



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

TESIS

**“DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ Y COLOR
DEL AGUA CON EL SULFATO DE ALUMINIO /
COADYUVANTE NATURAL EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN
VILCACOTO – SEDAM HUANCAYO S.A.”**

PRESENTADO POR LA BACHILLER

RODRIGUEZ MARIN, KETTY

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

LIMA - PERÚ

2016

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación, está dedicado a Dios por bendecirme cada día de mi vida y brindarme la oportunidad de continuar mi trayectoria profesional; a mis padres, quienes siempre me brindaron su inmenso amor, su incondicional apoyo, su comprensión y gracias a ellos estoy logrando muchos objetivos en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Brindo un profundo agradecimiento a:

- A mis padres por el apoyo y comprensión que brindaron durante el desarrollo y culminación de mi trabajo de investigación.
- Dejo constancia de mi sincero agradecimiento a la Ingeniero Químico Ever Mallqui Canchumanya, por haber patrocinado el presente trabajo de tesis; por sus acertados consejos y enseñanzas para que la investigación se desarrolle adecuadamente.
- A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Alas Peruanas, quienes con sus sabias enseñanzas, han permitido que logre un escalón más en el mundo académico científico de la ingeniería en especial al Ing. Dante García Jiménez.
- A mis familiares y a todas las personas que de una u otra forma han colaborado conmigo para que el trabajo de tesis culmine satisfactoriamente.

RESUMEN

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo principal la disminución de la turbidez y color del agua con el Sulfato de Aluminio / coadyuvante natural en la planta de tratamiento de agua potable en Vilcacoto - SEDAM Huancayo S.A.; además se caracterizó los efluentes de la planta de tratamiento de agua potable para determinar su grado de concentración de la turbiedad y demás propiedades fisicoquímicas.

Estos análisis se realizaron con el objetivo de conocer las principales características fisicoquímicas del agua y así poder evaluar el cambio durante el tratamiento experimental.

El trabajo inicio con la extracción del almidón de yuca (el Coadyudante Natural) y la identificación del punto de muestreo de la toma de las aguas crudas superficiales (del río Shullcas); luego de ello se procedió a la toma de muestra para lo cual se tomó 20L de agua cruda y los cuales fueron colectados en envases de plástico de 10L y esto fue llevado al laboratorio de la misma planta de tratamiento de la empresa SEDAM Huancayo S.A.

El trabajo experimental se inició teniendo en cuenta las variables independientes (cantidad de reactivos y tiempo de agitación) dentro del cual debemos mencionar que se utilizaron dos tipos de reactivos químicos, el Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), y Coadyudante Natural para lo cual se tomaron tres niveles ($C = 0.36, 0.60$ y 1.15 g de reactivo; $t = 15, 30$ y 45 min.); la interacción entre las variables independientes generó 9 experimentos, obteniéndose un total de 18 experimentos contando con la repetición experimental.

Se caracterizó el efluente del agua cruda superficial en el ingreso de la planta de tratamiento de agua potable, los cuales dieron como resultado un

promedio de: pH de 7.82, 370 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad eléctrica Turbidez de 57.00 NTU y un color de 411.0 UCP; los cuales muestran las características de una agua cruda superficial.

Para el caso del Sulfato de Aluminio/Coadyudante Natural se pudo observar que a una dosis de 0.36g, con un tiempo de agitación de 30 min se disminuyó solo el 54.92% de turbidez y color, siendo este el porcentaje más bajo de remoción; también se pudo verificar que a una dosis de 0.60 g, con un tiempo de agitación de 15min se disminuyó el 98.78% de turbidez y color, siendo este el porcentaje más alto en disminuir.

De todo lo antes mencionado se pudo concluir que el reactivo con mayor eficiencia fue la mezcla de Sulfato de Aluminio y Coadyuvante Natural el cual pudo disminuir hasta un 98.78% el Turbidez y color en aguas cruda superficial que es destinada para la el consumo de la población Huancaína.

La autora

ABSTRACT

This research had as main objective the reduction of turbidity and color of water with aluminum sulfate / Natural adjunct in the treatment plant of drinking water in Vilcacoto - SEDAM Huancayo S.A .; plus effluent treatment plant water was characterized to determine their degree of concentration of turbidity and other physicochemical properties.

Hese analyzes are performed in order to identify the main physicochemical characteristics of water and be able to evaluate the change during the experimental treatment.

The work began with the extraction of cassava starch (the Natural Coadyudante) and identification of the sampling point of taking raw water surface (the Shullcas river); then it proceeded to sampling for which 20L raw water was taken and which were collected in plastic containers of 10L and this was taken to the laboratory of the same treatment plant the company SEDAM Huancayo S.A.

The experimental work was initiated taking into account the independent variables (quantity of reagents and stirring time) within which we should mention that two types of chemical reagents, Aluminum Sulfate ($Al_2(SO_4)_3$), and Coadyudante Natural were used to which three levels ($t = 15, 30$ and 45 min. $C = 0.36, 0.60$ and 1.15 g reagent) were taken; interaction between independent variables genus 9 experiments, yielding a total of 18 experiments with experimental repetition count.

The effluent surface raw water was characterized in the income of the treatment plant for drinking water, which resulted in an average pH of 7.82, 370 mS / cm electrical conductivity Turbidity of 57.00 NTU and color of 411.0 UCP; which show the characteristics of a raw water surface.

In the case of Aluminum Sulfate / Natural Coadyudante it was observed that at a dose of 0.36g with a stirring time of 30 min was decreased only 54.92% of turbidity and color, which is the lowest percentage of removal; It could also verify that at a dose of 0.60 g with a stirring time of 15 minutes 98.78% the turbidity and color is decreased, this being the highest in percentage decrease.

From all the above it was concluded that the reagent more efficiently was the mixture of aluminum sulfate and Natural Adjuvant which could decrease by 98.78% the Turbidity and color in surface raw water which is intended for consumption by the population huancaína.

The author

INTRODUCCIÓN

Los tratamientos para la purificación de agua superficial son de suma importancia para la sociedad, ya que de estos depende la calidad del agua para consumo humano, doméstico y usos de diferente índole. Si los tratamientos se aplican de manera correcta cada comunidad podría satisfacer un requerimiento esencial para la vida. Las grandes ciudades dependen de abastecimiento superficial y en la mayoría de los casos sus fuentes son corrientes, lagos o embalses. En el proceso de potabilización de las aguas, la clarificación es una de las etapas más importantes ya que permite la remoción de turbiedad de naturaleza coloidal en suspensión tales como arcilla, limo y lodos. Para lograr la clarificación del agua, es necesaria la utilización de agentes coagulantes así como coadyuvantes de coagulación, que permiten eliminar un porcentaje significativo de las partículas en suspensión (típicamente entre 80 y 90 %); este proceso es conocido como coagulación-floculación.

Los agentes convencionales basados en sales metálicas, se emplean polímeros utilizados como coadyuvantes de coagulación los cuales se clasifican en dos categorías: naturales y sintéticos. Los polielectrolitos naturales importantes incluyen polímeros de origen biológico, y los derivados del almidón, de la celulosa y alginatos. Según el tipo de carga al momento de introducirlo en el agua (negativo, positivo o neutro), se clasifican en polielectrolitos aniónicos, catiónicos y no iónicos, respectivamente. El almidón contiene generalmente alrededor del 20 % de una sustancia soluble en agua llamada amilosa y el 80 % de una insoluble conocida como amilopectina. Ambas fracciones corresponden a dos carbohidratos diferentes, de peso molecular elevado.

El propósito de la presente investigación es comprobar la disminución de la turbidez y color del agua con un polímero natural basado en almidón extraído de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) con sulfato de aluminio

comercial, comparando la eficiencia de remoción de partículas suspendidas con la eficiencia alcanzada con solamente sulfato de aluminio grado comercial. Para evaluar la eficiencia, se utilizaron muestras de agua superficial de un río de importancia en la región Junín, el Río Shullcas.

En este trabajo de investigación se llevaron a cabo experimentos de prueba de jarras para la obtención de la dosis óptima de sulfato de aluminio. Una vez obtenida la dosis óptima, se procedió a emplear 6 mezclas en proporciones diferentes del polímero natural a base de almidón de yuca más sulfato de aluminio, de modo que la concentración de la mezcla coincidiera con la concentración en el sulfato de aluminio de grado comercial. Como resultado, se compararon las eficiencias de disminución de turbidez y color de cada una de las mezclas con la dosis óptima del sulfato de aluminio de grado comercial.

El Autor.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	vii

CAPÍTULO I

PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.	Descripción de la realidad problemática	01
1.2.	Delimitación de la Investigación	02
1.2.1.	Delimitación Espacial	02
1.2.2.	Delimitación temporal	02
1.2.3.	Delimitación Social	02
1.2.4.	Delimitación Cuantitativa	03
1.3.	Formulación del problema	03
1.3.1.	Problema general	03
1.3.2.	Problemas específicos	03
1.4.	Objetivos de la investigación	04
1.4.1.	Objetivo general	04
1.4.2.	Objetivos específicos	04
1.5.	Hipótesis de la Investigación	04
1.5.1.	Hipótesis nula, H_a .	04
1.5.2.	Hipótesis alterna, H_o .	04
1.6.	Variables e Indicadores	05
1.6.1.	Variable Independiente	05
1.6.2.	Variable Dependiente	05
1.7.	Justificación e Importancia de la investigación	05
1.7.1.	Justificación de la Investigación	05
1.7.2.	Importancia de la Investigación	06

1.8.	Tipo y nivel de la Investigación	07
1.8.1.	Tipo de la Investigación	07
1.8.2.	Nivel de la Investigación	08
1.9.	Método y Diseño de la Investigación	08
1.9.1	Método de la Investigación	08
1.9.2.	Diseño de la Investigación	10
1.10.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información	11
1.10.1.	Técnicas	11
1.10.2.	Instrumentos	11
1.11.	Población y muestra	12
1.11.1.	Población	12
1.11.2.	Muestra	12
1.11.3.	Técnica de muestreo	12

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de la Problemática	13
2.2.	Antecedentes de la Investigación	14
2.3.	Bases Teóricas	15
2.3.1.	El agua y el medio ambiente	15
2.3.2.	Fuentes de agua	17
2.3.3.	Calidad de agua	19
2.3.4.	Contaminación del agua	44
2.3.5.	Procesos de potabilización del agua	50
2.3.6.	Productos Químicos coagulantes y floculantes	58
2.3.7.	Aluminio y sus efectos en la salud humana	61
2.3.8.	Coagulantes naturales	62

CAPÍTULO III MATERIALES Y METODOS

3.1.	Lugar de estudio	67
3.2.	Toma de muestra	68
3.2.1.	Programa de muestreo	68
3.2.2.	Tiempo de muestreo	70
3.3.	Preparación de muestras del agua	71
3.4.	Determinación del pH	72
3.4.1.	Fundamento	72
3.4.2.	Reactivos	72
3.4.3.	Equipos y Materiales	73
3.4.4.	Procedimiento	73
3.5.	Determinación de la conductividad eléctrica	73
3.5.1.	Fundamento	73
3.5.2.	Reactivos	74
3.5.3.	Equipos y Materiales	74
3.5.4.	Procedimiento	74
3.6.	Determinación de turbiedad	75
3.6.1.	Fundamento	75
3.6.2.	Reactivos	76
3.6.3.	Equipos y Materiales	76
3.6.4.	Procedimiento	77
3.6.5.	Criterios de Evaluación	78
3.7.	Determinación del color	79
3.7.1.	Fundamento	79
3.7.2.	Equipos y materiales	79
3.8.	Extracción de coagulante natural	80
3.8.1.	Fundamento	80
3.8.2.	Equipos y materiales	80
3.8.3.	Procedimiento	80
3.8.4.	Preparación de la solución del coagulante natural	81

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.	Resultados de la toma de muestra	82
4.1.1.	Capacidad de remoción de turbidez y color	95
4.1.2.	Modificación del pH en el efluente	101
CONCLUSIONES		109
RECOMENDACIONES		110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		111
ANEXOS		113
ANEXO N° 1:	Fotografías	114
ANEXO N° 2:	Manual PTAP	120

INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1:	Conductividad del agua	26
TABLA N° 2:	Margen de Turbiedad	78
TABLA N° 3:	Color del agua aceptable para consumo humano	80
TABLA N° 4:	Contenido de datos iniciales y finales con $Al_2(SO_4)_3$ / coadyudante natural en la disminución de la turbiedad y color en la P.T.A.P. de la empresa SEDAM- HUANCAYO.	83
TABLA N° 5:	Análisis de variancia (ANVA) para la turbidez y color en agua con el $Al_2(SO_4)_3$ / coadyuvante natural en la P.T.A.P. en Vilcacoto SEDAM HUANCAYO S.A. (Año 2014)	84
TABLA N° 6	Prueba de comparación Tuckey para dosis de los reactivos (sulfato de aluminio / coadyudante natural) en la disminución de turbidez y color en la P.T.A.P. de la empresa SEDAM HUANCAYO S.A.	85
TABLA N° 7:	Prueba de comparación Tuckey para tiempo de exposición al reactivo en la disminución de turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM – HUANCAYO S.A.	88
TABLA N° 8:	Prueba de comparación Tuckey para la interacción tipo de reactivo: tiempo de exposición al reactivo, en la disminución de turbidez y color aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.	90
TABLA N° 9:	Análisis de variancia (ANVA) para capacidad de disminución de turbidez y color mediante tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM – HUANCAYO S.A (Año 2014)	95
TABLA N° 10:	Prueba de comparación Tuckey para efecto de dosis de sulfato de aluminio/coadyudante natural sobre la capacidad de remoción de turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.	98
TABLA N° 11:	Prueba de comparación Tuckey para tiempo de	

reacción en la capacidad de disminución de turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A, mediante sulfato de aluminio / coadyudante natural.	99
TABLA N° 12: Prueba de comparación Tuckey para interacción dosis de reactivo por tiempo de reacción, en la capacidad de disminución de la turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.	100
TABLA N° 13: Análisis de variancia (ANVA) para cambio de pH en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014) por efecto de la Disminución de la turbidez y color mediante tratamiento químico.	102
TABLA N° 14: Prueba de comparación Tuckey para diferencia de pH en la capacidad de disminución de la Turbidez y color mediante Sulfato de Aluminio/Coadyudante Natural en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.	104
TABLA N° 15: Prueba de comparación Tuckey para diferencia de pH en la capacidad de disminución de turbidez y color mediante Sulfato de Aluminio/Coadyudante Natural en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A por efecto del tiempo de reacción.	105
TABLA N° 16: Prueba de comparación Tuckey para efecto de número de repeticiones sobre la diferencia de pH, en la capacidad de disminución de turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.	106
TABLA N° 17: Prueba de comparación Tuckey para interacción dosis de reactivo (Sulfato de Aluminio/Coadyudante Natural) por tiempo de reacción, sobre el cambio de pH en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.	107

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1:	Contenido medio después de turbidez y color del agua con el sulfato de aluminio / coadyudante natural en la PTAP (Año 2014)	85
FIGURA N° 2:	Contenido medio de Turbidez (NTU) Y Color (UPC) por efecto de dosis de reactivo (sulfato de aluminio / coadyudante natural), luego de la disminución de turbidez y color en el agua de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A. (Año 2014).	86
FIGURA N° 3:	Contenido medio de turbidez y color por efecto de interacción de reactivo y dosis de reactivo en la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A. (Año 2014).	87
FIGURA N° 4:	Contenido medio de turbidez y color por efecto de interacción de tipo de reactivo y dosis de reactivo, en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A. (Año 2014).	88
FIGURA N° 5:	Contenido medio de turbidez y color por efecto de tiempo de exposición, luego del tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A. (Año 2014).	89
FIGURA N° 6:	Contenido medio de turbidez y color por efecto de interacción tipo de reactivo por dosis de reactivo, luego del tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014).	91
FIGURA N° 7:	Contenido medio de turbidez y color por efecto de tipo de reactivo y tiempo de exposición, luego de la tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014).	92
FIGURA N° 8:	Contenido medio de turbidez y color por efecto de interacción tiempo de exposición y tipo de reactivo, luego de la tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014).	93
FIGURA N° 9:	Contenido medio de turbidez y color por efecto de	

	interacción tiempo de exposición y dosis de reactivo, luego de la tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014)	94
FIGURA N° 10:	Capacidad de disminución de la turbidez y color del tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014), mediante tratamiento químico con sulfato de aluminio y coadyudante natural.	96
FIGURA N° 11:	Efecto de la dosis de sulfato de aluminio / coadyudante natural sobre la capacidad de disminución de la turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014)	97
FIGURA N° 12:	Efecto de la dosis de sulfato de aluminio / coadyudante natural sobre la capacidad de disminución de turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014)	98
FIGURA N° 13:	Prueba de comparación Tuckey para tiempo de reacción en la capacidad de disminución de turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A, mediante sulfato de aluminio / coadyudante natural.	100
FIGURA N° 14:	Comparación múltiple para efecto de interacción dosis (g) de reactivo por tiempo de reacción (min), en la capacidad de disminución de turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.	101
FIGURA N° 15:	Efecto de la dosis de reactivo (Sulfato de Aluminio / Coadyudante Natural) en la diferencia de pH en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.	103
FIGURA N° 16:	Efecto del tiempo sobre la diferencia de pH del	

efluente del en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM- HUANCAYO S.A, tratado con Sulfato de Aluminio / Coadyudante Natural.	104
FIGURA N° 17: Efecto del número de repeticiones sobre la diferencia de pH en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM- HUANCAYO S.A, tratado con Sulfato de Aluminio / Coadyudante Natural.	106
FIGURA N° 18: Efecto de la interacción dosis de reactivo (Sulfato de Aluminio / Coadyudante Natural) por tiempo de reacción, sobre el cambio de pH en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.	107

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA:

Motivados 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 siendo tan esencial, 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 Huancaína consume agua de poca calidad y no lo suficiente para su consumo; en sectores lejanos el agua potable por la accesibilidad del lugar no llega. 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.

En base a esta información se concluye que la coagulación es una etapa crítica en la captación del agua cruda, y solo puede conseguirse mediante la adición de un agente coagulante, capaz de neutralizar las cargas electroestáticas de los coloidales suspendidos en el agua, permitiendo su aglomeración hasta formar macropartículas de fácil sedimentación. En la actualidad, los coagulantes usados, son en su mayoría sales metálicas y polielectrólitos sintéticos. Dado que estos químicos son arrastrados al sedimentar, los lodos generados durante el proceso se convierten en un problema ambiental. Por otro lado, en altas dosis pueden llegar a ser tóxicos. Además, al ser productos especializado y de alta demanda comercial poseen un precio considerable.

Por estas razones, se considera oportuno buscar fuentes naturales para la producción de coagulantes amigables con el medio ambiente y más accesibles a las economías de la población huancaína. 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 este proyecto, donde se pretende obtener un coagulante natural, a partir de la yuca (*Manihot Esculenta*) útil para la remoción de la turbidez y el color en aguas crudas.

1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:

1.2.1. Delimitación Espacial.

La muestra se extraerá del ingreso de agua cruda a la de Planta de tratamiento de aguas potable Vilcacoto - SEDAM HUANCAYO S.A. ubicada en el distrito del Tambo - Provincia de Huancayo - Departamento de Junín.

1.2.2. Delimitación Temporal.

El presente trabajo de investigación se efectuara en un lapso de dieciséis meses.

1.2.3. Delimitación Social.

Al realizar el tratamiento en la Planta de tratamiento de agua potable Vilcacoto – por la empresa SEDAM HUANCAYO S.A. contribuye en no generar contaminación y esto a su vez beneficia a las poblaciones ubicadas en la ciudad de Huancayo.

1.2.4. Delimitación Cuantitativa.

En el presente trabajo de investigación, tuvo en cuenta el caudal del agua cruda del Rio Shullcas al ingreso a la P.T.A.P; para ello se tomó 20 L de muestra para todo el desarrollo del trabajo experimental.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

1.3.1. Problema Principal.

¿Cuál es la influencia de la cantidad del sulfato de aluminio/coadyuvante natural y el tiempo en la disminución de la turbidez y color en la la planta de tratamiento de aguas potable VILCACOTO - SEDAM HUANCAYO S.A.?

1.3.2. Problemas Específicos.

- ¿Cuál son las Características fisicoquímicas de las aguas crudas y tratadas de la planta de tratamiento de aguas potable Vilcacoto - SEDAM HUANCAYO S.A?
- ¿Cuál es el efecto que posee el sulfato de aluminio y coadyuvante natural en el sistema coloidal del agua proveniente de las fuentes de captación de la planta de tratamiento de aguas potable?
- ¿Cuál será las pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para evaluar la eficiencia del coadyuvante natural?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General.

Disminución de la turbidez y color de la concentración de sulfato de aluminio y coadyuvante natural en la planta de tratamiento de aguas potable Vilcacoto-SEDAM Huancayo S.A

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Caracterización fisicoquímico de las aguas crudas de la planta de tratamiento de aguas potable Vilcacoto -SEDAM HUANCAYO S.A.
- Analizar el efecto del sulfato de aluminio/coadyuvante natural en el sistema coloidal de las aguas provenientes de las fuente de captación de la planta de tratamiento de aguas potable Vilcacoto -SEDAM HUANCAYO S.A.
- Realizar las pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para evaluar la eficiencia del coadyuvante natural.

1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Hipótesis nula, Ha:

Se lograra Disminuir la turbidez y color mediante el sulfato de aluminio y coadyuvante natural planta de tratamiento de aguas potable Vilcacoto - SEDAM HUANCAYO S.A.

1.5.2. Hipótesis alterna, Ho:

No lograra Disminuir la turbidez y color mediante el sulfato de aluminio y coadyuvante natural de la planta de tratamiento de aguas potable Vilcacoto - SEDAM HUANCAYO S.A.

1.6. VARIABLES E INDICADORES

1.6.1. Variable Independiente (X)

Cantidad de reactivo químico/Natural. Tiempo.

A. Indicadores

Tipo de reactivo químico/Natural.

1.6.2. Variable Dependiente (Y)

Concentración de Turbidez y Color.

A. Indicadores

Concentración de turbidez y Color.

1.7. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. Justificación de la Investigación.

Este trabajo de investigación busca obtener alternativas de solución a la problemática de potabilización de aguas para consumo, El sistema de tratamiento de las aguas en el proceso de coagulación/floculación utiliza coagulante como sulfato de aluminio y se ha reportado que en análisis realizados a muestras de aguas potabilizadoras se encontró trazas de sulfato de aluminio, lo que indica que el control en cuanto a la adición de esta sustancia cantidades elevadas representa así un riesgo potencial para la salud humana estos efectos que ocasiona serán neurológicos adversos, principalmente manifestado en la enfermedad del Alzheimer.

En el proceso de potabilización de agua cruda que abastece a Huancayo y sus distritos se llegan a emplear hasta 15 Tn de sustancias químicas por año. Debido a que el 75% de estos reactivos son empleados para el proceso de coagulación y floculación, es importante la búsqueda de nuevas alternativas que puedan resultar en mayor eficiencia del proceso.

Con el coadyuvantes naturales (almidón de yuca) será capaz de remover partículas suspendidas del agua permitiendo disminuir la dosis de sulfato de aluminio en remoción de sólidos suspendidos y también la reducción de cloro necesaria en la etapa de desinfección y con este tratamiento se podrá reducir el uso del sulfato de aluminio. Esto implica también un ahorro económico para el tratamiento y para la población en el pago de su servicio de consumo de agua potable.

Lo que se busca con este proyecto, es llevar a cabo una comparación entre el uso de Sulfato de Aluminio y coadyuvantes naturales con el fin de minimizar los efectos negativos de sólidos suspendidos en el proceso de potabilizar. También con el trabajo se pretende evaluar la efectividad del Sulfato de Aluminio y coadyuvantes naturales en el tratamiento de aguas superficiales, basado en los estándares de calidad que reglamente el uso de los cuerpos de agua. Las nuevas tecnologías para tratamiento y potabilización de aguas apuntan al uso de productos que permitan obtener el máximo beneficio con mínimos impactos al ambiente y a la salud humana.

1.7.2. Importancia de la Investigación.

La elaboración de esta investigación es importante debido a que en los últimos años, se ha acentuado la contaminación de los cuerpos de agua, debido al manejo inadecuado de las aguas superficiales para la potabilización.

La propuesta es disminuir la turbidez y color en las aguas para consumo humano en la captación por un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes (Sulfato de Aluminio y coadyuvante natural), se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial y el compuestos esta presentes en el agua que se quiere finalmente remover los turbidez y color es de gran importancia en el desarrollo de la tecnologías limpias, sustentables ye responsables para mantener el equilibrio del medio ambiente y principalmente ayudar a facilitar la calidad de las aguas superficiales para su potabilización.

Por otra parte los coadyuvantes naturales son los más ventajoso pues pese a ser necesarios en dosis más elevadas generalmente tienen un costo inferior al uso de los polielectrolitos sintéticos y el tratamientos de sus residuos son más fácil y no afectan al medio ambiente.

Es evidente en el sentido económico que se podría realizar ahorros en la inversión por consumibles empleados en la potabilización del agua cruda, disminuyendo el costo de operación por m³ de agua tratada.

La investigación servirá para saber que el reactivo químico/natural es más óptimo en la disminución de la turbidez y color, esto será un antecedente para las posteriores investigaciones que se darán con este determinado problema.

1.8. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1. Tipo de la Investigación.

El tipo de investigación que se utilizara es la investigación experimental, para analizar el efecto producido por la acción o manipuleo de las variables independientes (cantidad de reactivo químico/natural y el tiempo) sobre la variable dependiente (concentración de Turbidez y color).

1.8.2. Nivel de la Investigación.

De acuerdo a la naturaleza de la investigación reúne por su nivel las características de un estudio experimental, donde se tiene por finalidad explicar el comportamiento de las variables independientes (cantidad de reactivo químico/natural y tiempo), encontrando relación causa - efecto. Donde se requiere un control metodológico y estadístico.

1.9. MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.9.1. Método de la Investigación

El método de la investigación será experimental:

El trabajo se iniciara con el laboratorio de la P.T.A.P. de la empresa SEDAM-Huancayo S.A. con su equipo de pruebas jarras el cual permitirá controlar las variables independientes en la disminución de la Turbidez y color mediante el uso de dos tipos de reactivos químicos y natural.

Paso seguido se iniciara un muestreo en el sistema de captación de aguas crudas superficiales en la planta de tratamiento de aguas potables en la empresa SEDAM HUANCAYO S.A – Vilcacoto de la región Junín. En el cual se tomaran muestras al azar con capacidad de cada muestra de 6L.

