1999). Calidad del agua para consumo público: caracteres físico-químicos en estudio sanitario del agua, Universidad de Granada, Granada, pp. 60-65.

- BABORA, R, FREIRE, R y OLIVERA W. (2014) Remoción de Turbidez de Aguas Usando Aloe Vera como Coagulante Natural.2, vol. 10, no. 12.

ANEXOS



Fotografía N° 1. Toma de muestra de agua



Fotografía N° 2. Extracción de mucilago de sábila

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escaia 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	mgL ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoníaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeso	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero
UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Fotografía N° 3. Límites máximos permisibles de calidad organoléptica