Las muestras de agua tomadas en el sistema de captación de aguas crudas superficiales en la planta de tratamiento de aguas potables en la empresa SEDAM HUANCAYO S.A – Vilcacoto de la región Junín serán caracterizadas en forma fisicoquímica, dentro de los cuales se analizaran los parámetros in situ con instrumentos portátiles: pH, CE, OD, Temperatura, (Se tomaran de dos a tres lecturas para garantizar la fiabilidad de las lecturas registradas en el instrumento) y en laboratorio con el equipo turbidímetro y colorímetro se mide la turbiedad y el color.

Luego de haber sido caracterizadas las aguas de la P.T.A.P. SEDAM HUANCAYO S.A – Vilcacoto se procederá al tratamiento experimental en el cual se dividirán las muestras en grupos tal como se muestra en el diseño experimental ($2^3 = 8$, tres niveles, 2 variables independientes) variando en este caso el cantidad de reactivo químico/natural y el tiempo de agitación.

En el primer tratamiento se pondrá 200ml de la muestra de aguas crudas superficiales al cual se le agregara Sulfato de Aluminio e coadyuvante 0.36g, y se iniciara el proceso de precipitación tomando tres tiempos de muestreo (15, 30 y 45 minutos), en la cual se determinara el tiempo óptimo de precipitación máxima de la turbidez.

En el segundo tratamiento se pondrá 200ml de la muestra de aguas crudas superficiales al cual se le agregara Sulfato de Aluminio e coadyuvante 0.60g, y se iniciara el proceso de precipitación tomando tres tiempos de muestreo (15, 30 y 45 minutos), en la cual se determinara el tiempo óptimo de precipitación máxima de la turbidez. En el tercer tratamiento se pondrá 200ml de la muestra de aguas crudas superficiales al cual se le agregara Sulfato de Aluminio e coadyuvante 1.15g, y se iniciara el proceso de precipitación tomando tres tiempos de muestreo (15, 30 y 45 minutos), en la cual se determinara el tiempo óptimo de precipitación máxima de la turbidez.

Estos tratamientos se realizaran con una repetición para tener mayor precisión en los resultados, también se desarrolla 4 blancos con un tiempos de 45 min y con una cantidad de 0.36 y 0.60g de Sulfato de Aluminio e coadyuvante en agua destilada el cual nos permitirá una mejor discusión de resultados.

Finalizada esta fase se determinara la cantidad y el tiempo óptimo en la Disminución de la turbidez y el color.

En todas estas etapas se analizaran los parámetros fisicoquímicos antes mencionados.

1.9.2. Diseño de la Investigación.

Para la investigación se utilizara un diseño experimental del tipo factorial, en el cual se estimarán los efectos de 2 factores experimentales que son la cantidad y el tiempo de agitación sobre la variable dependiente (disminución de la Turbidez y Color).



Dónde: $C_1 = 0.36 \text{ g}$; $C_2 = 0.60 \text{ g}$; $C_3 = 1.15 \text{ g}$
 $t_1 = 15 \text{ min}$; $t_2 = 30 \text{ min}$; $t_3 = 45 \text{ min}$

1.10. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

1.10.1. Técnicas

Investigación bibliográfica, observación de Campo y en contacto directo del investigador con la entorno.

1.10.2. Instrumentos

Se debe recopilar información acerca de los fenómenos que nos interesa conocer haciendo uso de ciertos instrumentos, el investigador debe observar el comportamiento de las variables y entonces empleará instrumentos o guías de observación, esta es la prueba de medición de los aprendizajes referida a un criterio.

1.11. POBLACIÓN Y MUESTRA

1.11.1. Población

Se considera a la población a las aguas crudas superficiales del río Shullcas. Captadas por la empresa P.T.A.P. en Vilcacoto - SEDAM HUANCAYO.

1.11.2. Muestra

Las muestras de agua aguas crudas superficiales (Aguas obtenidos del sistema de captación), de la empresa P.T.A.P. en Vilcacoto - SEDAM HUANCAYO.

1.11.3. Técnica de muestreo

Los métodos de muestreo consisten en la extracción de una porción considerada como representativa de una masa de agua residual con el propósito de examinar diversas características definidas.

La eficaz realización de un análisis empieza con el cuidado que se debe tener al tomar la muestra de agua cruda superficial.

Para el presente trabajo se realizara un muestreo Compuesto, el cual son las mezclas de muestras simples recogidas en el mismo punto en distintos momentos, cuyo volumen en la composición es proporcional al caudal. Se suelen denominar como muestras compuesta - tiempo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA:

La Ciudad de Huancayo se encuentra ubicada a 3271 m.s.n.m., en la cuenca alta del río Mantaro, y con una importante sub cuenca que es el Río Shullcas, Departamento de Junín, a 176 Km. al este de Lima. La Empresa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Municipal de Huancayo Sociedad Anónima, también denominado SEDAM HUANCAYO S.A., tiene su origen de creación desde hace más o menos tres lustros atrás. La empresa filial SEDA JUNIN, dando inicio a sus actividades desde el 14 de noviembre de 1990 y constituyéndose formalmente por escritura pública con fecha 10 de mayo de 1991. En aquella oportunidad SEDAM JUNIN estuvo conformada por las municipalidades provinciales de Concepción, Chanchamayo, Huancayo, Jauja, Tarma y Yauli.

Posteriormente por escritura pública de fecha 15 de junio de 1992 se formaliza la modificación estatutaria de SEDA JUNIN, a la denominación de empresa de servicios de agua potable y alcantarillado municipal - SEDAM Huancayo S.A.

La localidad de Huancayo se abastece de fuentes de agua superficial y subterránea. El Río Shullcas representa la principal fuente de abastecimiento de agua para el consumo humano de la Ciudad. Su caudal promedio en épocas de avenida alcanza los 5 m³/s y en estiaje su caudal baja hasta 1.5 m³/s El tratamiento se realiza a través de la Planta de Agua ubicada en el Anexo de Vilcacoto, del tipo convencional, que en el transcurso del tiempo se le fue adicionando unidades de tratamiento.

La Planta de Tratamiento de Vilcacoto inicialmente en el año 1950 tuvo una capacidad nominal de 110 l/s, posteriormente fueron construidos 3 floculadores verticales cuya capacidad de diseño es de 450 l/s y en el año 1995 se construyeron 7 filtros rápidos de tasa declinante de auto lavado mutuo. Cuenta con las siguientes unidades de tratamiento: desarenador, dosificadores y mezcla rápida, 4 floculadores, 2 sedimentadores de flujo horizontal, 7 filtros rápidos de arena.

2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Potencial Coagulante para Clarificar Aguas Superficiales

Autor: José Ramón Laines Canepa y Otros.

En este trabajo se utilizaron un tratamiento con el uso de agentes químicos como el sulfato de aluminio permite remover una proporción significativa de los sólidos suspendidos, clarificando el agua para su potabilización posterior. En este estudio se compararon mezclas con potencial coagulante compuestas por almidón y sulfato de aluminio grado comercial, que permitirían reducir la cantidad sulfato de aluminio usado en plantas de tratamiento de agua. Mediante prueba de jarras se determinó la dosis óptima del sulfato de aluminio, en la clarificación de una muestra de agua de río. Esta dosis, sirvió como base para la preparación de seis mezclas con distintas composiciones de almidón y sulfato de aluminio. En cada tratamiento se midieron tres parámetros fisicoquímicos relevantes en ensayos de coagulación-floculación. Los resultados indican que la mayor reducción de color (94 % de eficiencia) se obtuvo con el tratamiento 2. La remoción de color en los tratamientos 3 y 4, son estadísticamente iguales al tratamiento 1 de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Dunnett. En cuanto a la remoción de turbiedad se observa que los tratamientos 1 y 2 son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Dunnett, con una reducción del 98.7 y 97.9 % respectivamente. Finalmente, el pH no varió significativamente para todos los tratamientos.

Acción de Distintos Coagulantes para la Eliminación de *Cryptosporidium* spp. en el Proceso de Potabilización del Agua

Autores: B. Abramovich, M.C. Lura, E. Carrera y Otros

En este trabajo presentaron una alternativa para la eliminación de *Cryptosporidium* que es uno de los microorganismos de mayor interés desde el punto de vista de la Salud Pública y constituye un problema prioritario para las plantas y organismos reguladores de agua. Debido a su pequeño tamaño y a su resistencia a la cloración, la eliminación por el proceso de potabilización es una tarea compleja. En este trabajo se analizó la efectividad de distintos coagulantes utilizados comúnmente en tal proceso para lograr la remoción de los quistes. Se trabajó con la prueba de jarras (Jar Test). Se halló que: 1) Los coagulantes con agregado de polímeros coadyuvantes producen remociones de quistes superiores a 2 log. 2) Un valor bajo de turbiedad no asegura una remoción óptima de los parásitos. 3) La adición de polielectrolitos al cloruro férrico disminuye la variabilidad tanto en la turbiedad final como en la eliminación de *Cryptosporidium*.

2.3. BASES TEÓRICAS

2.3.1. El agua y el medio ambiente.

Algunas teorías señalan que la vida comenzó en el agua, por lo que es reconocida como la fuente de la vida. Las teorías sostienen que el origen de la vida en nuestro planeta tuvo lugar en el mar, y también que las riberas de los cuerpos de agua naturales fueron los sitios ideales para el asentamiento de las poblaciones dedicadas a la agricultura y la pesca, siendo actualmente sitios de desarrollo urbano e industrias.

Las aguas naturales de la hidrosfera por lo común son soluciones de diferente complejidad. Esto se debe al estrecho contacto que tiene el agua natural con los compuestos químicos del medio ambiente (aire y suelo). El agua de lluvia contiene gases disueltos de la atmósfera y, algunas veces, contaminantes del aire disueltos. El agua de ríos y lagos contiene minerales disueltos, gases atmosféricos y diversos compuestos químicos liberados por el hombre.

Los compuestos químicos de las aguas naturales contribuyen a determinar las propiedades importantes del agua. Algunos de tales compuestos son vitales para las plantas y los animales acuáticos. Por otro lado, varios de estos compuestos químicos interfieren con el uso al que se destina el agua y, por tanto, se les considera contaminantes. Contaminante es toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera (agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento ambiental), altera o modifica su composición natural y degrada su calidad.

La contaminación es provocada por la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o cualquier combinación de ellos que perjudiquen o resulten nocivos a la vida, la flora o la fauna, o que degrade la calidad de la atmósfera, del agua, del suelo o de los bienes y recursos naturales en general (**Ramos Olmos, Sepúlveda Marqués, & Villalobos Moreno, 2002**).

2.3.2. Fuentes de agua.

A. Aguas superficiales

Se denominan genéricamente aguas superficiales a las que proceden de la precipitación y circulan por arroyos o ríos o se almacenan en lagunas y lagos. Comprenden todas las aguas continentales (excepto las subterráneas), las aguas de transición y las aguas costeras (**Murillo Díaz & Navarro Ibáñez, 2008**) Aguas subterráneas

Se conocen como aguas subterráneas todas aquellas que se han infiltrado y se encuentran en el subsuelo y, tras alcanzar la zona saturada, quedan almacenadas en los poros, fisuras y cavidades de las rocas. Pueden circular desde las zonas más elevadas (de mayor energía potencial) hacia las zonas más bajas (de menor energía potencial) hasta encontrar una vía de salida a la superficie (manantial), o bien hasta alcanzar directamente el mar (**Murillo Díaz & Navarro Ibáñez, 2008**).

B. Aguas cruda

En la naturaleza, el agua pura como tal no existe, ya que esta recoge impurezas mientras pasa a través del aire, los ríos y quebradas. Estas impurezas provienen del suelo y descargas de aguas residuales domésticas e industriales, luego las transporta a lagos, embalses y mares. Aunque, en todo cuerpo de agua ocurre una purificación natural gracias a la sedimentación y muerte de las bacterias patógenas, en ningún caso puede considerarse una fuente carente de contaminación. El agua cruda es el agua tal

como se encuentra, en estado natural, sin tratamiento alguno. Se pueden identificar como fuentes de agua cruda a los cursos superficiales o subterráneos, entre ellos, los ríos, arroyos, lagos, lagunas y acuíferos, los cuales son usados por el hombre para abastecerse (**Guzmán L, Tarón A & Núñez A, 2007**).

C. Agua de mar

El agua de mar, disponible en cantidad casi ilimitada, se puede transformar en agua dulce por diversos procesos. No obstante, los costos de conversión (sin contar los de eliminación del residuo de sal que se genera) son quizá de dos a cinco veces más altos que los del tratamiento del agua dulce. (**Ramos Olmos, Sepúlveda Marqués, & Villalobos Moreno, 2002**).

Desalinización, es el término general que se emplea para describir la extracción de las sales disueltas en el agua. La destilación, que es la técnica de desalinización más antigua, depende de la evaporación y condensación del agua. El proceso consume mucha energía, pero el uso de la energía solar para evaporar el agua puede resultar práctica en países con abundante luz solar. Otro método, el de congelación, reduce la temperatura del agua hasta que se pueden separar de la salmuera cristales de hielo libres de sal. La electrodiálisis implica el movimiento forzado de iones con carga a través de membranas permeables a los cationes o los aniones, esto por aplicación de un potencial eléctrico a una celda que contiene agua mineralizada. La ósmosis inversa emplea membranas que son permeables sólo al agua; sin embargo, en este caso la fuerza impulsora

es la presión que suministran las bombas. Este proceso parece promisorio porque los costos energéticos son inferiores a los de otras tecnologías. En la actualidad se utilizan ampliamente plantas desalinizadoras para el abastecimiento de agua municipal en el Medio Oriente. El uso futuro tendrá lugar en las áreas con escasez extrema de agua dulce, en particular para usos industriales (**Glynn & Heinke, 1999**).

2.3.3. Calidad del agua.

El estudio de la calidad del agua es esencial, pues el uso del recurso se intensifica cada día, al mismo tiempo que las actividades de la sociedad moderna incrementan su contaminación.

El ciclo hidrológico es el movimiento del agua en la Tierra. Por ese medio, se transportan materiales y energía, pasando el agua por diferentes estados: líquido, sólido y gaseoso. En el ciclo hidrológico intervienen tres procesos: evaporación, precipitación y escorrentía superficial.

La calidad del agua se puede describir por mediciones cuantitativas de parámetros físicos-químicos, o mediciones cualitativas de parámetros biológicos. Los parámetros físicos utilizados son: sólidos suspendidos, turbiedad, color, olor, sabor y temperatura. Los parámetros químicos están relacionados con la capacidad de solvencia del agua; dentro de los más utilizados están: sólidos disueltos, alcalinidad, dureza, metales, sustancias orgánicas, y nutrientes. Finalmente, los parámetros biológicos complementan la descripción de la calidad el agua, basándose para ello en individuos considerados patógenos.

La naturaleza tiene sus propios mecanismos de purificación, por medio de los cuales busca restablecer sus niveles naturales de calidad. Los procesos naturales de purificación se clasifican en: procesos físicos, químicos, y biológicos. Dentro de los procesos físicos, tenemos la dilución, la sedimentación, la transferencia de gases, de calor y la filtración. Los procesos químicos se reducen a reacciones químicas, las cuales se denominan en términos generales como reacciones de oxidación o de reducción. Por otra parte, los procesos biológicos son aquellos en que, por mediación biológica se logra alguna reacción química. La mediación biológica proporciona energía y se denomina metabolismo.

Los contaminantes del agua se clasifican según su fuente o su origen; en el primer caso tenemos los contaminantes domésticos e industriales, en el segundo caso, tenemos los contaminantes físicos, químicos y biológicos.

El tratamiento de aguas se realiza según sea el uso del agua: potable, recreación, o riego, entre otros. El tratamiento de aguas residuales consta de tres etapas: tratamiento primario, secundario y terciario. El tratamiento de agua potable involucra eliminación de sólidos suspendidos o disueltos y desinfección (**Campos Gómez, 2003**).

A. Parámetros físicos de calidad de las aguas

- **Sabor y olor**

El sabor y olor del agua son determinaciones organolépticas de determinación subjetiva, para las cuales no existen instrumentos de observación, ni registro, ni unidades de medida. Tienen un interés

evidente en las aguas potables destinadas al consumo humano. Las aguas adquieren un sabor salado a partir de los 300 ppm de Cl^- , y un gusto salado y amargo con más de 450 ppm de SO_4^{2-} . El CO libre le da un gusto picante. Trazas de fenoles u otros compuestos orgánicos le confieren un color y sabor desagradables (**Rigola Lapeña, 1990**).

- **Color**

Se supone que el agua pura no tiene color; sin embargo, los sólidos suspendidos, así como los disueltos en el agua, determinan su color. Los sólidos suspendidos brindan un color denominado aparente, mientras que los sólidos disueltos proporcionan el color verdadero.

Los ácidos húmicos, la madera, las hojas, los óxidos de hierro, los óxidos de manganeso son, entre otros, los elementos que proporcionan diferentes colores al agua.

Dentro de los impactos en el cuerpo de agua, que se pueden citar se tienen los siguientes:

- No brinda apariencia estética;
- El agua con ciertos colores no se puede utilizar en algunos procesos industriales, como lavado, manufactureras de papel, bebidas, procesos alimenticios, producción textil o plásticos;
- El color verdadero es causado por sustancias orgánicas que demandan cloro, y reducen seriamente la eficacia del cloro como desinfectante (**Campos Gómez, 2003**).

- **Turbidez**

La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos de proceso, etc. Además interfiere con la mayoría de procesos a que se pueda destinar el agua.

La medición se hace por comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias. La medición en ppm de SiO₂ fue la más utilizada, pero existen diferencias en los valores obtenidos según la sílice y la técnica empleadas por un laboratorio u otro. Existen diversos tipos de turbidímetros modernos dando valores numéricos prácticamente idénticos. El fundamento del turbidímetro de Jackson es la observación de una bujía a través de una columna del agua ensayada, cuya longitud se aumenta hasta que la llama desaparece. Con una célula fotoeléctrica se mejora la medida. El aparato se puede calibrar mediante suspensiones de polímero de formacina, con lo cual se deriva a una escala en unidades de formacina. En el nefelómetro se mide la intensidad de luz difractada al incidir un rayo luminoso sobre las partículas en suspensión y recogida sobre una célula fotoeléctrica.

La unidad nefelométrica (NTU o UNF), la unidad Jackson (JTU), y la unidad de formacina (FTU) se pueden intercambiar a efectos prácticos.

Las aguas subterráneas suelen tener valores inferiores a 1 ppm de sílice, pero las superficiales pueden alcanzar varias decenas. Las aguas con 1 ppm son muy transparentes y permiten ver a su través hasta profundidades de 4 o 5 m. Con 10 ppm, que sería el máximo deseable para una buena operación de los filtros, la transparencia se acerca al metro de profundidad. Por encima de 100 ppm la transparencia está por debajo de los 10 cm y los filtros se obstruyen rápidamente.

La turbidez se elimina mediante procesos de coagulación, decantación y filtración (**Rigola Lapeña, 1990**).

- **Temperatura**

La temperatura determina la evolución o tendencia de las propiedades físicas, químicas o biológicas. El aumento de la temperatura aumenta la solubilidad de las sales, ocasionando cambios de la conductividad y el pH.

Es un factor regulador de los procesos naturales en el medio acuático, siendo junto con el pH uno de los factores más a tener en cuenta.

En aguas utilizadas para fines recreativos no deben sobrepasarse los 30 °C, al igual que para aguas destinadas a abastecimiento público (**Bureau Veritas Formación, 2008**).

- **Conductividad y resistividad**

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad y la resistividad es la medida recíproca. Son indicativas de la materia ionizable presente en el agua. El agua pura prácticamente no conduce la electricidad; por lo tanto la conductividad que podamos medir será consecuencia de las impurezas presentes en el agua. Es por lo tanto un parámetro físico bastante bueno para medir la calidad de un agua, pero deben darse tres condiciones fundamentales para que sea representativa:

- No se trate de contaminación orgánica por sustancias no ionizables.
- Las mediciones se realicen a la misma temperatura.
- La composición del agua se mantenga relativamente constante. El aparato para las mediciones se llama conductímetro, y básicamente lo que hace es medir la resistencia al paso de la corriente entre dos electrodos que se introducen en el agua, y se compara para su calibrado con una solución tampón de ClK a la misma temperatura y 20 °C.

La unidad para la resistividad es el Ohm, pero se emplea el MegaOhm por cm, la de la conductividad es el Siemens, pero como es muy grande se suele emplear el micro siemens por cm. Incluimos una pequeña tabla que nos dará una idea según la medida o la composición del agua (**Payeras, 2014**).

B. Parámetros químicos de calidad de las aguas

- **pH**

El pH es una medida de la acidez o naturaleza básica (alcalina) de una solución, Es también una medida del balance de los iones de hidrógeno $[H^+]$ y los iones hidroxilo negativo $[OH^-]$ en el agua. Los valores de pH van de 0 a 14, considerándose neutral el valor de 7. El agua que contiene más iones de hidrógeno es ácida (valores menores a 7), mientras que el agua que tiene más iones hidroxilo es básica (valores mayores a 7). La escala de pH es una escala logarítmica de base 10, lo que significa que cada número sucesivo de pH es 10 veces mayor que el anterior. Un intervalo de pH de 6.0 a 9.0 parece brindar protección a la vida de los peces de agua dulce y a los invertebrados que habitan en el fondo. El impacto medio ambiental más significativo del pH comprende efectos sinérgicos. La sinergia comprende la combinación de dos o más sustancias que producen efectos mayores a su simple adición. Este proceso es importante en aguas superficiales. El escurrimiento de áreas agrícolas, residenciales e industriales puede contener hierro, aluminio, amoníaco, mercurio u otros componentes. El pH del agua puede determinar los efectos tóxicos, si los hubiere, de estas sustancias.

TABLA N° 1: Conductividad del agua

Conductividad	
Temperatura de la muestra 25 °C	Conductividad (μS/cm)
Agua Ultrapura	0,05
Agua alimentación calderas	1 a 5
Agua Potable	50 a 100
Agua de Mar	53.000
5% de NaOH	223.000
50% NaOH	150.000
10% ClH	700.000

En el caso de sistemas costeros, los valores de pH están dados por el intercambio de CO₂ atmosférico y el agua, el cual genera ácido carbónico (H₂CO₃). La inestabilidad de este compuesto hace que forme sales, las cuales quedan disueltas en el agua como carbonates (CO₃) bicarbonatos (HCO₃) asociados a iones de carga positiva (Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺). Al existir un mayor número de compuestos de carga negativa se provoca que el pH, en el agua de mar, resulte levemente alcalino, presentando un valor promedio de 8.2. En cambio, el agua de origen continental tiende a valores neutros de 7.0; por lo anterior, se esperaría que los registros de pH naturales dentro de una laguna varíen en torno a ese último valor.

Las variaciones de pH hacia la alcalinidad (valores mayores de 8.5) se deben principalmente a la actividad de organismos que intervienen en el ciclo del CO₂, tales como moluscos y bivalvos que, a su muerte, liberan

cantidades significativas de carbonatos. Otra causa es la precipitación de CaCO_3 a partir de suelos calcáreos y su resuspensión. En cambio los pH bajos (menores a 7) se localizan íntimamente relacionados con procesos de descomposición de materia orgánica y liberación de ácidos. La introducción de sustancias tóxicas provenientes de la industria generalmente hace bajar los valores de pH. Se han detectado valores bajos, cercanos a 5, frecuentemente asociados a desechos provenientes de actividades industriales. Las áreas anóxicas, que son el reflejo de extensiones aisladas de la circulación general de una laguna dada, son detectadas, junto con las de escasos contenidos de oxígeno disuelto, por sus valores bajos en el pH. Las extensiones cubiertas y asociadas a bosques de manglar comúnmente reflejan valores bajos, ocasionados principalmente por el contenido de ácidos húmicos disueltos en el agua, que provienen precisamente de esta vegetación. Estos ácidos son compuestos de peso molecular muy elevado por lo que su persistencia, aún en el océano, es considerable. Durante la época lluviosa» la presencia de una coloración oscura invade grandes extensiones lagunares que son transportadas hacia el mar por el efecto mareal. De no ocurrir lo anterior, estos ácidos tenderían a permanecer dentro de la laguna propiciando la proliferación de bacterias y el consecuente agotamiento del oxígeno por los procesos de degradación a que son sometidos in situ (**Sanchez, Herzig, Peters, Marquez, & Zambrano, 2007**).

- **Dureza**

La dureza, debida a la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio, mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones. Afecta tanto a las aguas domésticas como a las industriales, siendo la principal fuente de depósitos e incrustaciones en calderas, intercambiadores de calor, tuberías, etc. Por contra, las aguas muy blandas son agresivas y pueden no ser indicadas para el consumo.

Existen distintas formas de dureza:

- Dureza total o título hidrotimétrico, TH. Mide el contenido total de iones Ca^{++} y Mg^{++} . Se puede distinguir entre la dureza de calcio, THCa , y la dureza de magnesio, THMg .
- Dureza permanente o no carbonatada. Mide el contenido en iones Ca^{++} y Mg^{++} después de someter el agua a ebullición durante media hora, filtración y recuperación del volumen inicial con agua destilada. El método es de poca exactitud y depende de las condiciones de ebullición.
- Dureza temporal o carbonatada. Mide la dureza asociada a iones CO_3H^- , eliminable por ebullición, y es la diferencia entre la dureza total y la permanente.

Si la dureza es inferior a la alcalinidad toda la dureza es carbonatada, pero si la dureza es superior a la alcalinidad hay una parte de dureza no carbonatada, asociada a otros aniones. La dureza de carbonatos es igual al valor m si $\text{TH} > m$, e igual a TH si $\text{TH} < m$. La dureza no carbonatada sólo existe en el primer caso y es igual a $\text{TH} - m$.

La dureza se puede expresar como meq/l, en ppm de CO_3Ca , o en grados hidrométricos de los cuales el más común es el francés. Las aguas con menos de 50 ppm en CO_3Ca se llaman blandas, hasta 100 ligeramente duras, hasta 200 moderadamente duras, y a partir de 200 ppm muy duras (**Rigola Lapeña, 1990**).

- **Alcalinidad**

Es una medida de la cantidad de iones que se encuentran presentes en el agua, los cuales reaccionan para neutralizar los iones del hidrógeno. La alcalinidad se puede comparar con la habilidad del agua para neutralizar los ácidos.

Los iones más comunes son el carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) y óxido de hidrógeno (OH^-).

Los efectos más notorios de la alcalinidad en el agua son el sabor amargo en el agua y las reacciones con algunos cationes del agua, lo cual produce obstrucciones en la tubería o sus accesorios, como codos o válvulas (**Campos Gómez, 2003**).

- **Coloides**

Es una medida del material en suspensión en el agua que, por su tamaño alrededor de 10^{-4} ~ 10^{-5} mm, se comportan como una solución verdadera y atraviesa el papel de filtro.

Los coloides pueden ser de origen orgánico (macromoléculas de origen vegetal) o inorgánico (oligoelementos: óxidos de hierro y manganeso).

Se eliminan por floculación y coagulación, precipitación y eliminación de barros. La filtración es insuficiente y se requiere ultrafiltración (*Payeras, 2014*).

- **Acides mineral**

La acidez es la capacidad para neutralizar bases. Es bastante raro que las aguas naturales presenten acidez, no así las superficiales. Es responsable de corrosión se mide en las mismas unidades que la alcalinidad y se corrige por neutralización con álcalis (*Payeras, 2014*).

- **Solidos totales disueltos**

Los sólidos totales disueltos son las sustancias que no pasan a través de un filtro de 0,45 micras pero que quedarán como residuo cuando el agua se evapora. La magnitud de TDS es la suma de los cationes, aniones y sílice disueltos en el agua. Existe una relación estrecha entre la cantidad de TDS y la conductividad eléctrica (la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica). Mientras mayor sea el valor de la conductividad eléctrica (medida con un conductímetro), mayor será la cantidad de sales disueltas en el agua. La conductividad eléctrica se puede expresar en diferentes unidades, pero la unidad más común es $\mu\text{S}/\text{cm}$ (micro Siemens/ centímetro). De tal manera que se equiparan $30 \mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad con $1 \text{ mg}/\text{L}$ de sales disueltas totales. La segunda unidad más comúnmente usada es milimhos por centímetro (mhs/cm o mhos/cm), donde $1 \text{ mhs}/\text{cm}$ es igual a $1,000 \mu\text{S}/\text{cm}$. La temperatura del agua afectará a la conductividad eléctrica, de tal

forma que su valor aumenta de 2 a 3% por cada grado Celsius de incremento (**Sanchez, Herzig, Peters, Marquez, & Zambrano, 2007**).

- **Sólidos en suspensión totales (SST)**

El parámetro sólido en suspensión incluye tanto los componentes inorgánicos (arena, limo, arcillas, etc.) como la fracción orgánica (grasas, aceites, brea, etc.)

Altas concentraciones impiden la penetración de la luz, disminuyen el oxígeno disuelto y limitan el desarrollo de la vida acuática. Su presencia en cantidades elevadas puede afectar negativamente a la calidad del agua para consumo humano, dando lugar a reacciones fisiológicas desfavorables.

Se determinan por análisis gravimétrico clásico, basado en la retención de las partículas con un filtro de porosidad determinado. Las concentraciones de SST correspondientes a las aguas residuales brutas industriales suelen variar entre 40 y 200 mg/l normalmente; en función del cauce receptor la legislación exigirá unos determinados valores, que en general suelen estar entre 80- 300 mg/L.

Y la suma de los sólidos disueltos y sólidos en suspensión totales da como resultado a los sólidos totales (**Bureau Veritas Formación, 2008**).

- **Cloruros**

El contenido en cloruros afecta la potabilidad del agua y su potencial uso agrícola e industrial. A partir de 300 ppm el agua empieza a adquirir un sabor salado. Las aguas con cloruros pueden ser muy corrosivas debido al pequeño tamaño del ion que puede penetrar la capa protectora en la interface óxido-metal y reaccionar con el hierro estructural. Se valora con nitratos de plata usando cromato potásico como indicador.

Se separa por intercambio iónico, aunque es menos retenido que los iones polivalentes, por lo cual las aguas de alta pureza requieren un pulido final (***Rigola Lapeña, 1990***).

- **Sulfatos**

El ion sulfato, SO_4 , corresponde a sales de moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces contienen de 2 a 150 ppm, y el agua de mar cerca de 3000 ppm. Aunque en agua pura se satura a unos 1500 ppm, como $\text{SO}_4 \text{Ca}$, la presencia de otras sales aumenta su solubilidad.

La determinación analítica por gravimetría con cloruro de bario es la más segura. Si se emplean métodos complexométricos hay que estar seguro de evitar las interferencias. No afecta especialmente al agua en cantidades moderadas. Algunos centenares de ppm perjudican la resistencia del hormigón. Industrialmente es importante porque, en presencia de iones calcio, se

combina para formar incrustaciones de sulfato cálcico. Su eliminación se realiza por intercambio iónico (**Rigola Lapeña, 1990**).

- **Nitratos**

El nitrógeno es uno de los elementos más abundantes. Es también uno de los dos nutrientes más importantes (el otro es el fósforo) para el crecimiento de algas y plantas acuáticas. El nitrógeno inorgánico puede existir en estado libre como un gas [N], o como nitrato [NO₃⁻], nitrito [NO₂⁻], o amoníaco [NH₃⁺]. El nitrógeno orgánico se encuentra en las proteínas y es continuamente reciclado por plantas y animales.

Muchas sustancias que llegan al agua contienen nitrógeno y actúan como nutrientes para la vida vegetal. Las reacciones de los nitratos [NO₃⁻] en el agua dulce pueden causar el agotamiento del oxígeno. En tal caso, los organismos acuáticos que dependen del suministro de oxígeno en el curso de agua morirán, t.as principales rutas de ingreso de nitrógeno a las masas de agua son las aguas residuales de la industria y los municipios, tanques sépticos, descargas de corrales de engorda de ganado, residuos animales (incluyendo aves y peces) y descargas de la emisión de gases de vehículos. Las bacterias presentes en el agua rápidamente convierten los nitritos [NO₂⁻] en nitratos [NO₃⁻].

Los nitratos en el agua potable son medidos ya sea en términos de la cantidad de nitrógeno presente como de oxígeno. El estándar máximo aceptado para el nitrato en

agua potable es de 10 mg/L nitrato-N, o 50 mg/L nitrato-N, o cuando el oxígeno es medido a la vez que el nitrógeno. A menos que se especifique de otra forma, normalmente los niveles de nitrato se refieren solamente a la cantidad de nitrógeno presente» y el estándar normal, por lo tanto» es de 10 mg/L. En general, los peces empiezan a morir cuando los niveles alcanzan los 90 mg/L de nitratos en el agua.

Existe una preocupación respecto al posible daño a la salud originado por concentraciones altas de nitratos ya que pueden provocar metahemoglobinemia, o "la enfermedad de los bebés azules" (excesiva conversión de hemoglobina a metahemoglobina, que es incapaz de enlazar y transportar oxígeno). Aunque los niveles de nitratos que afectan a los bebés no son peligrosos para niños mayores y adultos, sí indican la posible presencia de otros contaminantes más peligrosos procedentes de las residencias o de la agricultura, tales como bacterias o pesticidas.

En ecosistemas costeros, todo parece indicar que las concentraciones normales para el amonio van de 5.0 a 10.00 microgramos-átomo por litro ($\mu\text{g-at/L}$) y de nitratos más nitritos de 0.01 a 5.0 $\mu\text{g-at/L}$. El nitrógeno es considerado como el limitante en muchos ecosistemas costeros, debido a que la relación N: P es usualmente baja en promedio de 6, (**Sanchez, Herzig, Peters, Marquez, & Zambrano, 2007**).

- **Fosfatos**

El fósforo es uno de los elementos clave necesarios para el crecimiento de plantas y animales, y en forma elemental es muy tóxico. Los fosfatos $[PO_4]$ se forman a partir de este elemento. Su presencia puede provenir de la separación de pesticidas orgánicos que contienen fosfatos. Pueden existir en solución, como partículas, como fragmentos sueltos, o en los cuerpos de organismos acuáticos. El agua de lluvia puede provocar que distintas cantidades de fosfatos se filtren de los suelos agrícolas a los cursos de agua próximos. El fosfato estimulará el crecimiento del plancton y de plantas acuáticas que proveen alimento para los peces. Este mayor crecimiento puede provocar un aumento en la población de peces y mejorar la calidad general del agua. Sin embargo, si un exceso de fosfato ingresa en el curso de agua, las algas y plantas acuáticas crecerán demasiado, llegando a saturar el curso de agua y a utilizar grandes cantidades de oxígeno.

A diferencia de lo que sucede en los lagos interiores, donde el fósforo es considerado como el elemento limitante por excelencia, los sistemas costeros son levemente eutróficos debido principalmente a la presencia de cantidades significativas de fósforo. La relación entre la clorofila *a* y el fósforo ha sido demostrada. Las eventuales entradas de fósforo deben ser vigiladas estrictamente, aunque todo parece indicar que es el nitrógeno el principal causante de la eutrofización en sistemas costeros mexicanos. El valor normal para ortofosfatos (fosfatos inorgánicos) es de < 0.01 a $5.00 \mu\text{g at/L}$. Recientemente se ha comprobado

que más que la cantidad de nitrógeno o fósforo individual, es la relación entre ellos, conocida como relación N: P, la causante de las peculiaridades de los procesos de productividad primaria y/o eutrofización (**Sanchez, Herzig, Peters, Marquez, & Zambrano, 2007**).

- **Fluoruros**

El ion fluoruro, F^- corresponde a sales de solubilidad en general muy limitada. No suele hallarse en proporciones superiores a 1 ppm. Tiene un efecto beneficioso sobre la dentadura si se mantiene su contenido alrededor de 1 ppm, y por este motivo se añade a veces al agua potable. Su análisis suele hacerse por métodos colorimétricos (**Rigola Lapeña, 1990**).

- **Sílice**

La sílice, SiO_2 , se encuentra en el agua disuelta como ácido silícico, SiO_4H_4 , y como materia coloidal. Contribuye ligeramente a la alcalinidad del agua. Las aguas naturales contienen entre 1 y 40 ppm, pudiendo llegar a 100 ppm, especialmente si son aguas bicarbonatadas sódicas. Se determina analíticamente por colorimetría.

La sílice tiene mucha importancia en los usos industriales porque forma incrustaciones en las calderas y sistemas de refrigeración, y forma depósitos insolubles sobre los álabes de las turbinas. Su eliminación se consigue parcialmente por precipitación pero fundamentalmente mediante resinas de intercambio iónico fuertemente básicas (**Rigola Lapeña, 1990**).

- **Bicarbonatos y carbonatos**

Como ya hemos visto anteriormente, existe una estrecha relación entre los iones bicarbonato CO_3H^- , carbonato CO_3^{2-} , el CO_2 gas y el C_3O_2 disuelto.

El equilibrio, como ya vimos, está muy afectado por el pH; todos estos iones contribuyen, fundamentalmente, a la alcalinidad del agua.

Las aguas dulces suelen contener entre 50 y 350 ppm de ion bicarbonato, y si el pH es inferior a 8,3, no habrá ion carbonato. El agua de mar contiene alrededor de 100 ppm de ion bicarbonato (**Payeras, 2014**).

- **Otros componentes aniónicos**

Los sulfuros, S^{2-} , y el ácido sulfhídrico son muy característicos de medios reductores, pero en general las aguas contienen menos de 1 ppm, su principal característica es que el agua tiene muy mal olor. Los compuestos fenólicos afectan a la potabilidad, con olores y gustos especialmente desagradables, sobre todo después de un proceso de cloración. Los detergentes son ligeramente tóxicos y presentan problemas de formación de espumas y consumen el oxígeno del agua. Los ácidos húmicos pueden afectar a procesos de pretratamientos e intercambio iónico (**Payeras, 2014**).

- **Sodio**

El ion sodio, Na^+ , corresponde a sales de solubilidad muy elevada y difíciles de precipitar. Suele estar asociado al ion cloruro. El contenido en aguas dulces suele estar entre 1 y 150 ppm, pero es fácil encontrar valores muy superiores, de hasta varios miles de ppm. El agua de mar contiene cerca de 11.000 ppm. Es un indicador potencial de corrosión.

La determinación analítica se hace por fotometría de llama. En los análisis rutinarios el ion sodio no se determina sino que se calcula como diferencia entre el balance de aniones y cationes.

El sodio se elimina por intercambio iónico, pero como ion monovalente es una de las primeras sustancias que fugan de la columna catiónica o del lecho mixto (**Rigola Lapeña, 1990**).

- **Potasio**

El ion potasio, K^+ , también corresponde a sales de muy alta solubilidad y difíciles de precipitar.

Las aguas dulces no suelen contener más de 10 ppm. El agua de mar contiene alrededor de 400 ppm. Vemos que son valores mucho menos importantes que los del catión sodio (**Payeras, 2014**).

- **Calcio**

El ion calcio, Ca^{++} , forma sales desde moderadamente solubles a muy insolubles. Precipita fácilmente como CO_3Ca . Contribuye de forma muy especial a la dureza del agua y a la formación de incrustaciones. Las aguas dulces suelen contener de 10 a 250 ppm, o incluso 6)00 ppm. El agua de mar contiene unos 400 ppm.

Se determina analíticamente por complexometría con EDTA o NTA. La eliminación del calcio se realiza por precipitación e intercambio iónico (***Rigola Lapeña, 1990***).

- **Magnesio**

El ion magnesio, Mg^{++} , tiene propiedades muy similares a las del ion calcio, pero sus sales son, en general, más solubles y difíciles de precipitar; por contra, su hidróxido, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, es menos soluble. Las aguas dulces suelen contener entre 1 y 100 ppm, y el agua de mar contiene unos 1300 ppm. Cuando el contenido en agua alcanza varios centenares le da un sabor amargo y propiedades laxantes, que pueden afectar su potabilidad. Contribuye a la dureza del agua y a pH alcalino puede formar incrustaciones de hidróxido. Su determinación analítica se realiza por complexometría.

Se puede precipitar como hidróxido pero su eliminación se realiza fundamentalmente por intercambio iónico (***Rigola Lapeña, 1990***).

- **Hierro**

Es un catión muy importante desde el punto de vista de contaminación, aparece en dos formas: ion ferroso, Fe^{++} , o más oxidado como ion férrico, Fe^{+++} . La estabilidad y aparición en una forma u otra depende del pH, condiciones oxidantes o reductoras, composición de la solución, etc. Afecta a la potabilidad de las aguas y es un inconveniente en los procesos industriales por provocar incrustaciones.

Por todo lo anterior, las aguas subterráneas sólo contienen el ion ferroso disuelto, que suele aparecer con contenidos entre 0 y 10 ppm, pero al airear el agua se precipita el hidróxido férrico de color pardo-rojizo, y se reduce el contenido a menos de 0,5 ppm. Para que parezcan contenidos de hierro de varias docenas de ppm hacen falta que el medio sea ácido (**Payeras, 2014**).

- **Manganeso**

El ion manganeso se comporta en la mayoría de los casos muy parecido al ion hierro, además de poder ser bivalente y trivalente positivo puede también presentarse con valencia +4 formando el MnO_2 que es insoluble. Rara vez el agua contiene más de 1 ppm y requiere un pH ácido.

La forma manganeso Mn^{++} que es la más general por aireación se oxida y precipita con un color negruzco de MnO_2 (**Payeras, 2014**).

- **Metales tóxicos**

Los metales tóxicos más conocidos son el plomo, mercurio, cadmio, arsénico y zinc; que causan problemas a la salud humana aún en cantidades pequeñas. Los metales se concentran en la cadena alimenticia y se biomagnifican de un nivel trófico a otro **(Campos Gómez, 2003)**.

- **Gases disueltos**

El dióxido de carbono, CO_2 , es un gas relativamente soluble que se hidroliza formando iones bicarbonato y carbonato, en función del pH del agua. Las aguas subterráneas profundas pueden contener hasta 1.500 ppm pero las superficiales se sitúan entre 1 y 30 ppm, un exceso hace que el agua sea corrosiva.

El oxígeno, O_2 , por su carácter oxidante juega un papel importante en la solubilización o precipitación de iones que presenta alguna forma insoluble, su presencia en el agua es vital para la vida superior y para la mayoría de los microorganismos.

El ácido sulfhídrico, SH_2 , causa un olor a huevos podridos y es corrosivo.

El amoníaco, NH_3 , es un indicador de contaminación del agua, y en forma no iónica es tóxico para los peces. Con la cloración produce cloraminas, también tóxicas **(Payeras, 2014)**.

C. Parámetros indicativos de contaminación orgánica y biológica

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La demanda bioquímica de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios (principalmente por bacterias y protozoarios). Representa, por tanto, una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente.

Se utiliza para determinar la contaminación de las aguas. Cuando los niveles de la DBO son altos, los niveles de oxígeno disueltos serán bajos, ya que las bacterias están consumiendo ese oxígeno en gran cantidad. Al haber menos oxígeno disponible en el agua, los peces y otros organismos acuáticos tienen menor posibilidad de sobrevivir. Relacionado con la DBO, encontramos a la DBO_5 , que es la prueba en el laboratorio en el cual una muestra de agua se alimenta con bacteria y nutrientes, y se hace una incubación a una temperatura de 20°C durante 5 días en la oscuridad. El valor de DBO se determina comparando el valor de oxígeno disuelto (OD) de una muestra de agua tomada inmediatamente con el valor de la muestra incubada descrita anteriormente. La diferencia entre los dos valores de OD representa la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de material orgánico en la muestra y es la mejor aproximación del nivel de la DBO. La DBO se mide en ppm o mg/L (**Sanchez, Herzig, Peters, Marquez, & Zambrano, 2007**).

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Es la cantidad de oxígeno necesario para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica. Se utiliza para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales (**Sanchez, Herzig, Peters, Marquez, & Zambrano, 2007**).

D. Parámetros bacteriológicos de la calidad de las aguas

De todo el mundo es conocido que el "gran enemigo" es la bacteria *Escherichia coli* y el grupo de los coliformes en su conjunto. Generalmente se emplea un grupo de bacterias como indicadores de contaminación, esto es una práctica generalizada en todo el mundo, se supone que la NO presencia de estas bacterias hace que el agua sea potable bacteriológicamente hablando. Son:

- *Escherichia coli*
- *Streptococos fecales*
- *Clostridios* (anaerobios y formadores de esporas).

La medición se hace empleando técnicas estadísticas "número más probable" (índice NMP) en 100 ml de agua.

Las aguas con un NMP inferior a 1 son satisfactoriamente potables (**Payeras, 2014**).

2.3.4. Contaminación del agua.

a) Contaminación de aguas receptoras.

Un río, un lago, un océano, una corriente de agua u otro curso de agua, dentro del cual se descargan aguas residuales o efluentes tratados

(<http://www.definicion.org/agus-receptoras>).

- **Efectos de los contaminantes**

El agua se contamina cuando la descarga de residuos perjudica la calidad del agua o perturba el equilibrio ecológico natural. Los contaminantes que causan problemas comprenden organismos que ocasionan enfermedades (patógenos), materia orgánica, sólidos, nutrientes, sustancias tóxicas, color, espuma, calor y materiales radiactivos. La descarga de contaminantes específicos no es la única causa de contaminación del agua. La construcción de presas, embalses y desviaciones de ríos también puede degradar seriamente la calidad del agua (*Glynn & Heinke, 1999*).

- **Requisitos de calidad del agua**

Los criterios de calidad del agua son desarrollados por científicos y proporcionan información básica acerca de los efectos de los contaminantes sobre un uso específico del agua. También describen los requisitos de la calidad para proteger y mantener determinado uso del agua. Los criterios de calidad del agua se basan en variables que caracterizan la calidad del agua o de las

partículas suspendidas, el sedimento del fondo y la biota. Muchos criterios de calidad del agua fijan un nivel máximo de concentración para determinada sustancia en un medio particular (agua, sedimento o biota) que no sería dañina si ese medio se usa para un propósito único y específico de manera permanente. Para otras variables de la calidad del agua, tales como el oxígeno disuelto, los criterios de calidad se fijan a una concentración mínima aceptable para asegurar el mantenimiento de las funciones biológicas.

La mayoría de los procesos industriales demandan requisitos menos exigentes de calidad, por ello, generalmente los criterios se desarrollan con respecto al uso de] agua como fuente de abastecimiento público, agricultura, recreación o como hábitat para comunidades biológicas. Los criterios también se pueden desarrollar en relación con el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos en general. La protección y mantenimiento de estos usos del agua generalmente imponen diferentes requisitos de calidad, por ello, los criterios de calidad del agua a menudo son diferentes para cada uso.

Por lo general, los criterios de calidad del agua sirven como base para establecer los objetivos de la calidad del agua conjuntamente con información sobre los usos del agua y factores propios del lugar. Los objetivos de la calidad del agua tienen como propósito mantener y proteger los usos designados del agua fresca para abastecimiento público, ganadería, riego, pesca, recreación u otros fines, a la vez que sostienen la vida y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos. El

establecimiento de objetivos de la calidad del agua no es una tarea científica sino un proceso político que requiere evaluar con sentido crítico las prioridades nacionales. Esta evaluación se basa en consideraciones económicas, usos actuales y futuros, predicciones del progreso industrial y agrícola, y muchos otros factores socioeconómicos. Estos análisis se han realizado en áreas de captación de aguas nacionales (como la cuenca del río Ganges) y en aguas transfronterizas (como los ríos Rin, Mekong y Níger). En la Convención para la protección y uso de aguas transfronterizas y lagos internacionales y otros documentos pertinentes se ofrece orientación general para desarrollar objetivos de la calidad del agua.

Las autoridades encargadas del manejo de agua, junto con otras instituciones relevantes, han desarrollado objetivos de la calidad del agua en numerosos países a fin de establecer valores umbrales para la calidad del agua que deben mantenerse o alcanzarse dentro de determinado lapso. Los objetivos de la calidad del agua son la base de los reglamentos de control de la contaminación y sirven para tomar medidas específicas de prevención, control o reducción de la contaminación y otros impactos adversos sobre los ecosistemas acuáticos.

En algunos países, los objetivos de la calidad del agua son el instrumento de regulación e incluso se vuelven legalmente obligatorias. Su aplicación, por ejemplo, puede requerir el fortalecimiento apropiado de los estándares de emisión y otras medidas para controlar

mejor las fuentes de contaminación puntuales y dispersas. En algunos casos, los objetivos de la calidad del agua sirven como instrumentos de planificación y como base para el establecimiento de prioridades a fin de reducir los niveles de contaminación por sustancias o por fuentes.

Los criterios de calidad del agua se han establecido ampliamente para algunas variables tradicionales, tales como pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno para períodos de cinco o siete días (DBO₅ y DBO₇), demanda química de oxígeno (DQO) y nutrientes. Estos criterios ayudan a los responsables de tomar decisiones, especialmente en los países con ríos contaminados seriamente por compuestos orgánicos, a establecer estrategias de control para disminuir el potencial del agotamiento del oxígeno y los bajos niveles resultantes de DBO y DQO (*Organización Panamericana de la Salud - Organización Mundial de la Salud, 2014*).

- **Necesidad de control de la contaminación**

Se ha dicho en muchas ocasiones, y en parte sólo en broma, que la solución a la contaminación es la dilución. Para contaminantes convencionales como DBO, SS y fósforo, esta afirmación tiene lógica. Cuando se descargan cantidades pequeñas de aguas negras en ríos o cuerpos de agua relativamente grandes, los incidentes de abasto de agua contaminada o peligros para la salud pública son poco frecuentes. La razón de esto es la dilución de los contaminantes y la purificación

natural que se lleva a cabo. Al aumentar la población, estos factores mitigantes pierden eficacia y, tarde o temprano, se hace necesaria alguna forma de tratamiento de aguas residuales. Al principio, un tratamiento parcial (primario), por lo común consistente en tamizado y sedimentación, basta para impedir los indicios más obvios de la contaminación; sin embargo, al continuar la urbanización, puede ser necesario un tratamiento adicional (secundario) por métodos biológicos. La eficiencia del tratamiento necesario se puede correlacionar con la capacidad asimilativa de las aguas receptoras, esto es, con su capacidad para aceptar materia orgánica, nitrógeno y otros contaminantes sin que se creen problemas. Esto se determina con base en estudios de campo.

La necesidad del tratamiento de las aguas residuales surge en todos los países. En las regiones menos desarrolladas, el tratamiento de los residuos domésticos para la protección de la salud pública todavía constituye la preocupación principal. Por ejemplo, en grandes áreas de la India, África y Sudamérica, los residuos sin tratamiento se introducen en aguas receptoras que son utilizadas directamente por grandes poblaciones para propósitos de lavado, baño y como agua potable. En la mayor parte de los países desarrollados la necesidad está cambiando, de las consideraciones tan sólo de salud pública, al control de la eutrofización, la protección de la vida acuática y la preocupación por las sustancias químicas presentes en el ambiente.

Los métodos de tratamiento en un país o región varían con la densidad de población y el estado de desarrollo tecnológico. Las comunidades rurales escasamente pobladas pueden emplear procesos de tratamiento sencillos a fin de reducir la concentración de DBO, SS y patógenos en las aguas negras domésticas. Sin embargo, en los centros urbanos, a medida que aumenta la complejidad de los residuos municipales e industriales y se incrementa la necesidad de proteger las aguas receptoras, los métodos de tratamiento deben ser más refinados y eficientes (*Glynn & Heinke, 1999*).

b) Aguas residuales Industriales.

El término agua residual define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

Las aguas negras industriales contienen grandes cantidades de compuestos y elementos tóxicos. Los más comunes son:

- metales pesados (Hg, Cr, Cd, Zn, Se y Pb),
- plaguicidas (DDT, etc.),
- compuestos a base de NO_3^- , CN^-
- organoclorados

Todos estos productos o elementos, cuando en las aguas negras están disueltos en conjunto con otros, tienen un

efecto sinérgico, produciendo el fenómeno de *multiplicación de su efecto tóxico* (**Acosta, 2008**).

c) Metales pesados en el agua.

La composición específica de los vertidos de cada industria en particular, la evacuación de las aguas tratadas (a alcantarillado, lechos de ríos, lagos, etc.), la disponibilidad de terreno en las inmediaciones de la empresa, la distancia a núcleos urbanos, la recuperación y reutilización de estas aguas, su posible utilización para riego, todos estos factores, en función de la legislación sobre vertidos y el estudio económico de aplicación, serán los que nos permitirán escoger el método más eficaz y económico de todos los que se describen.

Los metales pesados provienen generalmente de aguas residuales comerciales e industriales. Aunque algunos de estos metales son necesarios para el desarrollo de la vida biológica, las concentraciones elevadas de éstos pueden interferir en los procesos de depuración y, por supuesto, que su vertido al medio acuático podría poner en peligro el aprovechamiento de las aguas naturales dada su alta toxicidad (**Sans Fonfria & De Pablo Ribas, 1989**).

2.3.5. Procesos de potabilización del agua.

a) Aireación.

En purificación y tratamiento de agua se entiende por aireación, el proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire, con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenida en ella. En resumen, ese proceso de introducir aire en el agua.

Las funciones más importantes de la aireación son:

- Disminuir la concentración de CO₂
- Disminuir la concentración de H₂S
- Oxidar hierro y manganeso
- Remover compuestos orgánicos volátiles.
- Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores

b) Mezcla Rápida.

Es una operación empleada en el tratamiento de agua con el propósito de dispersar diferentes sustancias químicas y gases. En planta de purificación del agua, el mezclador rápido tiene generalmente el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua.

La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos tales como resaltos hidráulicos en canales, canaletas, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en línea, y tanques con equipos de mezcla rápida. *(Universidad de Salamanca, 2014).*

c) Coagulación y Floculación.

Los procesos de coagulación y floculación se emplean para extraer del agua los sólidos que en ella se encuentran suspendidos, siempre que su rapidez natural de asentamiento sea demasiado bajo para proporcionar clarificación efectiva. La clarificación del agua, el

ablandamiento con cal, el espesamiento del lodo y el decantamiento dependen de una correcta aplicación de las teorías de la floculación y coagulación para que pueda efectuarse con éxito.

Tomando como ejemplo la clarificación de agua superficial, el agua turbia contiene material suspendido, tanto sólido que pueden asentarse, como partículas lo bastante grandes que se precipitan en reposo, o sólido no dispersado que no se asentarán con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no se precipiten pueden ser coloides. Cada partícula se encuentra estabilizada por cargas eléctricas negativas sobre su superficie, haciendo que repelen las partículas vecinas, como se repelen dos polos magnéticos. Ya que esta impide el choque de las partículas y que se formen así masas mayores llamadas flóculos, las partículas no se asientan.

La coagulación desestabiliza los coloides al neutralizar las fuerzas que las mantiene separadas. Esto se logra por lo general, añadiendo coagulantes químicos y aplicando energía de mezclado. Las sustancias químicas de uso común son las sales de aluminio, las sales de hierro y los polielectrolitos. Las sustancias químicas cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos. Estos flóculos, inicialmente pequeños, crean al juntarse glomerados mayores que son capaces de asentarse. El proceso de desestabilización es la coagulación, la etapa de formación de floculo es la floculación. Este proceso todavía se halla en estudios avanzados.

Los términos floculación y coagulación son con frecuencia intercambiados de cationes o aniones, sin embargo, cuando se le considera como dos mecanismos distintos pueden conducir a un mejor entendimiento de la clarificación. **(Murillo Díaz & Navarro Ibáñez, 2008).**

d) Coagulación.

Las especies coloidales halladas en agua cruda y en agua de desecho incluyen arcillas, sílice, hierro y otros metales pesados, color y sólidos orgánicos, como residuos de organismos muertos. Los coloides también pueden producirse en los procesos de precipitación como el ablandamiento con cal. Los coloides siempre necesitan coagularse para alcanzar un mayor tamaño y una rapidez de asentamiento, pero aun partículas mayores, que no son realmente coloides y que se asentarían si se les diera un tiempo suficiente, requiere de la coagulación para formar un floculo mayor para que se asiente con más rapidez.

Cuando en una planta de tratamiento no se dispone de tiempo suficiente para extraer los sólidos suspendidos, la coagulación y la floculación puede provocar su crecimiento y asentarse con la suficiente rapidez para superar las limitaciones del diseño de la planta. Los coloides se clasifican en hidrofóbicos e hidrofílicos. Los coloides hidrofóbicos no reaccionan con el agua, la mayor parte de las cerámicas naturales son hidrofóbicas. Los coloides hidrofílicos reaccionan con el agua, las sustancias que producen el color son hidrofílicas. De importancia en el tratamiento del agua es que los coloides hidrofílicos pueden reaccionar químicamente con el coagulante usado en el proceso de tratamiento. Así, los coloides hidrofílicos

requieren mayor cantidad de coagulantes que los hidrofóbicos, que no reaccionan químicamente con el coagulante. Diversas teorías han sido formuladas para describir la partícula coloidal y la fuerza que la rodea. Prácticamente, todo lo que se necesita para definir el sistema coloidal es la determinación de la naturaleza y la magnitud de la carga de la partícula. La magnitud de la carga de la partícula, determina lo cerca que pueden aproximarse los coloides. El potencial zeta es una medida de esta fuerza para coloides en fuente de agua natural con pH de 5 a 8, el potencial zeta se encuentra entre -14 y -30 milivoltios, cuanto más que negativo sea el número, tanto mayor será la carga de la partícula. A medida que disminuye el potencial zeta, las partículas pueden aproximarse cada vez más aumentando la posibilidad de una colisión.

En un sistema convencional de clarificación con pH de 6 a los coagulantes proporciona las cargas positivas para reducir la magnitud del potencial zeta. La coagulación se presenta de ordinario a un potencial zeta que es aun ligeramente negativo, de manera que por lo general no se requiere que la carga sea neutralizado por completo. Si se añade demasiado coagulante, superficie de las partículas se cargará positivamente, y la partícula volverá a dispersarse. Las partículas de carbonato de calcio también portan una carga negativa y pueden ser útiles coagulantes catiónicos para reducir la dureza residual coloidal. El hidróxido de magnesio, por otro lado, porta una carga positiva hasta que el pH es mayor que 11, así, en el proceso de ablandamiento con cal y carbonato en los que precipitan tanto CaCO_3 como hidróxido de magnesio se coprecipitan las partículas de carga opuesta.

El potencial zeta se determina indirectamente de los datos obtenidos al observar en el microscopio los movimientos de las partículas. Las medidas del potencial zeta se han empleado con éxito para controlar la dosis de coagulante de las plantas. Sin embargo, las lecturas del potencial zeta por sí sola no son confiables para seleccionar el mejor coagulante. Los resultados obtenidos en la prueba de jarra continúa siendo los mejores para seleccionar el coagulante. Para complementar la adición del coagulante se requiere del mezclado para destruir la estabilidad del sistema coloidal. Para que las partículas se aglomeren deben chocar, y el mezclado promueve la colisión. El movimiento browniano, el movimiento catiónico comunicado a las partículas pequeñas al ser bombardeadas por moléculas individuales de agua está siempre presente como una furia mezcladora natural. Sin embargo, casi siempre es necesaria energía adicional del mezclado. Un mezclado de gran intensidad que destruya al coagulante y promueva colisiones rápidas, es de lo más efectivo. También son importantes en la coagulación la frecuencia y el número de colisiones entre las partículas. En agua de baja turbidez puede requerirse la adición de sólidos, como la arcilla o el reciclado de sólidos previamente asentado, para aumentar el número de colisiones entre las partículas. **(Murillo Díaz & Navarro Ibáñez, 2008).**

e) Flocculación.

Es el proceso mediante el cual las partículas desestabilizadas se unen para formar grandes partículas estables o flóculos, los cuales alcanzan un tamaño suficiente como para poder sedimentarse en el agua. Puede

que el floculo formado por la aglomeración de varios coloides no sea lo bastante grande como para poder asentarse con la rapidez deseada. Un floculante reúne partículas en una red, formando puente de una superficie a otra y enlazando las partículas individuales en aglomerados. El alumbre, las sales de hierro y los polímeros de peso moleculares altos son floculantes comunes. Se distinguen dos tipos de floculación el primero se llama ortocinética y el segundo pericinetica. El primero es inducido por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas, el segundo tipo es promovido internamente dentro del líquido, por el movimiento de agitación que las partículas tienen dentro de él, se realiza en un tiempo muy corto después de que las partículas ha sido desestabilizada y hasta que alcanza un tamaño suficiente para que le permita sedimentarse. La floculación es estimulada por un mezclado lento, el cual junta poco a poco los floculos, un mezclado intenso los rompe y raramente vuelven a formarse en su tamaño y fuerza óptima. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del floculo, sino que también afecta su naturaleza física. De la misma manera que la coagulación, la floculación es influenciada por fuerzas físicas y químicas tales como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la concentración del floculo, pH, temperatura y la concentración del electrolito. (*Payeras, 2014*).

f) Sedimentacion.

Se designa por sedimentación la operación por la cual se remueven las partículas sólidas de una suspensión por medio de la gravedad, en algunos casos se denomina

clarificación o espesamiento. Dos son las formas de sedimentación usadas en la purificación del agua, sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación.

La sedimentación simple es generalmente un tratamiento primario para reducir las cargas de sólidos sedimentables antes de la coagulación, en esos casos se conoce como presedimentación. La sedimentación después de la floculación y de la coagulación se usa para remover los sólidos sedimentables que han sido producidos por el tratamiento químico, como el caso de remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento con cal. La sedimentación puede ser precedida por presedimentación y aireación, generalmente va seguida de la filtración. (*Payeras, 2014*).

g) Filtración.

La producción de agua clara y cristalina es prerrequisito para el suministro de agua segura y requiere de la filtración, aunque el 90 por ciento de la turbiedad y el color son removidos por la coagulación y la sedimentación, una cierta cantidad de floculos pasan al tanque de sedimentación y requieren su remoción. En la planta de purificación la planta remueve el material suspendido, conocido como en la práctica como turbiedad, compuesto por floculo, suelo, metales oxidados y microorganismos. La remoción de los microorganismos es de gran importancia puesto que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección y sin embargo, son removidos mediante la filtración. Lo anterior indica porqué en la práctica se considera que el propósito principal de la filtración es remover turbiedad e impedir la interferencia de la turbiedad

con la desinfección, al proveer protección a los microorganismos de la acción de los desinfectantes. **(Campos Gómez, 2003).**

2.3.6. Productos Químicos Coagulantes y Floculantes

Se clasifican en dos grupos, los primeros son los coagulantes metálicos y los segundos son los polielectrolitos o ayudantes de coagulación – floculación. Ambos grupos actúan como polímeros, además de la carga eléctrica que poseen. En los primeros, la polimerización se inicia cuando el coagulante es adicionado al agua, con lo cual se inicia la etapa de absorción por los coloides presente en la fase acuosa, en los segundos las cadenas están ya formadas al ser adicionada **(Rigola Lapeña, 1990).**

a) Coagulante metálicos.

Los coagulantes metálicos se clasifican en tres tipos, los primeros son las sales de Aluminio, los segundos las sales de hierro y las terceras los compuestos varios. El coagulante usado generalmente en las plantas de tratamiento son las sales de aluminio, debido a su bajo costo y fácil dominio. Históricamente los coagulantes metálicos han sido más empleados en la clarificación del agua. Estos productos actúan como coagulantes y floculantes a la vez. Añadidos al agua forman especies cargadas positivamente en el intervalo de pH entre 7.5 y 8.2. Esta reacción de hidrólisis produce Aluminio gelatinoso insoluble o hidróxido férrico. Aun cuando inicialmente no haya sólido suspendido en el agua, los coagulantes metálicos forman flóculos que enreda a los coloides desestabilizados. Sin embargo, los lodos voluminosos producidos por la adición de coagulantes metálicos crean problema de disposición, por lo que de ordinario sólo puede

difícilmente desecarse. Los coagulantes metálicos son muy sensibles a la alcalinidad y al pH. Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y pueden solubilizarse el hierro y el aluminio y generar problema al usuario del agua. (*Payeras, 2014*).

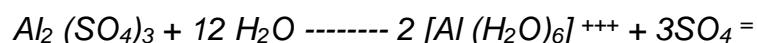
b) Factores que influyen la coagulación.

Hay una serie de factores que afectan la coagulación y entre ellos se pueden citar:

- Clases de coagulantes
- Cantidades de coagulantes
- Características químicas del agua
- Concentración del ion hidrogeno del agua
- Tiempo de mezcla y floculación
- Temperatura del agua
- Violencia de agitación
- Presencia de nucleoides

c) Química de coagulación con sales de aluminio (III)

El sulfato de Aluminio $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O]$ es un polvo de color marfil, ordinariamente hidratado, que con el almacenaje suele convertirse en terrones relativamente duros. Cuando está en solución se encuentra hidrolizado de la siguiente forma:



Los iones de aluminio hidratado $[Al (H_2O)_6]^{+++}$, actúan como un ácido y reaccionan con las bases disueltas (como la alcalinidad que se expresa en forma de OH^- , $CO_3^{=}$ y HCO_3^- y con las moléculas de agua.

Como las bases que constituyen la alcalinidad son más reactivas que el H₂O, el [Al (H₂O)₆]⁺⁺⁺, Reaccionará siempre antes con ella y no con las moléculas de agua. (**Sanchez, Herzig, Peters, Marquez, & Zambrano, 2007**).

d) Mecanismos de Coagulación con Sales de Aluminio

En el proceso de coagulación de las aguas para abastecimiento, mediante el uso de las sales de aluminio, ocurre principalmente mediante los mecanismos:

- **Primero:**

Adsorción de especies hidrolizadas, originando desestabilización o neutralización, bajo determinadas condiciones de la solución de coagulantes (pH, temperatura, concentración de Aluminio, Edad de la solución, etc.), los productos de la hidrólisis tienen cargas diferentes y son absorbidos más fácilmente que el ion metálico no hidrolizado. La tendencia a la adsorción se acentúa para las especies polihidroxidas y polinucleares. La causa de este efecto, se debe al gran tamaño y a la poca hidratación de las especies hidrolizadas, y al mejoramiento de las condiciones de adsorción debido a la presencia de grupos hidróxidos coordinados.

- **Segundo:**

Barrido resultante de partículas en los precipitados de aluminio, Las dosis de coagulantes normalmente utilizadas en la práctica y los correspondientes valores de pH ocurren en regiones de súper saturación con respecto al hidróxido metálico, lo cual no implica que la precipitación de esta especie se dé rápidamente, puesto que se debe alcanzar

un cierto grado de saturación que depende de la temperatura y la concentración de los coloides en la suspensión, En la región localizada por encima de esta súper saturación crítica, se producirá de un precipitado amorfo, capaz de envolver la impureza del agua y removerla por sedimentación. Así, se considera que con una baja concentración de coloides no existe un número suficiente de partículas para propiciar la oportunidad de contacto en un tiempo razonable. **(Sanchez, Herzig, Peters, Marquez, & Zambrano, 2007).**

2.3.7. Aluminio y sus efectos en la salud humana

El aluminio es el metal que más abunda en la corteza terrestre, representa cerca del 7% en peso de la misma. El aluminio también se encuentra en el suelo, los alimentos y el agua corriente. (CRICHTON, 1997)

De ahí que no sorprenda que, en términos generales que una persona de 70 kg de peso tenga en su organismo 100 microgramos de aluminio. Estimativos hechos en Estados Unidos sugieren que un habitante medio de ese país consume entre 20 y 40 mg de aluminio por día. Se calcula que el 1 % del consumo proviene del agua potable y cerca del 90 % de alimentos. Más del 99 % del aluminio consumido es eliminado del cuerpo a través de las funciones normales del intestino. Un pequeño porcentaje es drenado por la orina. El consumo de aluminio por encima de las normas recomendadas, ha sido asociado a diferentes trastornos sobre la salud. Para Flaten T.P El aluminio es “un poderoso neurotóxico”. **(T.P Flaten, 1996).**

Durante muchos años, el aluminio fue catalogado como un metal de escaso interés para los estudios toxicólogos. Sin embargo, en los últimos años, una creciente información científica ha relacionado el excesivo consumo de aluminio con diferentes trastornos para la salud. Los estudios sugieren que, en determinadas concentraciones, el aluminio inhibe la mineralización de los huesos. De ahí que la exposición crónica al aluminio ha sido asociada a un mayor riesgo de tener una fractura temprana. **(Glynn & Heinke, 1999).**

2.3.8. Coagulantes Naturales

Se utilizan durante el proceso de coagulación, para mejorarla efectividad del coagulante primario, son de gran utilidad ya que, estos reducen el volumen de los sólidos depositados, amplían el rango de condiciones óptimas de floculación y minimizan los residuos químicos. En su mayoría son polímeros sintéticos o naturales. **(Pérez, 1973.)**

Son una fuente alternativa con un gran potencial que aún no se ha explotado. Por lo general 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 plantas como la moringa oleífera, la Tuna, el frijol, maíz entre otros. Tienen alta efectividad para aguas con una baja turbidez, también presentan buena eficiencia en aguas industriales.

Los polímeros naturales se producen de manera espontánea, debido a reacciones bioquímicas que ocurren en animales y

plantas. Poseen una compleja estructura química, por lo general están constituidos por varios tipos de polisacáridos y proteínas. Algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes y en muchos lugares son utilizados en forma empírica por los nativos para aclarar el agua turbia con muy buenos resultados (**Vásquez O, 1994**).

a) Tipos de coagulantes naturales.

- **Penca de Tuna**

Es una especie que alcanza gran porte puede crecer hasta 12 m de alto. Presenta un tronco principal grueso y leñoso. Se caracteriza por la presencia de frutos ovoides, lisos de color verde aun cuando estén maduros. Sus flores son verdoso rosadas no mayores de 10 cm de largo. Ramas con ondulaciones longitudinales, con 8 a 20 costillas.

El coagulante de origen orgánico *Cactus lefaria* ha sido ampliamente usado en los estados de Lara y Falcon, como sustituyente del sulfato de aluminio en el proceso de clarificación del agua. Martínez y colaboradores, investigadores de la universidad de Zulia realizaron un estudio para evaluar la eficiencia de *Cactus lefaria* como coagulante natural. Los ensayos se realizaron a escala de laboratorio, preparando aguas turbias sintéticas con valores de turbidez iniciales de 20 a 150 UNT. Los estudios realizados demuestran que la planta remueve la turbidez entre un 80 y 90 %.

En localidades rurales o apartadas se emplea el cactus como un clarificador natural, siguiendo la metodología establecida en el libro "Tecnologías Apropriadas en Agua Potable y Saneamiento Básico" (Pan American Health Organization (PAHO) /Organización Panamericana de la Salud (OPS)). (**Sanchez, Herzig, Peters, Marquez, & Zambrano, 2007**).

- **Mandioca o yuca**

Pertenece a la familia Euphorbiaceae constituidas por unas 7200 especies que se caracterizan por su notable desarrollo de los vasos laticíferos, compuestos por células secretoras llamadas galactositos. Es un arbusto perenne. Es monoica de ramificación simpodial y con variaciones en la altura de la planta que oscilan entre 1 y 5 m, aunque la altura máxima generalmente no excede los 3 m. Canepa y colaboradores en su estudio Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario demostraron que plantas con alto contenido de almidones como el plátano o la yuca son buenos en el proceso de coagulación-floculación en lixiviados. (**Ceballos, H y Cruz, A 2002**).

- **Moringa oleífera**

Es una de las plantas en los que más se han hecho estudios en la evaluación como coagulante natural. La utilización de las semillas de moringa molidas ha dado muy buenos resultados en países asiáticos y africanos para la clarificación de aguas y la remoción de bacterias. Las semillas de Moringa podrían evitar las millones de

muerres que ocasiona anualmente el agua contaminada. Las semillas poseen una sustancia coagulante y floculante que captura las partículas en suspensión en el agua y provocan que se precipiten. Las semillas pueden emplearse artesanalmente moliéndolas y en gran escala para purificar el agua.

Se han realizado varios trabajos en el mundo y en los últimos años en el Perú, en la utilización de productos naturales, cuyas características y propiedades permiten su empleo como coagulantes y floculantes primarios y/o ayudantes en el tratamiento de agua.

No obstante, a los buenos resultados obtenidos tanto a nivel internacional como nacional, resulta de gran interés continuar profundizando en algunos aspectos muy necesarios en la utilización de estos productos naturales.

Se usan las bayas o vainas maduras y secas en la cual se usan las almendras luego de haber retirado la cáscara, posteriormente es molida y se usas en dosis de 150 a 300 mg de semilla molida por litro. (***Arnal et al.2006; Babu et al. 2005***).

- **Semilla de Durazno y Habas**

Su fruto, llamado melocotón, piesco, ectarina, pelón o durazno, contiene una única y gran semilla encerrada en una cáscara dura las cuales son molidas para obtener un polvo que va actuar como coagulante.

- **Samanea saman**

Árbol de la lluvia, campano, cenízaro, cenícero, samán, tamarindo, es una especie botánica de árbol de hasta 20 m, con un dosel alto y ancho, de grandes y simétricas coronas. Tiene hojas compuestas, bipinnadas de 3-9 pares de hasta 1 dm de largo, de 2-4 dm de longitud, raquis piloso, y las flores, de color rosado, se reúnen en inflorescencias vistosas situadas al final de las ramitas. Los frutos son legumbres o vainas oscuras de 8 a 20 cm de largo. Se utiliza como forrajera por sus legumbres verdes y por sus semillas que son comestibles. También se cultiva como ornamental.

Gonzales y colaboradores estudiaron el exudado gomoso de *Samanea saman* como coagulante natural, estableciendo la dosis optima mediante prueba de jarras y determinando algunos parámetros físicos. Los resultados obtenidos demuestran la eficiencia de remociones significativas entre 99.7% y 99.8%. (**Arnal et al.2006; Babu et al. 2005**).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE ESTUDIO

La localidad de Huancayo se abastece de fuentes de agua superficial y subterránea. El Río Shullcas representa la principal fuente de abastecimiento de agua para el consumo humano de la Ciudad. Su caudal promedio en épocas de avenida alcanza los 5 m³/s y en estiaje su caudal baja hasta 1.5 m³/s.

El recurso superficial de agua de este río es compartido con la agricultura. Existe un acuerdo con los regantes de la cuenca del Shullcas, en la época de estiaje (junio-noviembre) para hacer uso del 50% para ambas partes. Dentro del ámbito geográfico de esta subcuenca del río Shullcas, se identifican 43 lagunas, todas emplazadas sobre los 4,000 msnm, de los cuales la mayor longitud son: Lazo Untay con 33 has. y Chuspicocha con 22.5 has. Aproximadamente. En la época de sequía (estiaje) se realiza la regulación del caudal con el agua almacenada en 10 lagunas ubicadas en la parte alta de la cuenca, que en total pueden almacenar hasta 5.8 millones de metros cúbicos. El Laboratorio está equipado medianamente para la ejecución de los análisis físicos, químicos, bacteriológicos y parasitológicos exigido por normativas de calidad vigentes, siendo:

- Resolución de Superintendencia N° 190-97/SUNASS
- Resolución de Superintendencia N° 180-97/SUNASS
- Resolución de Superintendencia N° 1121- 99/SUNASS
- Guías para la Calidad del Agua dados por SUNASS/OMS

La empresa SEDAM-HUANCAYO S.A. está considerada como una empresa grande a nivel nacional por administrar una población mayor a 300,000 habitantes.

Se recolectaron las muestreas del río Shullcas de P.T.A.P EN VILCACOTO - SEDAM HUANCAYO S.A. de la posa de captación siguiendo el plan de muestreo que se encuentra en la tabla 10; posteriormente se las caracterizó y mediante la tabulación de los datos se determinó las variables del proceso, con las cuales, se pudo realizar los cálculos ingenieriles para el dimensionamiento del equipo y finalmente con todos los datos obtenidos del equipo de prueba de jarras.

3.2. TOMA DE MUESTRA

Para que un programa de muestreo tenga éxito se ha de recoger un volumen de agua representativo de la masa de agua que se quiere investigar, y posteriormente llevarlo a un laboratorio isotópico. La primera preocupación durante el proceso de muestreo, transporte y almacenamiento es evitar el fraccionamiento isotópico a través de la evaporación o de pérdidas difusivas del vapor de agua, y/o el intercambio isotópico con los alrededores y con el material del envase. Estos efectos se pueden minimizar siempre y cuando se utilicen métodos de recolección y envases apropiados. Una de las primeras etapas consiste en seleccionar y comprobar cuidadosamente los métodos y las botellas que se utilizarán. Esta sección proporciona la información básica para la selección.

3.2.1. Programa de Muestreo.

Un programa de muestreo y análisis debe permitir que con los medios de que se disponga sea viable la caracterización del fenómeno a estudiar de una manera lo más aproximada posible a la realidad. Por ejemplo, para evaluar la calidad global de un pozo, habrán de conocerse sus características tanto en tiempo “normal”, como lluvioso, como seco y con diferentes caudales de extracción.

En un programa de muestreo se pueden establecer, en general, los siguientes puntos.

a) Estudios preliminares.

Antes de proceder al estudio de un sistema hídrico (natural o artificial) es muy importante el hacer una revisión sobre los datos anteriores existentes y procedentes de otras investigaciones anteriores: éstos informarán acerca de la calidad del agua, aportarán datos hidrológicos y climatológicos, darán la descripción de las condiciones locales que puedan influir en el estudio, así como ilustrarán respecto a otros factores condicionantes de la calidad y circunstancias del agua o sistema hídrico a evaluar.

b) Número de muestras a tomar y parámetros a determinar.

El número de toma de muestras y los parámetros a investigar estarán en función del grado de profundidad que se quiere alcanzar en el estudio, de las disponibilidades e infraestructura operativa con que cuente el laboratorio y las posibilidades de almacenamiento que se estimen aceptables.

Los parámetros normales utilizados para determinar la calidad del agua pueden ser de carácter físico, químico, orgánico, radiológico, biológico y microbiológico.

c) Tipo de muestras y muestreos.

En la actualidad, la existencia de toma muestras automático con diferentes posibilidades de programación en tiempo de obtención de muestra, tiempo entre muestreos, así como volumen de muestra a extraer, incluso en función del caudal de agua circulante por el sistema hídrico a investigar (a su vez medido por algún elemento sensor) dota de extrema versatilidad a estos equipos y los convierte en muchas ocasiones en aliados insustituibles.

La gran variedad de clases de aguas, de sistemas hídricos y de circunstancias que pueden presentar en la práctica hace que no exista un método totalmente normalizado listo para ser aplicado en todos los casos, tanto a la hora de seleccionar la clase de muestra a tomar, como el tipo y los puntos de muestreo y como, finalmente, la frecuencia de muestreo idónea. No obstante vamos a considerar algunas ideas que son ilustrativas a este respecto.

3.2.2. Tiempo de Muestreo

En el caso de aguas para consumo humano, las frecuencias de muestreo están bien delimitadas. Según la Ley de Aguas y Reglamentos que la desarrollan se establecen que el control de calidad del agua para consumo humano es ejercido por el proveedor en el sistema de abastecimiento de agua potable. En este sentido, el proveedor a través de sus procedimientos garantiza el cumplimiento de las disposiciones y requisitos sanitarios del presente reglamento, y a través de prácticas de autocontrol, identifica fallas y adopta las medidas correctivas necesarias para asegurar la inocuidad del agua que provee.

En el orden práctico, para un agua cruda superficial se realizan un seguimiento efectivo sobre sus pautas de calidad, por ejemplo, mediante un muestreo Diario del agua cruda superficial en el ingreso a la planta de tratamiento de agua potable y el análisis de: temperatura, pH, conductividad, turbiedad y color en el agua.

Se pueden tomar muestras únicas tres veces por día. En el caso concreto de un seguimiento para caracterizar la situación fisicoquímica de un agua cruda superficial para su depuración futura, deberán tomarse muestras, tanto del global de agua de toda la población, como de los puntos de ingresos particulares de determinadas zonas o sectores.

3.3. PREPARACIÓN DE MUESTRAS DEL AGUA

La conservación de una muestra de agua dependerá del parámetro o analizar que nos marcará el tipo de envase, el agente preservante y el tiempo máximo de almacenamiento.

Con carácter general, el análisis debe ser lo más rápido posible con relación a la toma de muestras, lo que puede garantizar una mínima alteración de la muestra de agua desde su origen hasta el laboratorio de análisis. Esto es particularmente válido para análisis microbiológico o biológico.

a) Para análisis de parámetros físico-químico:

Pasos prácticos para la toma de la muestra para análisis físico-químico

- Verificar el correcto rotulado de los envases.
- Que el envase tenga una capacidad de por lo menos de 1 litro.

- Enjuagar 3 veces con la fuente de agua que se va a muestrear, desechando el agua de enjuague.
- Recoger la muestra. Se puede dejar un mínimo sin llenar que permita la variación de volumen debida a potenciales diferencias térmicas.
- Cerrar el envase asegurando su cierre hermético
- Para una serie de parámetros se recomienda los análisis in situ como forma de conseguir resultados analíticos representativos. Este es el caso de temperatura, pH, conductividad eléctrica, color, turbiedad. No obstante, el análisis in situ puede extenderse en la actualidad mediante el empleo de un potenciómetro (pH, conductividad eléctrica), termómetro para la temperatura y un turbidímetro para la turbiedad.

3.4. DETERMINACIÓN DEL pH.

3.4.1. Fundamento

La medición del pH del agua es muy importante para muchos tipos de muestra.

Los valores altos y bajos de pH son tóxicos para organismos acuáticos, ya sea directamente o indirectamente. Es el parámetro más importante utilizado en la evaluación de las propiedades corrosivas de un medio ambiente acuático.

3.4.2. Reactivos

- Agua libre de dióxido de carbono.
- Disoluciones amortiguadoras de pH de referencia

3.4.3. Equipos y Materiales

- Recipiente de muestreo.
- Termómetro.
- Potenciómetro.
- Electrodo de vidrio y electrodo de referencia

3.4.4. Procedimiento

Mida la temperatura de las disoluciones amortiguadoras de pH. Ajuste el control de la temperatura del potenciómetro. De acuerdo con las instrucciones del fabricante, considere la posibilidad del punto isopotencial. Las disoluciones amortiguadoras de pH y las muestras deben tener la misma temperatura, cuando sea posible.

Las mediciones de pH en agua con una baja fuerza iónica (conductividad inferior a 5 mS/m) y baja capacidad reguladora de pH necesitan de cuidados especiales. Ejemplos de tales aguas son: agua desionizada, condensada y de lluvia.

3.5. DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.

3.5.1. Fundamento

La conductividad es la capacidad que posee una solución acuosa de conducir la corriente eléctrica, a 25°C.

El método consiste en la medida directa de la conductividad utilizando una celda de conductividad previamente estandarizada con una solución de KCl.

3.5.2. Reactivos

- Agua destilada y desionizada.
- Solución estándar de KCl 0.01 M.

3.5.3. Equipos y Materiales

- Medidor de conductividad.
- Celda de conductividad.
- Termómetro con precisión de 0.1°C, en el rango de 20-30°C, o sensor de temperatura en el equipo.
- Matraz aforado de 1 L.
- Vasos de bohemia

3.5.4. Procedimiento

Es preferible que la medida sea realizada a 25°C, en caso contrario se deben realizar las correcciones necesarias para la temperatura de trabajo y el resultado final debe ser informado a 25°C.

- a) Determinación de la constante de la celda: Enjuagar la celda de conductividad con al menos tres porciones de la solución de KCl 0.01 M. Ajustar la temperatura de la cuarta porción a $25.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ o realizar las correcciones necesarias para que el valor quede determinado a 25°C y medir.

Si el medidor de conductividad lee resistencia (R) en ohms, medir la resistencia de esta cuarta porción y la temperatura. Calcular la constante de la celda, C, como:

$$C, \text{ cm}^{-1} = 0.0011412 R_{ka} [1 + 0.019(T - 25)]; \text{ d\u00f3nde:}$$

R KCl = resistencia medida en ohms.

T = temperatura en $^{\circ}\text{C}$.

- b) Enjuagar la celda de conductividad con una o m\u00e1s porciones de la muestra a medir.
- c) Ubicar la celda en la muestra de tal manera que no queden retenidas burbujas de aire.
- d) Ajustar la temperatura de la muestra a $25.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ o realizar las correcciones necesarias para que el valor quede determinado a 25°C .
- e) Medir la resistencia o la conductividad de la muestra.

3.6. DETERMINACI\u00d3N DE TURBIEDAD.

3.6.1. Fundamento

La turbiedad en agua se debe a la presencia de part\u00edculas suspendidas y disueltas.

Materia en suspensi\u00f3n como arcilla, cieno o materia org\u00e1nica e inorg\u00e1nica finamente dividida, as\u00ed como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos. La transparencia del agua es muy importante cuando est\u00e1 destinada al consumo del ser humano, a la elaboraci\u00f3n de productos destinados al mismo y a otros procesos de manufactura que requieren el empleo de agua con caracter\u00edsticas espec\u00edficas, raz\u00f3n por la cual, la determinaci\u00f3n de la turbiedad es muy \u00fatil como indicador de la calidad del agua, y juega un papel muy importante en el desempe\u00f1o de las plantas de tratamiento de agua, formando como parte del

control de los procesos para conocer cómo y cuándo el agua debe ser tratada.

3.6.2. Reactivos

Todos los reactivos utilizados en este procedimiento deben ser grado analítico a menos que se especifique otra cosa.

Agua: Debe entenderse agua que cumpla con las siguientes características:

- a) Resistividad, megohm-cm a 0,2 min
- b) Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C: 5,0 Máx.
- c) pH: 5,0 a 8,0.
 - Sulfato de hidracina $(\text{NH}_2)_2\text{H}_2\text{SO}_4$
 - Hexametilentetramina $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$

3.6.3. Equipos y Materiales

La sensibilidad del instrumento debe de permitir la detección de diferencias de turbiedad de 0,02 o menos unidades y debe de cubrir un intervalo de 0 a 40 unidades. Las diferencias en el diseño de los turbidímetros puede causar diferencias significativas sobre los resultados obtenidos, para evitar esto el equipo debe de cumplir con las siguientes características:

- Fuente de luz. Lámpara de tungsteno.
- Distancia recorrida por la luz incidente y dispersada dentro del tubo.
- No debe exceder 10 cm.
- Ángulo de aceptación del haz de luz por el receptor. Centrado a 90 o del haz de luz incidente y sin exceder a ± 30 o a partir del detector.

- Detector y sistema de filtro debe tener una respuesta pico entre 400 nm y 600 nm.
- Para la determinación en campo se pueden emplear turbidímetros portátiles los cuales cumplan con las especificaciones antes mencionadas.
- Celdas de vidrio de cristal incoloro y transparente, deben de mantenerse cuidadosamente limpias por dentro y por fuera y evitar que se rayen o estrellen.
- Balanza analítica con precisión de 0,1 mg.
- Se ha realizado un experimento para comparar los resultados obtenidos empleando un equipo de laboratorio contra los obtenidos con un equipo portátil, los resultados mostraron que no existe diferencia significativa entre ambos.

3.6.4. Procedimiento

Preparación y acondicionamiento de la muestra: Analizar la muestra en un periodo no mayor de 24 h. Si la muestra se encuentra en refrigeración, sacarla y permitir que alcance la temperatura ambiente antes de que se realice el análisis.

Análisis de muestras con turbiedad menor a 40 unt.

- Encender el equipo y dejar estabilizando de acuerdo al manual de operación del equipo.
- Revisar la calibración del equipo con uno de los estándares dentro del intervalo de trabajo.
- Enjuagar la celda dos veces con muestra para evitar errores por dilución. Llenar la celda. Cuando la determinación se realice en campo las celdas deben de estar perfectamente secas para poder determinar la turbiedad de la muestra que se tome.

- Reemplazar la celda conteniendo la disolución patrón, por la celda que contiene la muestra por analizar y cerrar el compartimento de la celda.
- Leer la turbiedad de la muestra, homogeneizando la muestra contenida en la celda entre cada lectura.
- Se recomienda tomar varias lecturas homogeneizando entre cada una de ellas. Verificar la calibración del turbidímetro cada vez que se cambie de intervalo de trabajo.

Cálculos

Lectura directa, el equipo te da lectura directa y se expresan en unidades nefelométrías de turbiedad, UNT.

3.6.5. Criterios de Evaluación

Reportar los resultados de la siguiente forma con la precisión correspondiente:

Tabla N° 2: Margen de Turbiedad

Margen de turbiedad UNT	Informe de cifra UNT más próxima
0 - 1,0	0,05
1 - 10	0,1
10 -40	1
40 - 100	5
100 - 400	10
400 - 1 000	50
>1000	100

3.7. DETERMINACIÓN DEL COLOR.

3.7.1. Fundamento

Se basa en la medición del color verdadero y/o aparente en una muestra de agua natural, mediante su comparación visual con una escala estandarizada de platino-cobalto. (La unidad platino-cobalto es la que se produce al disolver un mg de platino/L en forma de ion cloroplatinato). Este método depende de la apreciación visual del color de la muestra por el analista en comparación con una escala estandarizada. La percepción del color entre diferentes personas varía, por lo que se debe efectuar una selección del analista basada en su capacidad de apreciación del tono e intensidad del color.

3.7.2. Equipos y Materiales

- Fuente de luz. Lámpara de tungsteno.
- Distancia recorrida por la luz incidente y dispersada dentro del tubo.
- No debe exceder 10 cm.
- Ángulo de aceptación del haz de luz por el receptor. Centrado a 90° del haz de luz incidente y sin exceder a $\pm 30^\circ$ o a partir del detector.
- Detector y sistema de filtro debe tener una respuesta pico entre 400 nm y 600 nm.
- Celdas de vidrio de cristal incoloro y transparente, deben de mantenerse cuidadosamente limpias por dentro y por fuera y evitar que se rayen o estrellen.

Cálculos

Lectura directa, el equipo te da lectura directa y se expresan en unidades de color.

Tabla N° 3: Color del agua aceptable para consumo humano

Característica	Expresado como próxima	Valor máximo aceptable
Color	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15

3.8. EXTRACCION DE COAGULANTE NATURAL.

3.8.1. Fundamento

El almidón se extrajo según el método descrito por Córdova J y otros, 2003.

3.8.2. Equipos y Materiales

- Licuadora
- Vasos de precipitación
- Agua destilada
- Molino

3.8.3. Procedimiento

- Para la obtención del almidón, se pesaron y lavaron se eliminaron totalmente la tierra, luego se pelaron y se trozaron con 125 ml de agua en una licuadora, mezclándose a velocidad media durante unos 5 minutos.
- Luego esto se filtró haciendo varias lavadas y luego se deja sedimentar por 12 horas. Posteriormente a esto se extrae el sobrenadante se separó por decantación y el sedimento se dejó reposar en refrigeración durante la noche.

- Al día siguiente se repitió la operación, eliminando nuevamente el sobrenadante. El almidón extraído se seca en un secado de aire libre con el sol por 24 horas.
- Finalmente se pasó al almidón por un molino para obtener gránulos pequeños y uniformes

3.8.4. Preparación de la solución del coagulante natural

Previo a realizar las pruebas de jarras se prepara la solución de almidón de la siguiente forma:

- Se pesa una determinada cantidad de almidón dependiendo de las concentraciones en las que se vayan a trabajar y aforarlas a la cantidad de agua que se necesita.

Cálculos

A partir de 6 kg. De tubérculos frescos de yuca se obtuvo 2.06 kg. de almidón, siendo su rendimiento de 35%.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DE LA TOMA DE MUESTRA.

En la tabla N° 4 se presenta el contenido medio de turbidez y color disminuido por tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A. vertido en el año 2014. Además se adicionan los valores de pH inicial y final del agua superficial, donde la mayor diferencia de pH se da en el T18, con un PH de 7,72 y la menor diferencia es en el T7 con un PH de 7,30. Además el porcentaje de turbidez y color disminuido es mayor en el T11 con un 98.78 % de disminución.

El resultado del análisis de variancia (ANVA) para turbidez y color disminuido por tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A. (Tabla N° 4), muestra diferencias altamente significativas entre tratamientos. Esto se debe a diferencias altamente significativas en la disminución de la turbidez y color por efecto de las dosis de reactivo, tiempo de disminución y por la interacción entre ambos.

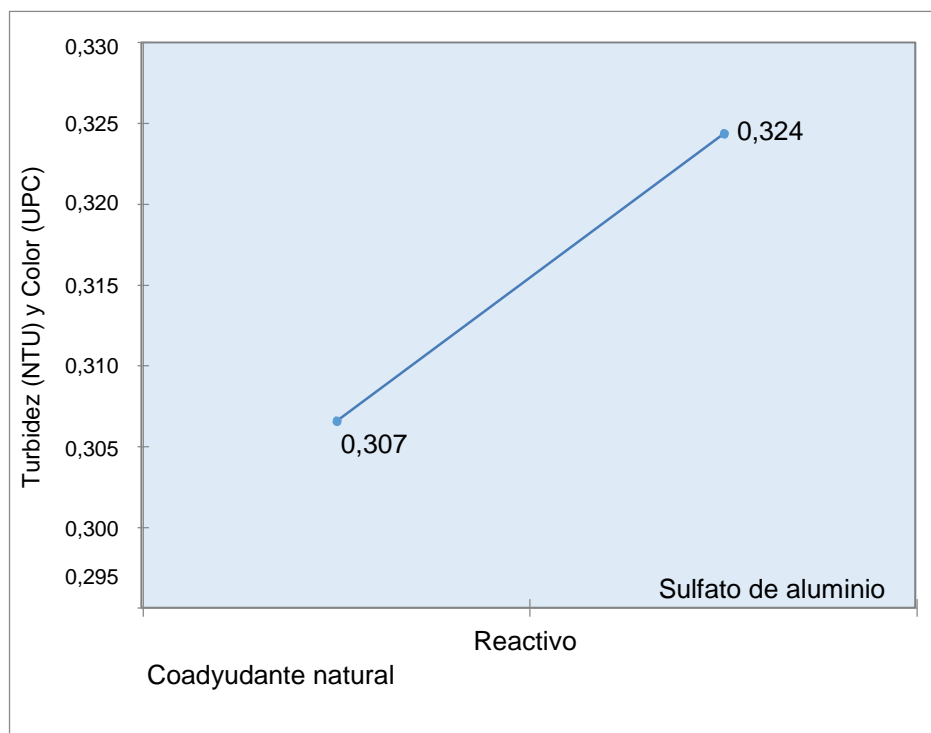
**TABLA N° 4: Contenido de datos iniciales y finales con $Al_2(SO_4)_3$ /
coadyudante natural en la disminución de la turbiedad y color en la
P.T.A.P. de la empresa SEDAM-HUANCAYO.**

N° del ensayo	Dosis	Tiempo (min)	Turbiedad (UNT)		Color (UPC)		pH		% de Reducción de Turbiedad Y Color
	$Al_2(SO_4)_3$ + coadyudante		Inicial	final	inicial	final	inicial	final	
T1	0.36 + 0	15	24.1	3	157	2	7.91	7.65	97
T2	0,36 + 0.20	15	18.4	1.2	85	4	7.82	7.34	90.4
T3	0.60 + 0.30	15	42.2	0.98	296	1	7.75	7.56	98.70
T4	0,60 + 0.40	15	16.1	1	134	1	7.69	7.5	98.79
T5	1.15 + 0.50	15	12.3	1.07	111	8	7.5	7.5	80.87
T6	1.15 + 0.60	15	10.4	1.06	98	4	7.72	7.52	91,89
T7	0.36 + 0.70	30	60.4	7	412	15	7.65	7.30	54.92
T8	0,36 + 0.80	30	13.7	5	118	6	7.68	7.44	62.90
T9	0.60 + 0.90	30	19	1.01	1.39	2	8.03	7.67	97.58
T10	0.60 + 1.00	30	288	1.09	2060	2	7.53	7.59	98.12
T11	1.15 + 1.10	30	8.69	1	76	1	7.98	7.71	98.78
T12	1.15 + 1.20	30	272	1.87	2090	4	7.74	7.47	97.89
T13	0.36 + 1.30	45	16.1	1.01	1.39	1	8.03	7.67	99.58
T14	0,36 + 1.40	45	12.3	1	114	3	8.12	7.60	99.64
T15	0.60 + 1.50	45	10.8	1.32	100	9	7.71	7.63	98.75
T16	0,60 + 1.60	45	17.9	1.56	82	12	7.98	7.5	87.99
T17	1.15 + 1.70	45	24.7	2.09	161	14	7.98	7.67	80.99
T18	1.15 + 1.80	45	19.6	2.4	109	8	8	7.72	89.99
Promedio :			49.2605556	1.36777778	344.765556	4.94444444	7.78	7.61444444	94.0641176

TABLA N° 5: Análisis de variancia (ANVA) para la turbidez y color en agua con el $Al_2(SO_4)_3$ /coadyudante natural en la P.T.A.P. en Vilcacoto – SEDAM Huancayo S.A. (Año 2014).

Fuente	g.l	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Tratamientos	18	10,816	0,601	19,658	< 0,0001
Reactivo	1	0,003	0,003	0,094	0,763
Dosis	2	4,718	2,359	77,176	< 0,0001
Tiempo	2	2,030	1,015	33,200	< 0,0001
Rep	1	0,065	0,065	2,136	0,162
Reactivo*dosis	2	0,003	0,002	0,056	0,945
Reactivo*tiempo	2	0,006	0,003	0,090	0,914
Dosis*tiempo	4	3,965	0,991	32,431	< 0,0001
Reactivo * dosis * tiempo	4	0,026	0,006	0,210	0,929
Error	17	0,520	0,031		
Total corregido	35	11,335			

FIGURA N° 1: Contenido medio después de turbidez y color del agua con el sulfato de aluminio/coadyudante natural en la P.T.A.P. (Año 2014)



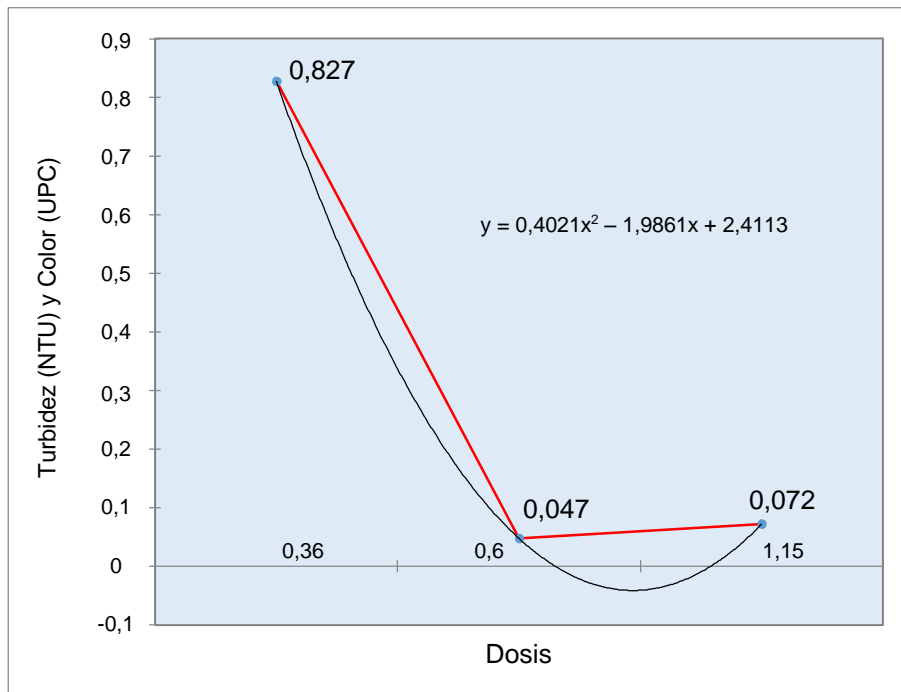
Aunque la figura N° 1 indique una mayor disminución de turbidez y color por parte de la coadyudante natural, estadísticamente, esta diferencia no es significativa, tal como lo demuestra el ANVA.

TABLA N° 6: Prueba de comparación Tuckey para dosis de los reactivos (sulfato de aluminio/coadyudante natural) en la disminución de turbidez y color en la P.T.A.P. de la empresa SEDAM-HUANCAYO S.A.

Dosis de reactivo (g)	Media	Grupos	
0,6	0,047	A	
1,15	0,072	A	
0,36	0,827		B

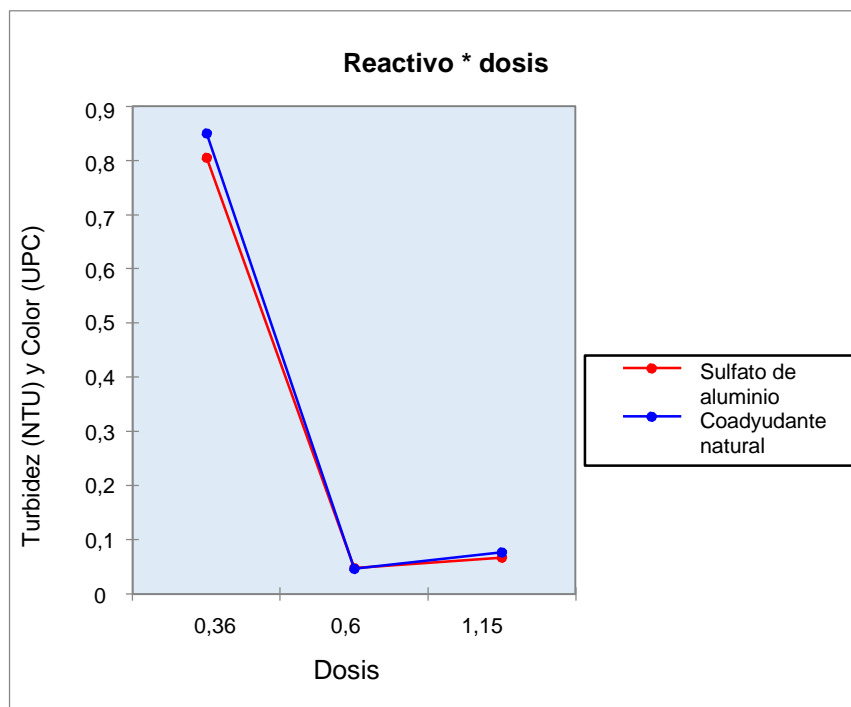
Los resultados de la prueba Tuckey para dosis de reactivo, arroja que no existen diferencias significativas entre las dosis 0,6 g y 1,15 g, pero su efecto en la disminución de turbidez y color es significativamente mayor que la dosis 0,36 g.

FIGURA N° 2: Contenido medio de Turbidez (NTU) Y Color (UPC) por efecto de dosis de reactivo (sulfato de aluminio/coadyudante natural), luego de la disminución de turbidez y color en el agua de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A. (Año 2014).



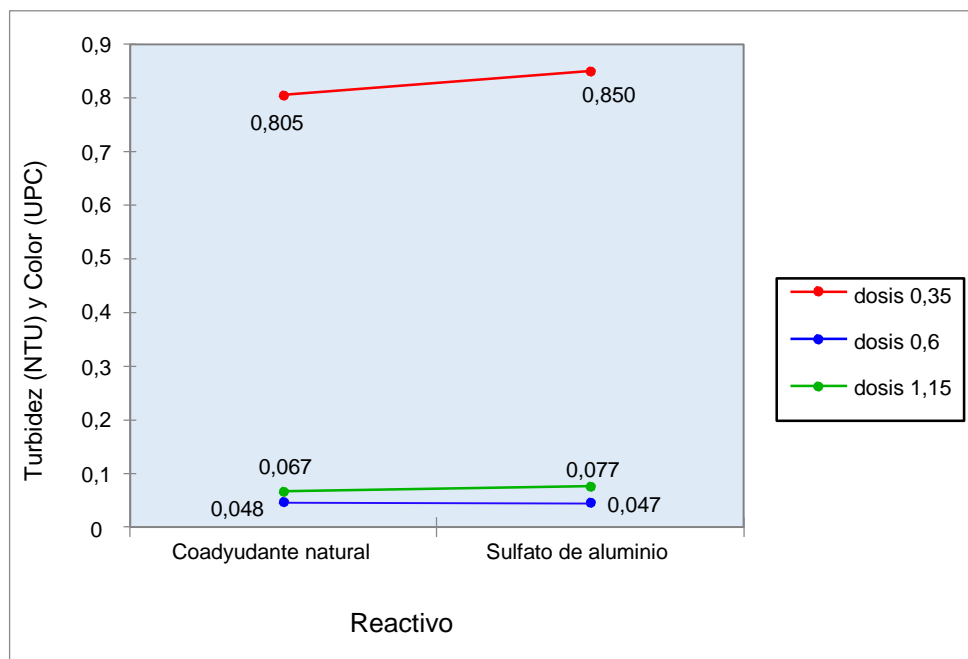
En la figura N° 2 se aprecia claramente que con 0,6 g de sulfato de aluminio/coadyudante natural se obtiene la mayor disminución de la Turbidez y color de las aguas de P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A. (Año 2014).

FIGURA N° 3: Contenido medio de turbidez y color por efecto de interacción de reactivo y dosis de reactivo en la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A. (Año 2014).



En la figura N° 3 se aprecia que empleando 0,6 g de sulfato de aluminio y coadyudante natural se puede disminuir eficazmente la turbidez y color de las aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A., empleando sulfato de aluminio/coadyudante natural.

FIGURA N° 4: Contenido medio de turbidez y color por efecto de interacción de tipo de reactivo y dosis de reactivo, en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A. (Año 2014).



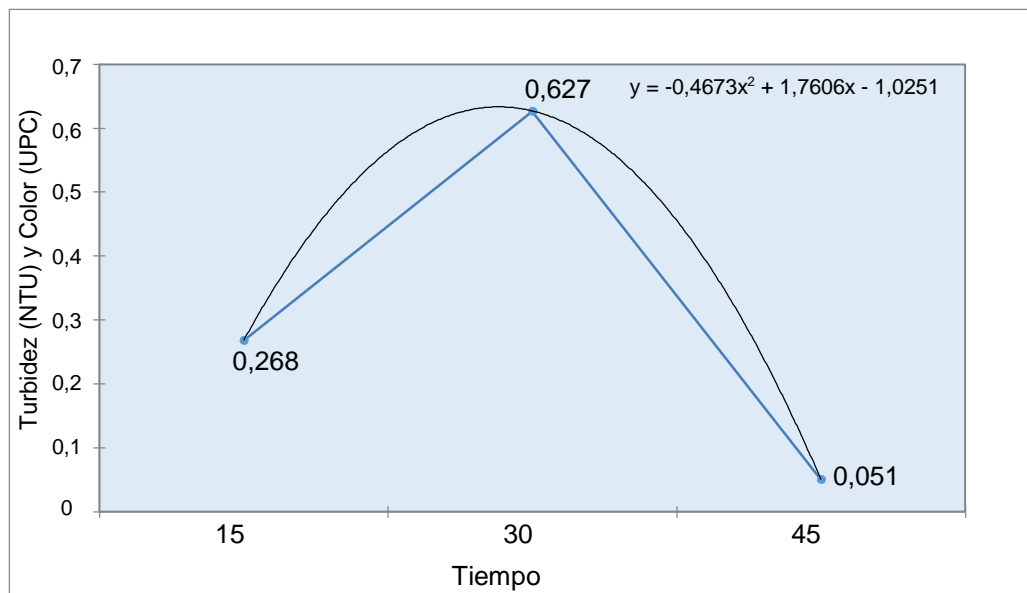
Como se puede apreciar en la figura N° 4, el Contenido medio de turbidez y color por efecto de interacción de tipo de reactivo y dosis de reactivo, luego de tratamiento químico, la mejor dosis para remover el turbidez y color fue de 0,6 g, sin influir el tipo de reactivo empleado, sulfato de aluminio y coadyudante.

TABLA N° 7: Prueba de comparación Tuckey para tiempo de exposición al reactivo en la disminución de turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.

Tiempo	Media	Grupos		
45	0,051	A		
15	0,268		B	
30	0,627			C

Los resultados de la prueba Tuckey para tiempo de exposición del efluente al reactivo, arroja que existen diferencias significativas por su efecto en la disminución de la turbidez y color, Dando como resultado, que con 45 minutos se ha logrado disminuir mayor cantidad de turbidez y color, tal como se aprecia en la figura N° 5.

FIGURA N° 5: Contenido medio de turbidez y color por efecto de tiempo de exposición, luego del tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A. (Año 2014).



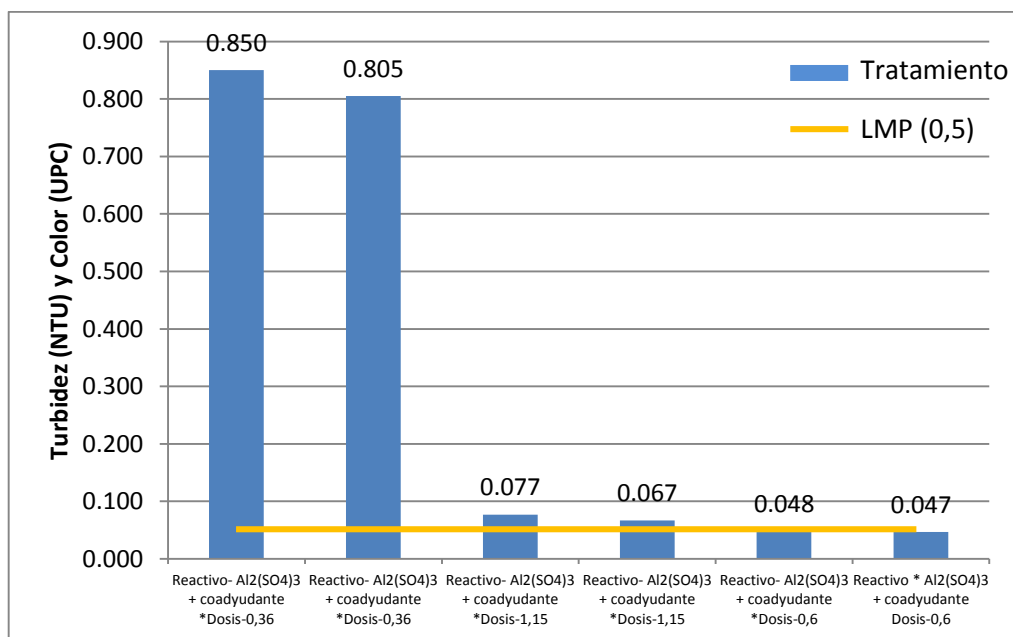
Después del tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A. el Contenido medio de turbidez y color por efecto de tiempo de exposición, se obtiene mayor disminución de turbidez y color a 45 minutos. En la figura se ha añadido la ecuación de regresión cuadrática para el comportamiento del tiempo sobre la disminución de turbidez y color.

TABLA N° 8: Prueba de comparación Tuckey para la interacción tipo de reactivo: tiempo de exposición al reactivo, en la disminución de turbidez y color aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.

Categoría	Media	Grupos	
Reactivo * Al ₂ (SO ₄) ₃ + coadyudante Dosis-0,6	0,047	A	
Reactivo- Al ₂ (SO ₄) ₃ + coadyudante *Dosis-0,6	0,048	A	
Reactivo- Al ₂ (SO ₄) ₃ + coadyudante *Dosis-1,15	0,067	A	
Reactivo- Al ₂ (SO ₄) ₃ + coadyudante *Dosis-1,15	0,077	A	
Reactivo- Al ₂ (SO ₄) ₃ + coadyudante *Dosis-0,36	0,805		B
Reactivo- Al ₂ (SO ₄) ₃ + coadyudante *Dosis-0,36	0,850		B

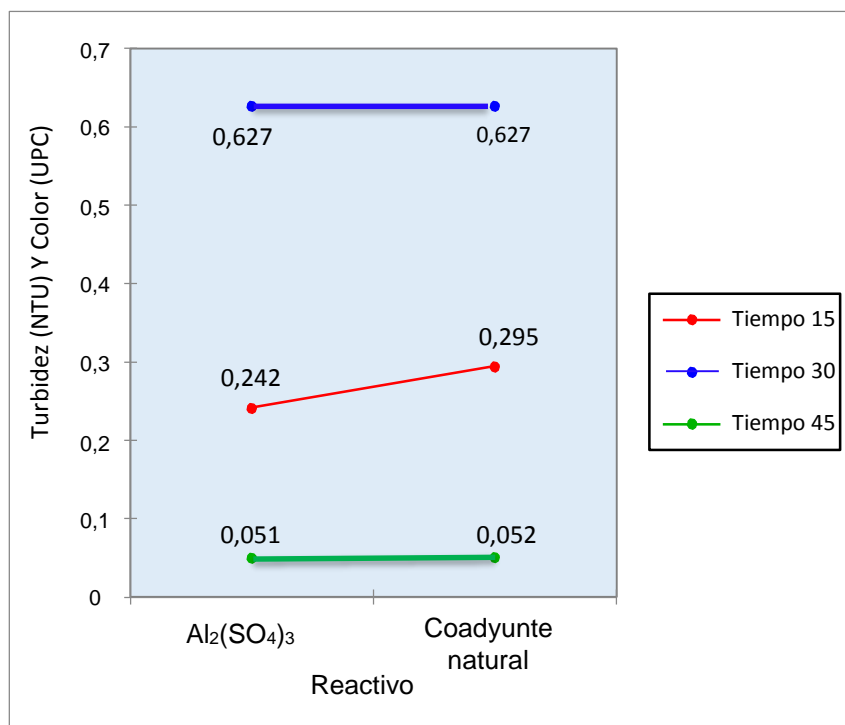
Los resultados de la prueba Tuckey para la interacción clase de reactivo por tiempo de exposición al reactivo (Tabla N° 8 y figuras N° 5, en la disminución de turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A. arrojan que el mejor tratamiento para disminuir la turbidez y color fue empleando dosis de Al₂(SO₄)₃ + coadyudante g, pero que no difiere estadísticamente de la dosis a 1,15 con cualquier reactivo empleado, pero superan a la dosis de 0,36 g en la cantidad de turbidez y color disminuido.

FIGURA N° 6: Contenido medio de turbidez y color por efecto de interacción tipo de reactivo por dosis de reactivo, luego del tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014).



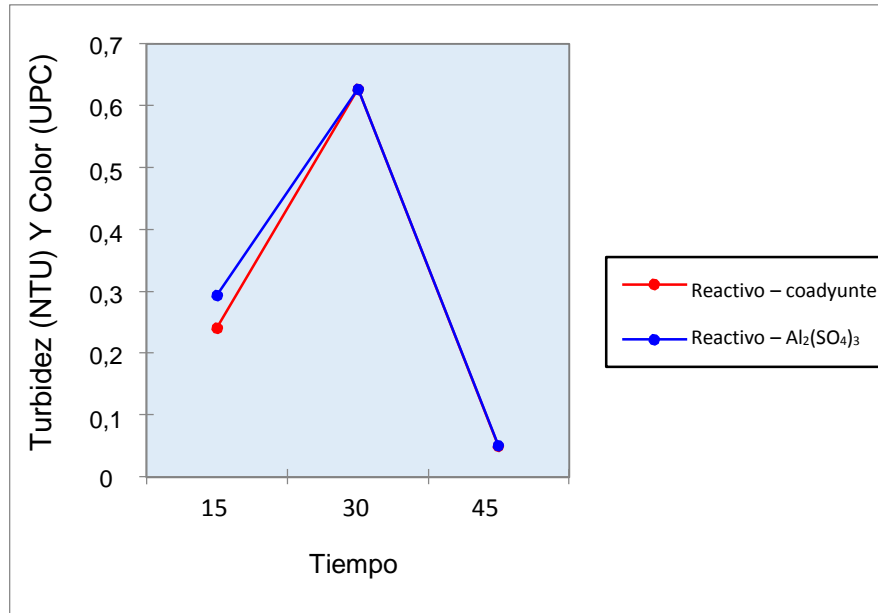
En la figura N° 6, Contenido medio de turbidez y color por efecto de interacción tipo de reactivo por dosis de reactivo, luego del tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A el año 2014, se observa claramente que los tratamientos con la dosis de 0,6 g de reactivo de sulfato de aluminio/coadyudante natural no superan los límites máximos permisibles, es decir no superan los 0.05 ml/L.

FIGURA N° 7: Contenido medio de turbidez y color por efecto de tipo de reactivo y tiempo de exposición, luego de la tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014).



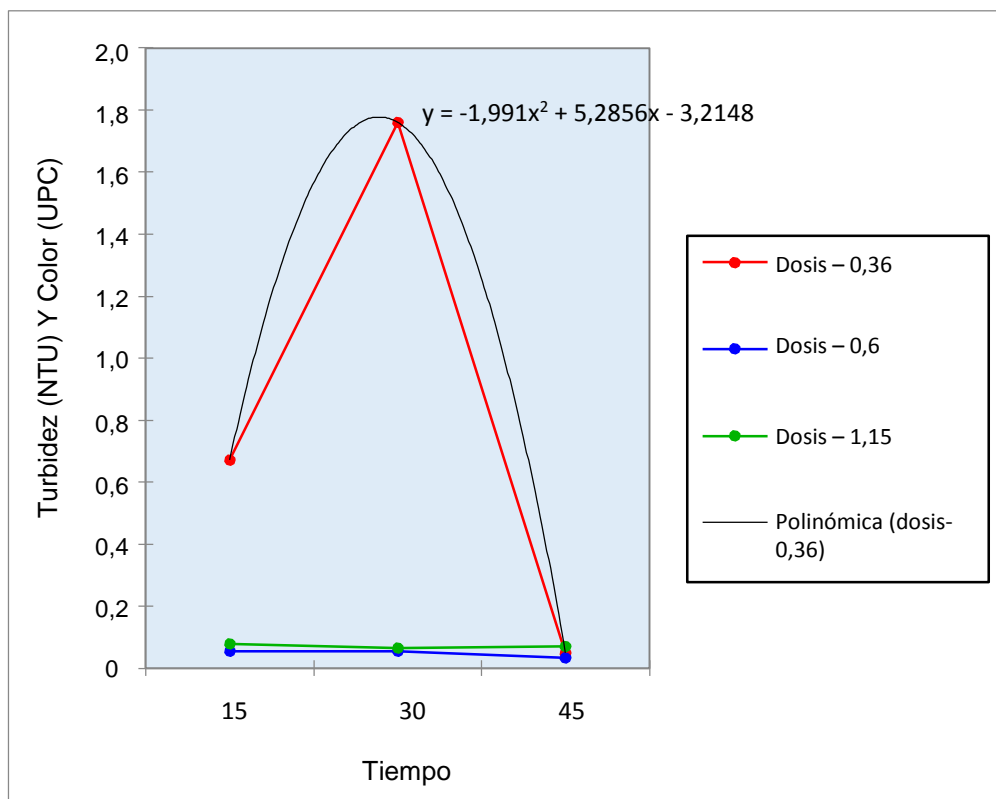
Cómo se puede apreciar en esta figura no existe diferencia entre la cantidad de turbidez y color disminuido por alguno de los reactivos, pero si por efecto del tiempo, obteniéndose mayor porcentaje de remoción a un tiempo de 45 minutos.

FIGURA N° 8: Contenido medio de turbidez y color por efecto de interacción tiempo de exposición y tipo de reactivo, luego de la tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014).



El Contenido medio de turbidez y color por efecto de interacción tiempo de exposición y tipo de reactivo, luego de la tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A, no existe interacción significativa entre tipo de reactivo y tiempo de disminución de turbidez y color, obteniéndose la mayor disminución de turbidez y color a 45 minutos. La tendencia del tiempo en la disminución la turbidez y color es cuadrática.

FIGURA N° 9: Contenido medio de turbidez y color por efecto de interacción tiempo de exposición y dosis de reactivo, luego de la tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014)



En el Contenido medio de turbidez y color por efecto de interacción tiempo de exposición y dosis de reactivo, luego del tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A, existe interacción entre el tiempo de exposición y las dosis. El comportamiento de la dosis 0,36 g sería cuadrático, llegando a ser efectiva en la remoción a mayor tiempo. Según la prueba de Tuckey, la cantidad de cadmio removido a dosis de 0,6 g de reactivo, no difiere estadísticamente de la dosis de 1,15 g de reactivo utilizado.

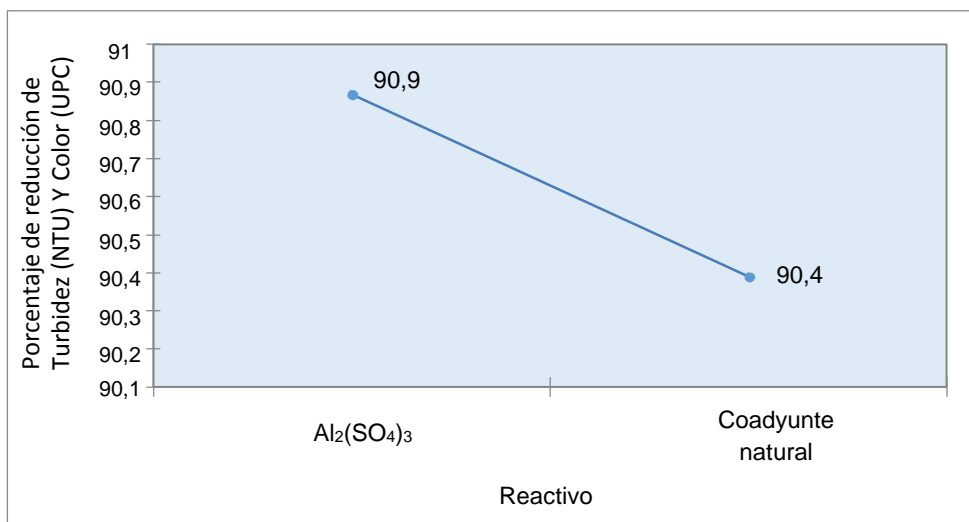
4.1.1. Capacidad de remoción de turbidez y color

TABLA N° 9: Análisis de variancia (ANVA) para capacidad de disminución de turbidez y color mediante tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014)

Fuente	g.l	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Tratamientos	18	6797,267	377,626	17,137	< 0,0001
Reactivo	1	2,053	2,053	0,093	0,764
Dosis	2	3164,804	1582,402	71,812	< 0,0001
Tiempo	2	874,894	437,447	19,852	< 0,0001
Rep	1	40,768	40,768	1,850	0,192
Reactivo*dosis	2	2,388	1,194	0,054	0,947
Reactivo*tiempo	2	3,580	1,790	0,081	0,922
Dosis*tiempo	4	2687,297	671,824	30,488	< 0,0001
Reactivo*dosis*tiempo	4	21,483	5,371	0,244	0,910
Error	17	374,603	22,035		
Total corregido	35	7171,870			

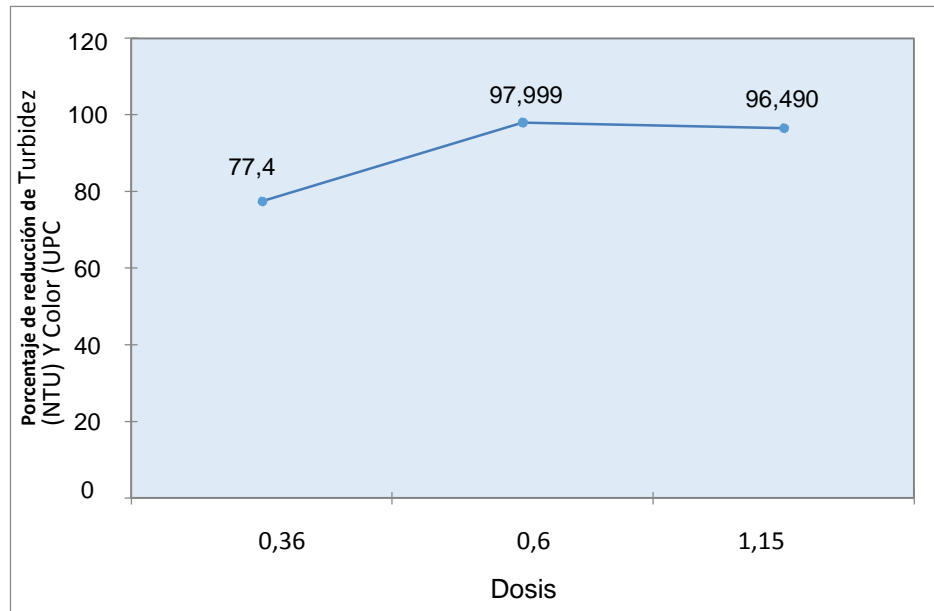
Al igual que los resultados del análisis de variancia (ANVA) para contenido final de turbidez y color, el porcentaje de turbidez y color disminuido por tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Tabla N° 5), muestra diferencias altamente significativas entre tratamientos. Esto se debe a diferencias altamente significativas en la disminución de cadmio por efecto de las dosis de reactivo, tiempo de disminución y por la interacción dosis por tiempo.

FIGURA N° 10: Capacidad de disminución de la turbidez y color del tratamiento químico en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014), mediante tratamiento químico con sulfato de aluminio y coadyudante natural.



Como se puede observar en la figura N° 10 se nota una ligera superioridad en la capacidad de disminución de la turbidez y color por parte del sulfato de aluminio/coadyudante natural pero esta diferencia estadísticamente no es significativa.

FIGURA N° 11: Efecto de la dosis de sulfato de aluminio/coadyudante natural sobre la capacidad de disminución de la turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014)

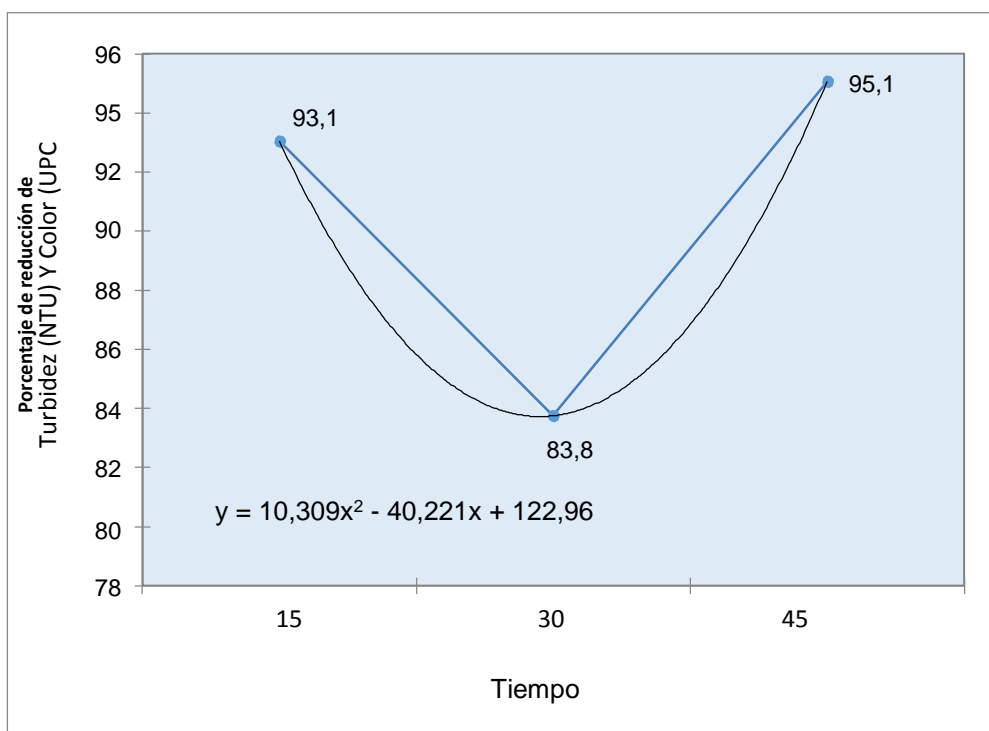


En la figura N° 11, El Efecto de la dosis de sulfato de aluminio/coadyudante natural sobre la capacidad de disminución de la turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A, con las dosis de 0,6 g y 1,15 g se ha disminuyo mayor porcentaje de turbidez y color, superando el accionar de la dosis 0,36. Esta apreciación queda corroborada por el ANVA y la comparación múltiple de medias (Tabla N° 10).

TABLA N° 10: Prueba de comparación Tuckey para efecto de dosis de sulfato de aluminio/coadyudante natural sobre la capacidad de remoción de turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.

Dosis de reactivo (g)	Porcentaje medio de reducción	Grupos	
0,60	97,999	A	
1,15	96,490	A	
0,36	77,398		B

FIGURA N° 12: Efecto de la dosis de sulfato de aluminio/coadyudante natural sobre la capacidad de disminución de turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014)



En la figura N° 12 se aprecia que con tiempos de 15 y 45 minutos se logró disminuir la turbidez y color en mayor porcentaje, con respecto al tiempo de 30 minutos,

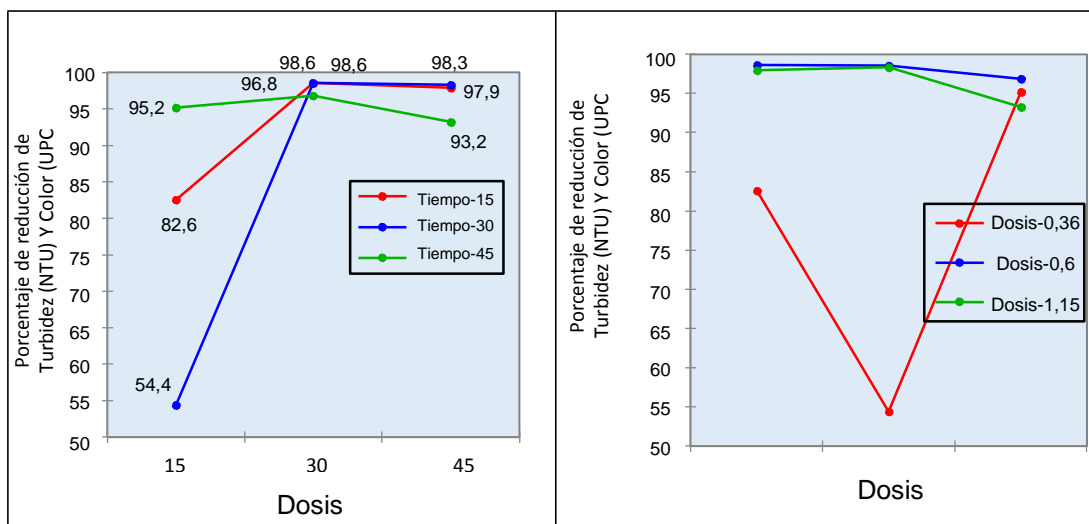
mostrando el tiempo un comportamiento cuadrático en la capacidad de disminución de turbidez y color. Este resultado queda comprobado mediante el ANVA y la prueba Tuckey (Tabla N° 11).

TABLA N° 11: Prueba de comparación Tuckey para tiempo de reacción en la capacidad de disminución de turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A, mediante sulfato de aluminio/coadyudante natural.

Tiempo de reacción	Porcentaje medio de reducción	Grupos	
45	95,080	A	
15	93,051	A	
30	83,756		B

En la figura N° 13 se observa claramente la interacción entre el efecto de las dosis y el tiempo de reacción de los reactivos durante la disminución de turbidez y color. Existiendo mayor porcentaje de disminución de turbidez y color con una dosis de 0.6 y un tiempo de 45 minutos.

FIGURA N° 13: Prueba de comparación Tuckey para tiempo de reacción en la capacidad de disminución de turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A, mediante sulfato de aluminio/coadyudante natural.

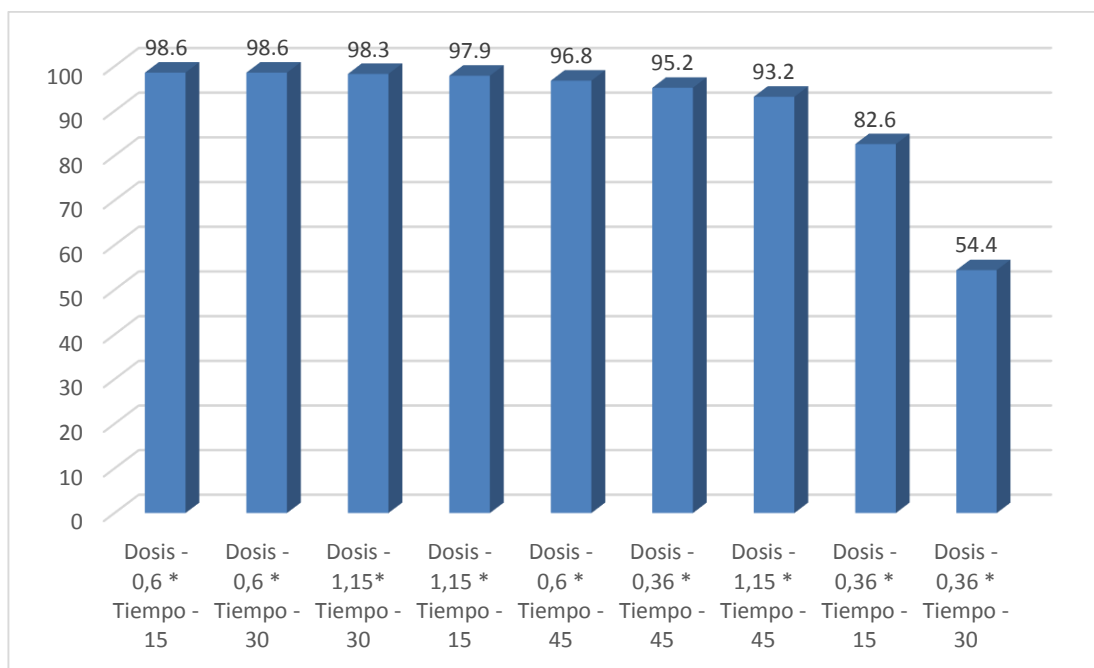


La mayor Disminución se ha logrado bajo el tratamiento 0,6 g de reactivo y 15 minutos, pero estadísticamente sólo superó a los tratamientos 0,36 g por 15 minutos y 0,36 g por 30 minutos (Tabla N° 12 y Figura N° 14).

TABLA N° 12: Prueba de comparación Tuckey para interacción dosis de reactivo por tiempo de reacción, en la capacidad de disminución de la turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.

Categoría	Tratamiento	Grupos		
Dosis-0,6*Tiempo-15	98,614	A		
Dosis-0,6*Tiempo-30	98,556	A		
Dosis-1,15*Tiempo-30	98,310	A		
Dosis-1,15*Tiempo-15	97,940	A		
Dosis-0,6*Tiempo-45	96,827	A		
Dosis-0,36*Tiempo-45	95,192	A		
Dosis-1,15*Tiempo-45	93,221	A	B	
Dosis-0,36*Tiempo-15	82,597		B	
Dosis-0,36*Tiempo-30	54,404			C

FIGURA N° 14: Comparación múltiple para efecto de interacción dosis (g) de reactivo por tiempo de reacción (min), en la capacidad de disminución de turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.



4.1.2. Modificación del pH en el efluente

Los resultados del ANVA para cambio de pH en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A. por efecto de la disminución de la turbidez y color, demuestra diferencias significativas entre tratamientos.

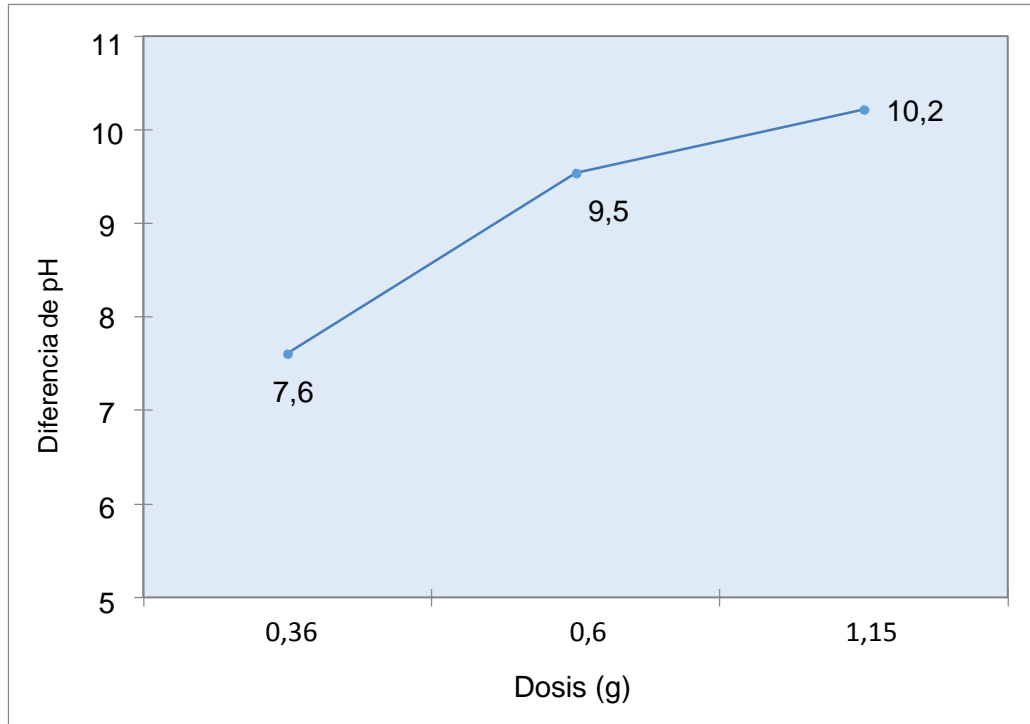
Las diferencias se deben al efecto de las dosis de reactivo, el tiempo de reacción, número de repeticiones e interacción reactivo por tiempo.

TABLA N° 13: Análisis de variancia (ANVA) para cambio de pH en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A (Año 2014) por efecto de la Disminución de la turbidez y color mediante tratamiento químico.

Fuente	g.l	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Tratamientos	18	69,498	3,861	81,245	< 0,0001
Reactivo	1	0,062	0,062	1,315	0,267
Dosis	2	44,105	22,053	464,041	< 0,0001
Tiempo	2	10,125	5,063	106,531	< 0,0001
Repeticiones	1	0,234	0,234	4,916	0,041
Reactivo*dosis	2	0,020	0,010	0,212	0,811
Reactivo*tiempo	2	0,068	0,034	0,717	0,503
Dosis*tiempo	4	14,816	3,704	77,942	< 0,0001
Reactivo*dosis*tiempo	4	0,067	0,017	0,353	0,838
Error	17	0,808	0,048		
Total corregido	35	70,306			

Con respecto al cambio de pH por efecto de la dosis, se ha determinado, como es de esperar a mayor dosis mayor cambio de pH, pasando el efluente de muy ácido a alcalino, alcanzando diferencias entre 7,6 y 8.1 unidades en promedio. Con la dosis de 0,36 g el cambio promedio fue menor con respecto a la dosis de 1,15 g (Figura N° 15)

FIGURA N° 15: Efecto de la dosis de reactivo (Sulfato de Aluminio/Coadyudante Natural) en la diferencia de pH en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.



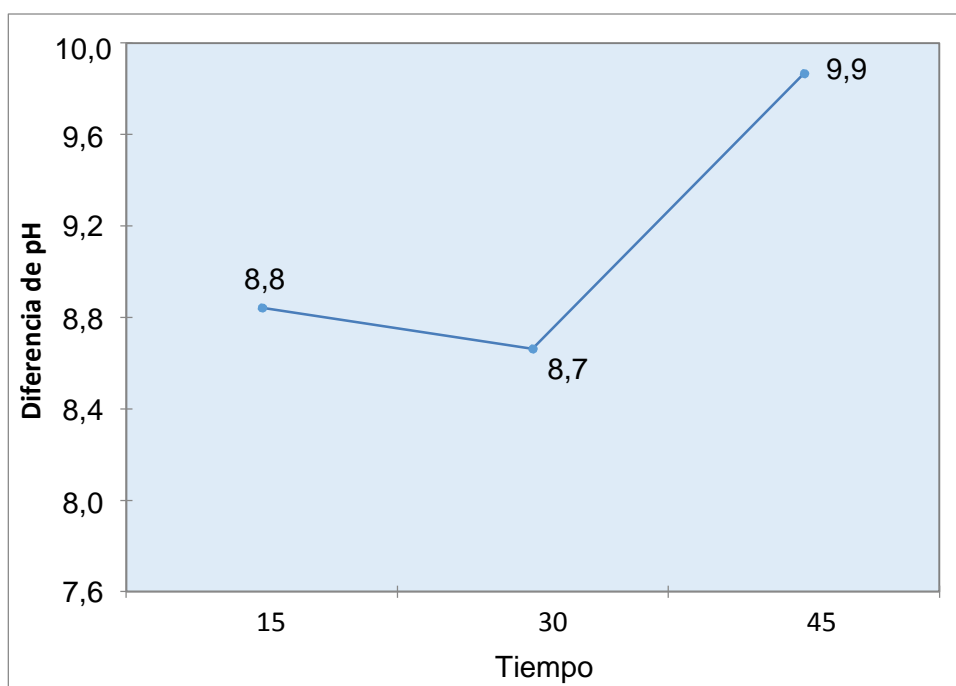
La prueba de Tuckey (Tabla N° 14) arroja diferencias altamente significativas entre las tres dosis, demostrando estadísticamente que con 0.36 g de reactivo el cambio es menor que con 1,15 g. Este resultado nos plantea nuevas interrogantes como por ejemplo: ¿Cuál es la dosis apropiada de Sulfato de Aluminio/Coadyudante Natural para que el agua cruda tratado tenga un pH cercano al neutro? o ¿Qué tratamiento se debe aplicar al agua cruda para mantener su pH?

TABLA N° 14: Prueba de comparación Tuckey para diferencia de pH en la capacidad de disminución de la Turbidez y color mediante Sulfato de Aluminio/Coadyudante Natural en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.

Dosis de reactivo	Diferencia media de pH	Grupos		
0,36	7,608	A		
0,60	9,543		B	
1,15	10,221			C

El efecto del tiempo sobre la diferencia de pH se puede apreciar en la figura N° 16 y la tabla N° 15. Se nota que es directamente proporcional, es decir a mayor tiempo, mayor cambio en el pH del agua cruda.

FIGURA N° 16: Efecto del tiempo sobre la diferencia de pH del efluente del en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A, tratado con Sulfato de Aluminio/Coadyudante Natural.



La comparación Tuckey arroja que estadísticamente la diferencia de pH con 30 minutos es igual que con 15, superado por el tiempo de 45 min.

TABLA N° 15: Prueba de comparación Tuckey para diferencia de pH en la capacidad de disminución de turbidez y color mediante Sulfato de Aluminio/Coadyudante Natural en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A por efecto del tiempo de reacción.

Tiempo de reacción (minutos)	Diferencia media de pH	Grupos	
30	8,663	A	
15	8,843	A	
45	9,867		B

En la figura N° 17 se puede apreciar que un cambio en 0,161 unidades de pH es suficiente para que existan diferencias significativas entre repeticiones, tal como lo demuestra la prueba Tuckey (Tabla N° 15). Como es sabido el pH es una de las propiedades más sensibles al cambio por efecto de factores internos y externos.

FIGURA N° 17: Efecto del número de repeticiones sobre la diferencia de pH en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A, tratado con Sulfato de Aluminio/Coadyudante Natural.

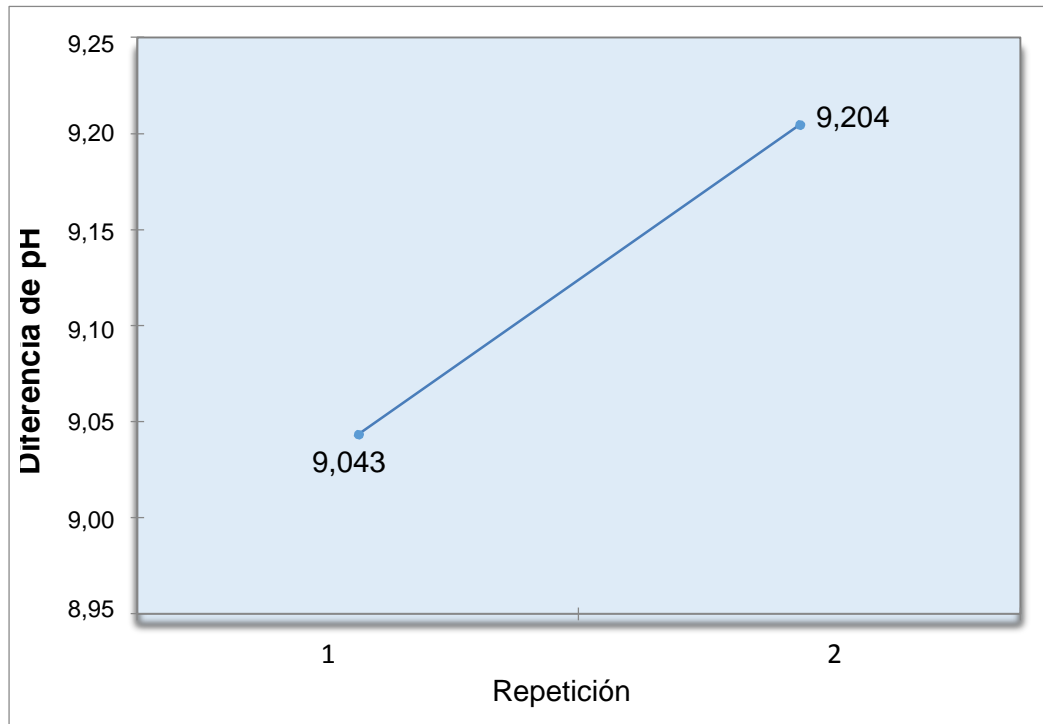
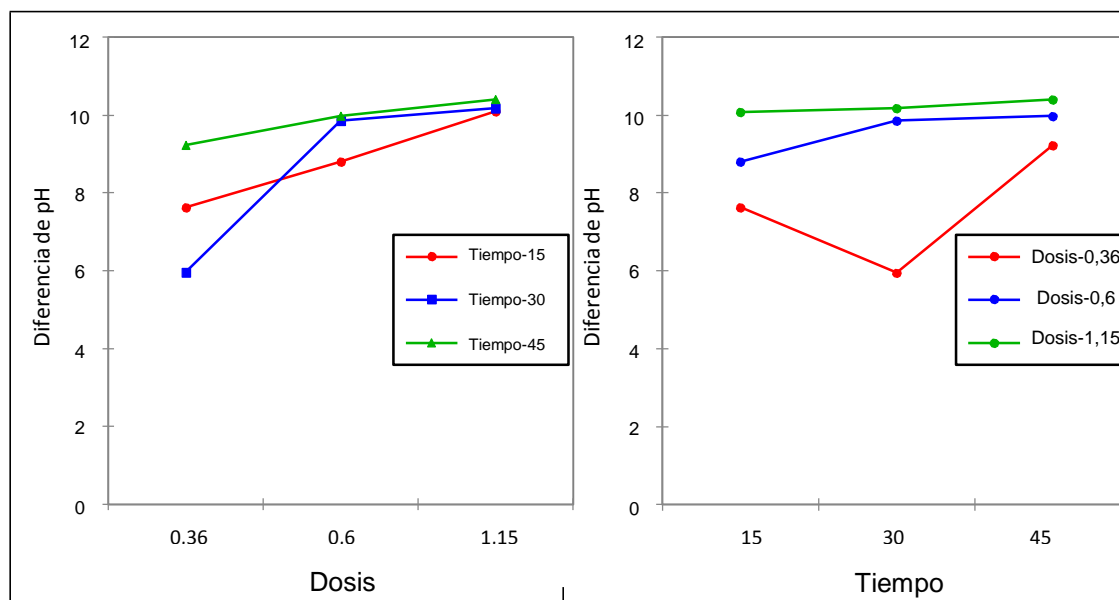


TABLA N° 16: Prueba de comparación Tuckey para efecto de número de repeticiones sobre la diferencia de pH, en la capacidad de disminución de turbidez y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.

Dosis de reactivo	Diferencia media de pH	Grupos	
1	9,043	A	
2	9,204		B

Del análisis de la figura N° 17 y tabla N° 16 se puede deducir que a mayor dosis y tiempo de reacción, mayor es la diferencia de pH en efluente tratado con Sulfato de Aluminio/Coadyudante Natural.

FIGURA N° 18: Efecto de la interacción dosis de reactivo (Sulfato de Aluminio/Coadyudante Natural) por tiempo de reacción, sobre el cambio de pH en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.



En la figura N° 18 se observa claramente la interacción entre el efecto de las dosis y el tiempo de reacción de los reactivos durante el cambio de PH. Existiendo mayor diferencia de pH con una dosis de 1.15 y un tiempo de 45 minutos.

TABLA N° 17: Prueba de comparación Tuckey para interacción dosis de reactivo (Sulfato de Aluminio/Coadyudante Natural) por tiempo de reacción, sobre el cambio de pH en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.

Dosis de reactivo	Diferencia media de pH	Grupos			
Dosis-0,36*Tiempo-30	5,958	A			
Dosis-0,36*Tiempo-15	7,638		B		
Dosis-0,6*Tiempo-15	8,803			C	
Dosis-0,36*Tiempo-45	9,230			C	

Dosis de reactivo	Diferencia media de pH	Grupos				
Dosis-0,6*Tiempo-30	9,853				D	
Dosis-0,6*Tiempo-45	9,973				D	E
Dosis-1,15*Tiempo-15	10,088				D	E
Dosis-1,15*Tiempo-30	10,178				D	E
Dosis-1,15*Tiempo-45	10,398					E

De acuerdo a los resultados de la prueba de comparación múltiple (Tabla N° 17) con la dosis 36g de reactivo y con un tiempo de reacción de 30 minutos, la diferencia en el cambio de pH fue casi de 6 unidades, resultado que difiere estadísticamente de la dosis de 36 g y con tiempo de 15 minutos el cambio fue de 7,6 unidades, que a su vez difiere de los demás. Con la mayor dosis de reactivo y en todos los tiempos de reacción se obtuvieron las mayores diferencias en pH.

CONCLUSIONES

- Se Disminuyó la turbidez y color por tratamiento química en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A, donde el mayor porcentaje de disminución que se alcanzo fue de 98.78 %, con el T11, además con las dosis de 0,60 g y 1,15 g se ha removido mayor porcentaje de Turbidez y color, superando el accionar de la dosis 0,36. Esta apreciación quedo corroborada por el ANVA y la comparación múltiple de medias.
- Se caracterizó los efluentes del agua de proceso de potabilización de las aguas crudas superficiales, los cuales dieron como resultado un pH de 7.83, 3670 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad eléctrica, una Turbidez de 49.2 NTU y de color 5; los cuales muestran las características de una agua cruda superficial provenientes del Rio Shullcas.
- Se determinó que con las dosis de 0,60 g y 1,15 g, se ha disminuyo mayor porcentaje de Turbidez Y color en aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A., superando el accionar de la dosis 0,36. Esta apreciación quedo corroborada por el ANVA y la comparación múltiple de medias, también se determinó que no existe interacción significativa entre tipo de reactivo y tiempo de disminución de la turbidez y color, obteniéndose la mayor disminución a 45 minutos.
- Se determinó que el mejor tratamiento para disminuir la turbidez y el color superando el accionar de la dosis 0,36. Esta apreciación quedo corroborada por el ANVA y la comparación múltiple de medias, también se determinó que no existe interacción significativa entre tipo de reactivo y tiempo de disminución de la turbidez y color, obteniéndose la mayor disminución a 45 minutos, fue empleando Sulfato de Sodio/Coadyudante Natural a dosis de 0,60 g, pero que no difiere estadísticamente de la dosis a 1,15 con cualquier reactivo empleado, pero superan a la dosis de 0,36 g en la cantidad de turbidez y color disminuido.

RECOMENDACIONES

- Probar diferentes dosis de Sulfato de Aluminio conjuntamente con un Coadyudante Natural y probar nuevos tiempos para optimizar al máximo la disminución de turbidez y color en agua cruda superficial.
- Implementar un sistema de disminución de la turbidez y color a base de Sulfato de Aluminio/Coadyudante Natural para las aguas de la P.T.A.P. de SEDAM-HUANCAYO S.A.
- Aplicar un post-tratamiento aguas crudas superficiales tratado con Sulfato de Aluminio/Coadyudante Natural para obtener agua con pH cercano al neutro.
- Hacer de conocimiento público este trabajo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R. S. (2008). Saneamiento ambiental e higiene de los alimentos. Córdoba, Argentina.
- Bureau Veritas Formación. (2008). Manual para la formación en medio ambiente. España: Lex Nova S. A.
- Campos Gómez, I. (2003). Saneamiento Ambiental. San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad Estatal a Distancia - EUNED.
- Elías Castells, X. (2005). Tratamiento y valorización energética de residuos. Madrid, España: Fundación Universitaria Iberoamericana.
- Fewtrell, L. y Bartram, J (2001). Water Quality: Guidelines, Standards and Health. London: Iwa Publishing.
- Glynn, H., & Heinke, G. (1999). Ingeniería Ambiental (Segunda ed.). México: PRENTICE HALL.
- GRUNDFOS X. (13 de 04 de 2014). Tratamiento químico: aguas residuales. Obtenido de Tratamiento químico: aguas residuales: <http://es.grundfos.com/industries-solutions/applications/chemical-treatment-wastewater.html>
- Jiménez Cisneros, B. E. (2005). La contaminación ambiental en México Causas, Efectos, y Tecnología apropiada. México: Limusa S.A.
- Manahan, S. E. (2007). Introducción a la Química Ambiental. México: Reverté.
- Mendoza Roca, J.A., & Montañés Sanjuán, M.T (1998). Ciencia y tecnología del medio ambiente. Valencia: Camino de vera.
- Murillo Díaz, J. M., & Navarro Ibáñez, J. A. (2008). Las aguas subterráneas en la investigación y la gestión hídrica medioambiental - uso conjunto y caudal ambiental. Andaleza, España.
- Olmos, R.R., Sepúlveda (2002). El agua en el medio ambiente. California: Plaza y Valdés.

- Organización Panamericana de la Salud - Organización Mundial de la Salud. (27 de febrero de 2014). Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. Obtenido de Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/033446/033446-02.pdf>
- Payeras, A. (26 de febrero de 2014). Bonsai Menorcas. Obtenido de Parametros de calidad de las aguas de riego:
<http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/#Conductividad%20y%20Resistividad>
- Ramos Olmos, R., Sepúlveda Marqués, R., & Villalobos Moreno, F. (2002). El agua en el Medio Ambiente: Muestreo y análisis. Mexicale, Baja California: Universidad Autónoma de Baja California: Plaza y Valdés S. A.
- Rigola Lapeña, M. (1990). Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales. Barcelona, España: Marcombo.
- Sanchez, O., Herzig, M., Peters, E., Marquez, R., & Zambrano, L. (2007). Perspectiva sobre Conservación de Ecosistemas Acuáticos en México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Sans Fonfria, R., & De Pablo Ribas, J. (1989). Ingeniería ambiental: contaminación y tratamientos. Barcelona, España: Marcombo.
- Universidad de Salamanca. (13 de 04 de 2014). Centro de investigación y desarrollo tecnológico del agua. Obtenido de CIDTA:
<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/quimica.pdf>
- Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech. (20 de marzo de 2014). Treballs acadèmics UPC. Obtenido de
<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/2591/1/34316-1.pdf>

ANEXOS

ANEXO N° 1: FOTOGRAFÍAS

Foto N° 01: P.T.A.P en Vilcacoto - SEDAM Huancayo S.A.(planta antigua)



Foto N° 02: P.T.A.P en Vilcacoto - SEDAM Huancayo S.A. (planta nueva)



Foto N° 03: Estación de Monitoreo del ingreso de aguas crudas superficiales P.T.A.P en Vilcacoto - SEDAM Huancayo S.A



Foto N° 04: 200ml del agua de cruda superficial en vasos de precipitación en el equipo de pruebas de jarras.



Foto N° 05: Realizando la medición de pH inicial de la muestra.

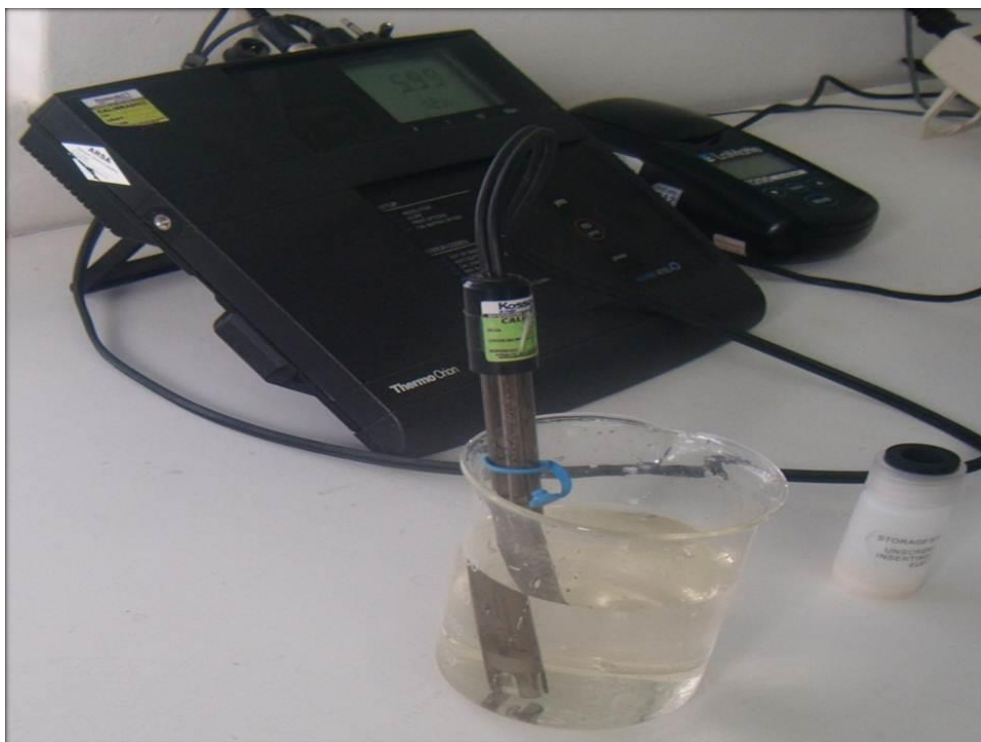


Foto N° 06: Pesando la cantidad de reactivo ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), y Coadyudante Natural.



Foto N° 07: Colocando los vasos de precipitación al equipo prueba de jarras.

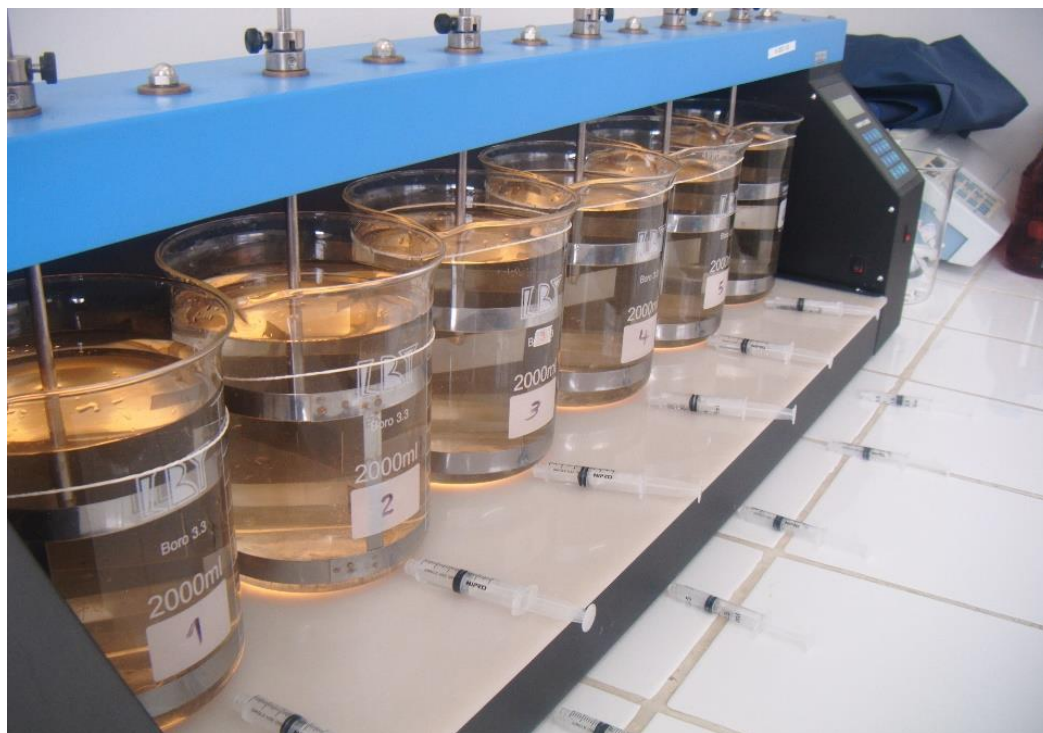


Foto N° 08: Agitando las muestras con sus respectivos reactivos químicos en el equipo prueba de jarras.



Foto N° 09: Terminado la agitación de las muestras con sus respectivos reactivos químicos en el equipo prueba de jarras.



Foto N° 10: Precipitación de la turbidez después de su agitación.



Foto N° 11: Envases rotulados de las muestra para su análisis.



ANEXO N° 2: MANUAL PTAP

1. Neutralización, Clarificación y ajuste final.

Es en esta etapa en donde los efluentes reciben el tratamiento físico-químico para la disminución de la turbidez presentes, para lo cual es necesario ajustar el pH a 9.0 unidades puesto que se ha determinado experimentalmente que este es el punto óptimo para precipitar solidos totales disuelto.

A. Descripción

Los efluentes ecualizados y condicionados a un pH entre 8.0 y 9.0 son bombeados a través de una tubería común de 12" conectada a la descarga de las bombas centrifugas de los ecualizadores, hasta la caja de distribución de clarificadores.

A.1 Neutralización de aguas

Los efluentes que llegan a la caja de distribución de clarificadores son distribuidos hacia las dos secciones hidráulicas independientes. Cada sección posee una cámara de neutralización en donde se dosifica lechada de cal o soda cáustica para mantener el pH en 9.0 unidades. Esta dosificación normalmente se realiza en forma automática, por medio de una válvula on/off neumática conectada a una línea de lechada de cal o por la adición de directa de soda cáustica por medio de una bomba peristáltica.

A.2 Adición de Sulfato Férrico.

La adición del sulfato férrico se efectúa por medio de una pequeña bomba dosificadora, después de acondicionar el pH en la cámara de neutralización, con el propósito de oxidar

los metales disueltos como el Arsénico (As^{+3} a As^{+5}), produciéndose la formación de coágulos compuesto por hidróxidos de los metales presentes.

A.3 Adición de Floculante.

La adición de polímero floculante se efectúa por medio de dos bombas peristálticas, hacia la cámara de floculación de cada sección hidráulica, después de la adición de sulfato férrico, con el propósito, de aglutinar las sustancias coloidales formadas, para facilitar su decantación posterior en forma de lodos.

A.4 Separación sólido-líquido

Luego del suficiente tiempo de contacto entre el floculante y los efluentes se produce la precipitación de los flóculos en forma de lodos en los tanques sedimentadores de cada sección hidráulica debido al incremento del tiempo de residencia, y por la acción de los módulos tubulares. El agua libre de sólidos rebosa por las canaletas de colección hacia la cámara de ajuste final, y el lodo removido es bombeado a los tanques de almacenamiento de lodos.

A.5 Ajuste final

El efluente clarificado colectado por las canaletas de los tanques de sedimentación son reunidos en una sola caja al final de las dos secciones hidráulicas para pasar por rebose hacia el tanque de ajuste final de pH, en donde se acondiciona el pH del efluente tratado ($6.0 < \text{pH} < 9.0$), con una ligera adición de ácido sulfúrico.

B. Definición y Fundamentos.

Coagulación-Floculación

La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutina las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior remoción. Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial y del tratamiento de aguas servidas domésticas, industriales y de la minería.

Los compuestos que pueden estar presentes en el agua pueden ser: sólidos en suspensión; partículas coloidales (menos de 1 micra), gobernadas por el movimiento browniano; y, sustancias disueltas (menos que varios nanómetros).

El proceso de floculación es precedido por la coagulación, por eso muchas veces se habla de los procesos de coagulación-floculación. Estos facilitan la retirada de las sustancias en suspensión y de las partículas coloidales.

La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante el cual, neutralizando sus cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí;

La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microfloculos y después en los floculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados sedimentadores.

Los factores que pueden promover la coagulación-floculación son el gradiente de la velocidad, el tiempo y el pH. El tiempo y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan y da más tiempo para que las partículas descendan, por efecto de la gravedad, y así se acumulen en el fondo. Por otra parte el pH es un factor prominente en acción desestabilizadora de las sustancias coagulantes y floculantes.

En la minería, los floculantes utilizados son polímeros sintéticos de alto peso molecular, cuyas moléculas son de cadena larga y con gran afinidad por las superficies sólidas. Estas macromoléculas se fijan por adsorción a las partículas y provocan así la floculación por formación de puentes ínter partículas.

C. Equipos.

Descripción de equipos

- **Tanques de acondicionamiento de pH**

El tanque de ajuste de pH está ubicado en el bloque hidráulico de clarificadores y recibe los efluentes de los tanques ecualizadores a través de las bombas de agua de lluvia, de agua de procesos y escoria, y de agua ácida.

A la entrada del bloque hidráulico hay una caja de distribución, donde se recibe los efluentes. Después del ingreso del efluente, por la parte inferior de la caja de distribución, se vierte en los canales de distribución (uno para cada tanque de acondicionamiento o ajuste de pH) cada uno contiene 17 pequeñas tuberías de PVC con 0.20 m de longitud y 4" de diámetro.

Para la dispersión de lechada de cal y/o soda cáustica en el efluente y su reacción con los metales solubles presentes, es necesaria una mezcla rápida. De esta manera, se forma una precipitación insoluble a ser removido en los clarificadores.

Para realizar la mezcla rápida se encuentran instalados mezcladores sumergibles de alta velocidad, capaces de generar gradiente de velocidad mayor o igual a 300 s^{-1} .

En la caja de distribución se dosifica la solución alcalina para el ajuste del pH a un valor óptimo, para asegurar la precipitación de los metales en los tanques clarificadores después de recibir dosis de sulfato férrico y de polímero floculante. En los tanques de ajuste, el pH se debe mantener alrededor de 9.0 unidades. La dosificación de sulfato férrico se efectúa en el punto medio de las cámaras de ajuste de pH, aprovechando la agitación de los tanques para un adecuado contacto con el efluente.

La adición de la solución alcalina debe efectuarse en forma continua y permanente, para lograr la formación de flóculos. La falta de adición de la solución, afectará notablemente el tratamiento de las aguas, produciéndose levantamiento de flóculos en los clarificadores.

En los tanques de ajuste de pH se encuentran instalados mezcladores de inmersión iguales a los existentes en los tanques ecualizadores. Como estos tanques trabajan siempre llenos, no hay preocupación con niveles mínimos de inmersión de los mezcladores. Las sondas de pH, que registran los valores de pH en los tanques, envían datos al sistema de control y al display ubicado en las paredes externas de los tanques del bloque hidráulico.

El ingreso de efluente a los tanques de acondicionamiento de pH, son controlados por compuertas que permiten la parada de todo un conjunto o sección (tren) de estructuras constituido por: tanque de acondicionamiento o ajuste de pH, tanques de floculación y clarificador, y mantienen la otra sección “tren” a plena carga, sin requerir parada de planta para mantenimiento y/o limpieza.

Para el mantenimiento y/o limpieza de los tanques de ajuste de pH, existen tuberías y válvulas de drenaje de 10” de diámetro, instaladas en los buzones ubicados entre la estructura de llegada del bloque hidráulico y la caseta CCM de Clarificadores.

- **Floculadores**

La remoción de los hidróxidos metálicos precipitados y de los sólidos suspendidos dispersos en la sedimentación, es mejorada gracias a la formación de flóculos mayores (floculación).

La floculación tiene como propósito el aumento de la colisión de las partículas, de manera que estas se aglomeran para formar sólidos que sean más densos y por tanto con mayor velocidad de sedimentación. La intensidad de mezcla y bajada deben ser equivalentes a gradientes de velocidades menores a 60 s^{-1} de ser el caso; nunca se debe someter los flóculos a agitaciones superiores a este valor, en caso contrario, ellos pueden quebrarse.

En la floculación, el efluente es suavemente agitado llevando las partículas sólidas formadas por la adición de químicos, tornándose mayores y suficientemente densos para sedimentar por gravedad.

El tanque de floculación presenta un tiempo de retención típico de 10 a 45 minutos, y están divididos en dos cámaras en serie por una pantalla de madera. Conforme el efluente circula por las cámaras, la agitación se torna progresivamente más lenta.

En cada tanque de floculación hay 02 agitadores de eje vertical con gradientes de velocidad distintas. En la primera cámara la gradiente del agitador es de 30 a 50 s^{-1} y en la segunda cámara el gradiente es menor de 30 s^{-1} . Estos equipos están dotados de inversores de frecuencia y pueden variar su gradiente para ser compatibles con los resultados de las pruebas de jarras (Jar test) y o resolver problemas de mala formación de flóculos.

Para la limpieza, los tanques de floculación son dotados de tubería de drenaje hasta los clarificadores con diámetro de 3”.

- **Clarificadores**

El objetivo de la sedimentación es la separación sólido-líquido. Las pozas de sedimentación permiten que los sólidos sean separados por gravedad del efluente químicamente tratado.

Estas pozas poseen dispositivos para el raspado continuo del lodo sedimentado en un pozo localizado en el fondo del clarificador. Desde allí, es bombeado hacia los tanques de lodos.

La sedimentación es un proceso clave en el rendimiento de la planta y su operación depende de la coagulación, floculación, taza superficial de aplicación y frecuencia de remoción de lodo.

La cantidad de lodo a ser retirada de la poza debe ser de densidad suficiente, de manera que se evite un sobre esfuerzo en los raspadores de lodo y evite el arrastre de flóculos hacia el efluente clarificado. Por consiguiente, la retirada excesiva resultará en un lodo fino (menor al 1% de sólidos).

La extracción de sólidos de los clarificadores debe ser de tal forma que la concentración de sólidos se quede en la orden de 4 a 8% de sólidos.

Esto puede ser verificado en una muestra, tomada en un muestreador ubicado en la tubería de lodo. Un buen control de la extracción de lodo propicia un buen desempeño de los clarificadores.

Para la parada de un clarificador, se utilizan las mismas bombas de tirado de lodo y, a través de una maniobra de válvulas, se desvía el caudal hacia la caja de entrada del bloque hidráulico. En esta maniobra, primero se hacen los cambios de posición de válvulas y luego se prenden las bombas de tirado de lodo. Para esta operación, la compuerta de ingreso ubicada en la caja de entrada debe estar cerrada para este clarificador, permitiendo que todo el flujo de agua ingrese al otro clarificador.

Después del clarificador, está el canal de agua clarificada que también tiene su drenaje. Este drenaje (tubería de 2") está ubicado por el lado externo de la pared, cerca de las 8 bombas de lodo.

Los removedores de lodo (dos para cada tanque de clarificación) deben trabajar 24 h/día. En el tablero correspondiente hay un indicador de torque del motor del removedor. En el caso de que este torque sea mayor que el torque nominal, el removedor para automáticamente, y el operador debe investigar la causa de este sobre torque.

Las bombas de extracción de lodo son del tipo de cavidad progresiva, o sea de desplazamiento positivo. El operador siempre debe verificar la posición de las válvulas de succión y de bombeo, que en caso de operar una bomba, deben estar abiertas. El tirado de lodo y el consecuente funcionamiento de las bombas deben ser establecidas en función a la producción de agua y de la concentración de lodo del tanque. Este punto debe ser siempre verificado por los operadores para que no sea extraído lodo de muy baja concentración y tampoco se acumule mucho lodo en los clarificadores.

El operador debe estar siempre atento a la calidad del agua clarificada. El agua debe estar siempre cristalina en los clarificadores. Cualquier otro color en el agua, es motivo para investigación de la dosificación de productos químicos, caudales de las bombas, nivel de tirada de lodo y características del agua de ingreso en los equalizadores.

La producción de lodo, a la entrada de los clarificadores, es mayor que en la zona de salida, por consiguiente, las bombas de lodo deben estar programadas con velocidades diferentes o por tiempos diferentes, para sacar más lodo primero de los tanques que están al inicio de cada clarificador.

Las líneas de bombeo de lodo están dotadas de medidores de caudal para cada par de bombas (1 + 1 de reserva).

- **Tanque de ajuste final**

El tanque de contacto para la aplicación de ácido sulfúrico tendrá como principal objetivo el ajuste de pH a niveles establecidos por el Reglamento de Minería para efluentes minero metalúrgicos. Usualmente, la eficiencia de la oxidación/desinfección depende de: tiempo de exposición, toxicidad del producto químico empleado, calidad de mezcla, resistencia de los compuestos, dispersión, complejidad de los compuestos, ocurrencia de agrupamiento de los compuestos y tiempo de retención en el tanque de contacto.

El operador debe estar siempre atento a la calidad del agua clarificada y en el caso que el agua no cumpla con la calidad requerida, la lechada de cal se deberá preparar con las aguas de río **shullcas**, maniobrando las válvulas correspondientes.

En la caja de ajuste final se encuentran instalados instrumentos de medición en línea de temperatura, pH, caudal, turbidez y conductividad.

Especificaciones de equipos

- **Tanques de acondicionamiento de pH**

Las características de los tanques de acondicionamiento de pH se describen a continuación:

- Número de tanques – 02 (dos);
- Dimensiones – 7,0 m (ancho) x 7,0 m (largo) x 4,0 m (profundidad útil) x 4,5 m (profundidad total) y;

- Número de mezcladores sumergibles de acero inoxidable por tanque – 02 (dos) para cada uno.
- Drenaje – Tubería de 10”.
- **Floculadores**

Las características de los Floculadores se encuentran descritas a continuación:

 - Número de pozas – 02 (dos);
 - Número de cámaras por poza – 02 (dos);
 - Dimensiones de la cámara – 3,5 m (ancho) x 3,5 m (largo) x 4,0 m (profundidad útil) x 4,5 m (profundidad total);
 - Volumen de cada cámara – 49,0 m³;
 - Volumen por poza de floculación – 98,0 m³;
 - Gradientes de velocidad – 25 a 30 s⁻¹ (1^ocámara) y < 30 s⁻¹ (2^o cámara);
 - Tipo de mezclador – mecánico, de eje vertical y flujo axial y;
 - Número de mezcladores por cámara – 01 (uno).

Fig. N°8 Canal de ingreso a Floculadores – Dosificación de polímero



Fig. N°9 Cámara de floculación



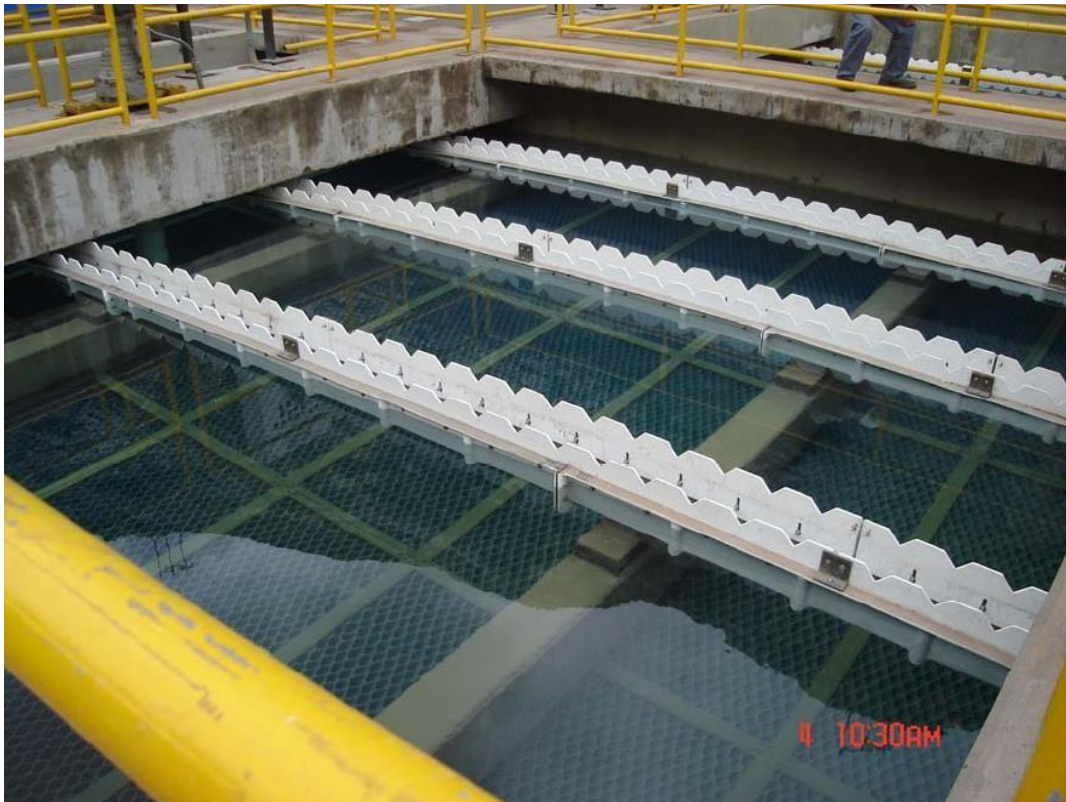
- **Clarificadores**

Las características de los clarificadores se encuentran descritas a continuación:

- Tipo – alta tasa con módulos tubulares;
- Número pozos de sedimentación – 02 (dos);
- Dimensiones por pozo – 7,0 m (ancho) x 14,0 m (largo) x 5,0 m (profundidad útil) x 5,5 m (profundidad total);
- Módulos – placas de PVC, inclinadas a 60° y con altura de 1,20 m;
- Número de canaletas de recolección con aberturas en V, en fibra de vidrio, de recolección de agua decantada por pozo – 04 (cuatro);
- Dimensiones de la canaleta – 0,25 m (ancho) x 0,25 m (altura) x 11,3 m (largo);
- Número de pozos de lodo por pozo sedimentador – 02 (dos);
- Número de bombas para el lodo de pozo – 1 + 1 reserva;

- Tipo de bombas – cavidad progresiva con inversor de frecuencia ($Q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ a 30 m.c.a.);
- Tipo de remoción de lodo – mecánica;
- Tipo de raspador – tracción central;
- Número de raspadores por pozo – 02 (dos) y;
- Diámetro del raspador – 7,0 m.

Fig. N°10 Tanques de Clarificación



D. Instrumentación y Control.

- **Variables de control.**

Las variables de control incluyen el pH en las cámaras de neutralización, la dosificación de sulfato aluminio y floculante natural. Para esto se cuenta con bombas dosificadoras y válvulas automáticas. El pH en clarificadores se debe controlar en valores muy próximos a 9.0 unidades, para

cada cámara de neutralización, para ello se dosifica lechada de cal en la caja de distribución. El sulfato de aluminio se dosifica de acuerdo a la cantidad de caudal tratado.

- **Filosofía de control.**

El control de PH en clarificadores depende de la dosificación de álcali, por medio de bombas y línea de lechada de cal conectada a una válvula automática on/off, que se activa (abre) cuando el pH medido por el sensor, registra un valor por encima del consignado en el panel de control para la secuencia de operación de la válvula.

La dosificación de sulfato de aluminio se efectúa por medio de una bomba dosificadora con la que puede variar la cantidad dosificada en función al requerimiento del tratamiento.

Para la dosificación de floculante se tiene dos preparadores de floculante en solución y bombas peristálticas. La cantidad de floculante dosificado se controla con la velocidad o frecuencia de los motores de las bombas peristálticas.

E. Peligros y Riesgos.

Existe el peligro de que alguna persona caiga o resbale por accidente dentro de alguno de los tanques clarificadores, con el riesgo de ahogamiento y/o arrastre por la fuerza de los mezcladores en operación, pudiendo producir lesiones graves.

Debido a la dosificación de productos químicos existe el riesgo de contacto con sustancias irritantes para la piel y los ojos, como lo son los productos químicos usados.

F. Control Ambiental.

- **Aspecto e impacto ambiental.**

El aspecto ambiental más significativo es el efluente contaminado con metales disueltos y en suspensión, el cual puede causar un impacto ambiental por drenaje indeseado desde los tanques clarificadores hacia el sumidero y de este al río; en la calidad del agua del río afectando al entorno inmediato.

Así mismo el uso de lechada de cal, soda, sulfato de aluminio y floculante constituye un aspecto ambiental, puesto que un descontrol en la dosificación podría ocasionar un incremento desmedido del pH y una elevada concentración de sulfatos en el efluente enviado al río.

- **Peligro ambiental.**

El peligro ambiental de contaminación al río Mantaro es menor en esta sección puesto que todo el efluente contaminado con metales disueltos o en suspensión, circula por gravedad o rebose desde las cámaras de neutralización hacia adelante.

- **Manejo de efluentes.**

Los efluentes que circulan en los tanques de clarificación pueden ser evacuados o drenados controladamente hacia el sumidero de la planta por medio de la apertura de las válvulas de drenaje; también es posible ayudar con el drenaje bombeando mayor cantidad de lodo y agua a los tanques de almacenamiento de lodos.

G. Responsabilidades y funciones.

- **Responsabilidades Del sobrestante**

El horario de ingreso del sobrestante es a las 8:00 a.m. (turno de día), 4:00 p.m. (turno de tarde) y 12:00 a.m. (turno de noche).

Liderar la reunión inicial de control de riesgo, coordinar los trabajos rutinarios y de mantenimiento, verificar las condiciones de operación de la planta incluyendo las unidades de procesos y equipos.

- **Del operador**

El horario de ingreso del sobrestante es a las 8:00 a.m. (turno de día), 4:00 p.m. (turno de tarde) y 12:00 a.m. (turno de noche).

Participar de la reunión inicial de control de riesgo, coordinar los trabajos rutinarios, operar unidades de procesos y equipos, para asegurar el buen tratamiento de las aguas para consumo humano.

- **Del personal de mantenimiento**

El horario de ingreso del sobrestante es a las 8:00 a.m. (turno de día), 4:00 p.m. (turno de tarde) y 12:00 a.m. (turno de noche).

Participar de la reunión inicial de control de riesgo, coordinar los trabajos de mantenimiento, brindar soporte a unidades de procesos y equipos, para asegurar el buen tratamiento de los aguas.

- **Funciones por actividad Del sobrestante**

Durante la operación normal, el sobrestante debe estar siempre atento al tipo de efluente que está ingresando a la planta, y a cualquier cambio de color, temperatura, sólidos o valor de pH. Se debe investigar el origen de los cambios y verificar a través de pruebas si la planta está preparada para tratar estos efluentes.

El sobrestante debe verificar la adecuada dosificación de lechada de cal para controlar rigurosamente el pH en la cámara de neutralización, así como también debe controlar la dosificación de químicos, para la correcta formación de flóculos y sedimentación de los lodos, sin que estos floten en los tanques clarificadores.

- **Del operador**

El operador debe siempre verificar si los equipos (mezcladores, bombas, instrumentos, válvulas) están funcionando correctamente, si hay vibraciones y/o ruidos extraños en los equipos, si hay obstrucción o fugas en las tuberías, y principalmente debe verificar si los productos químicos están llegando correctamente a su punto de dosificación. El operador debe estar siempre atento a la calidad del agua clarificada y en el caso que el agua no cumpla con la calidad requerida, comunicar al sobrestante para ajustar los parámetros de operación.

- **Del personal de mantenimiento**

El personal de mantenimiento debe brindar soporte ante un desperfecto en los equipos (mezcladores, bombas, instrumentos, válvulas) para que funcionando correctamente, debiendo corregir vibraciones y/o ruidos

extraños en los equipos, y verificar si los niveles de aceite en los equipos rotativos están dentro de lo recomendado en los manuales por los fabricantes.

H. Problemas Frecuentes.

Tabla N°5: Problemas Frecuentes: Neutralización, Clarificación y ajuste final

N°	Identificación de los problemas	Soluciones
1	Control deficiente de pH por falta de lechada de cal o soda cáustica.	<p>Medidas preventivas: Verificar la llegada de lechada de cal a la caja de distribución, sin obstrucciones en la línea y verificar el normal funcionamiento de la válvula automática y bombas de dosificación.</p> <p>Ejecutor: Sobrestante y operador.</p> <p>Medidas correctivas: Lavar con agua el sistema de dosificación de lechada de cal, y ajustar el control automático de pH.</p> <p>Ejecutor: Operador</p>
2	Formación de flóculos pobres por dosificación defectuosa.	<p>Medidas preventivas: Verificar la dosificación normal de sulfato férrico y floculante, así como la operación normal de las bombas dosificadoras.</p> <p>Ejecutor: Sobrestante y operador</p> <p>Medidas correctivas: Encender bombas dosificadoras y preparador de polímeros, y ajustar dosificación de ser necesario. En caso de fallas comunicar a mantenimiento.</p> <p>Ejecutor: Sobrestante, operador y personal de mantenimiento.</p>

N°	Identificación de los problemas	Soluciones
3	Elevada turbidez en el efluente clarificado por inadecuada remoción de lodo.	<p>Medidas preventivas: Verificar el bombeo normal de lodos, tomando una muestra y ajustar la extracción de ser necesario. Verificar la normal dosificación de químicos.</p> <p>Ejecutor: Sobrestante</p> <p>Medidas correctivas: Aumentar la extracción de lodos, reducir la velocidad de flujo para estabilizar los flóculos.</p> <p>Ejecutor: Sobrestante y operador.</p>