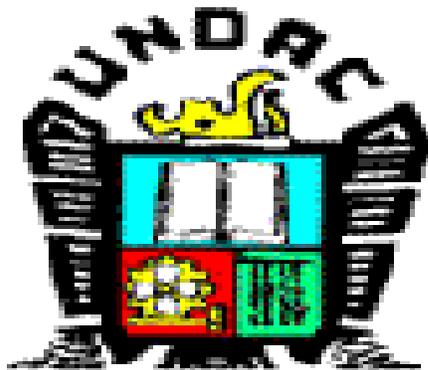


UNIVERSIDAD NACIONAL “DANIEL ALCIDES CARRION”
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



**“DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO
GRANULADO TIPO B EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE YURAJHUANCA – EMAPA PASCO”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

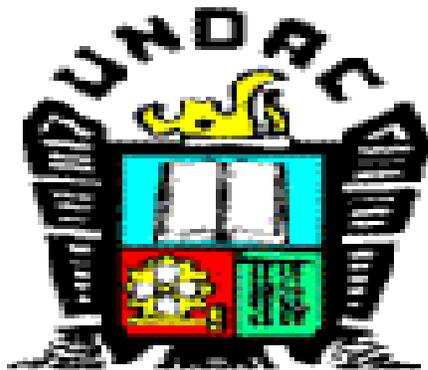
INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

Bachiller: GIANCARLO GALINDO YANTAS

Cerro de Pasco - Perú - 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL “DANIEL ALCIDES CARRION”
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



**“DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO
GRANULADO TIPO B EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE YURAJHUANCA – EMAPA PASCO”**

PRESENTADO POR:

Bachiller: GIANCARLO GALINDO YANTAS

SUSTENTADO Y APROBADO ANTE LA COMISIÓN DE JURADOS

Mg. Julio A. ASTO LIÑAN
PRESIDENTE

Mg. Rosario M. VASQUEZ GARCIA
MIEMBRO

Mg. Luis A. PACHECO PEÑA
MIEMBRO

Mg. Lucio ROJAS VITOR
ASESOR

Dedicatoria

El presente trabajo es dedicado a Dios por haber guiado mis pasos en un sendero de bien.

A mi madre y hermano por su incansable esfuerzo y dedicación para mi desarrollo profesional y personal.

A mi abuelo quien siempre estuvo a mi lado como un padre cuando más lo necesite.

RESUMEN

En la Planta de tratamiento de agua de Yurajhuanca la cual abastece a la ciudad de Cerro de Pasco, específicamente a la zona urbana de los distritos de Pasco y Yanacancha, se realizaron ensayos de tratamiento de agua con el coagulante sulfato de aluminio Granulado TIPO B con el fin de determinar las dosis óptimas requeridas para la remoción de turbiedad y color en diferentes muestras de agua recogidas durante un periodo de tiempo específico.

Cada muestra recogida presenta valores significativos en cuanto a turbiedad y color con el fin de obtener un rango amplio para analizar y así poder lograr la dosificación óptima de sulfato de aluminio granulado tipo B.

El método por el cual se determinaron dichas dosis óptimas fue mediante el test de jarra, a su vez se tomó en cuenta lo suscrito en el Decreto Supremo N° 031 – 2010 -SA (Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano), de manera que a causa de la dosificación de sulfato de aluminio granulado tipo B los demás parámetros sobrepasen los LMP (Límites Máximos Permisibles).

Los resultados obtenidos después de realizar el test de jarras arrojaron resultados óptimos en cuanto a la remoción de los parámetros fisicoquímicos analizados y el cumplimiento de ellos según la normatividad peruana vigente.

Se determino que durando los meses de avenidas las dosis optimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo B, siendo el rango de aplicación en la época de avenidas (enero, febrero, marzo y abril), de 29 mg/L a 34 mg/L, siendo el promedio de la dosificación en épocas de avenidas 31.5 mg/l, mientras en la época de estiaje el rango de aplicación se encuentra dentro del rango de 24mg/L a 29mg/, siendo el promedio de la dosificación en épocas de estiaje 26.5 mg/L. al aplicar las dosis en los rangos ya mencionados se puede garantizar que el agua tratada cumpla el LMP de turbiedad (5 NTU) y el LMP de color (15 UCV), de acuerdo a lo establecido en el Decreto Supremo N° 031 -2010 S.A. (Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano)

Palabras claves: Tratamiento, Sulfato de aluminio, Turbiedad, Color y Normatividad Peruana.

SUMMARY

In the Plant of Yurajhuanca's water treatment which supplies to the city of Pasco's Hill, specifically to the urban zone of the districts of Pasco and Yanacancha, tests of water treatment realized with the coagulating sulfate of Granulated aluminium TYPE B in order to determine the ideal doses needed for the removal of turbidity and color in different samples of water gathered during a period of specific time.

Every quiet sample presents significant values as for turbidity and color in order to obtain a wide range to analyze and this way to be able to achieve the ideal dosing of sulfate of granulated aluminium type B.

To determine the results of the evaluation of which environmental factors would see affected by the opening of the project of the Relavera Golf belonging to the Company VOLCAN S.A.A it was evaluated by the Environmental use of the Guide of Risk evaluation elaborated by the Headquarter of Environmental Quality of the Vicedepartment of Environmental Management of the Department of Environment of our country.

The method for which the above mentioned ideal doses decided was by means of the test of pitcher, in turn the signed bore in mind in the Supreme Decree N ° 031 - 2010-SA (Regulation of Water quality for Human Consumption), so that because of the dosing sulfate of granulated aluminium type B other parameters exceed the LMP (Maximum Permissible Limits).

The results obtained after realizing the test of pitchers threw ideal results as for the removal of the physicochemical analyzed parameters and the fulfillment of them according to the Peruvian in force normatividad.

Keywords: Treatment, Sulfate of aluminium, Turbidity, Color and Normatividad Peruana.

ÍNDICE

RESUMEN.....	IV
SUMMARY	VI
INTRODUCCIÓN	XII
CAPITULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	3
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	3
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	4
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.4.1. Justificación teórica	5
1.4.2. Justificación Práctica.....	6
1.4.3. Justificación Metodológica	6
1.4.4. Justificación Ambiental.....	6
1.5. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.6. LIMITACIONES DEL ESTUDIO	10
CÁPITULO II.....	11
MARCO TEÓRICO	11
2.1 ANTECEDENTES	11
2.2 BASES TEÓRICO – CIENTIFICAS	15
2.2.1 AGUA POTABLE.....	15
2.2.2 NORMATIVIDAD PERUANA.....	16
2.2.2.3 DECRETO SUPREMO N° 031 – 2010 (“EL REGLAMENTO DE CALIDAD AGUA PARA CONSUMO HUMANO”).....	17
2.2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA	22
2.2.3.3 TURBIDEZ	23
2.2.3.4 COLOR	24
2.2.3.5 SABOR Y OLOR.....	26

2.2.3.6	pH	26
2.2.4	TRATAMIENTOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA	27
2.2.4.3	COAGULACIÓN	28
2.2.4.4	ETAPAS DEL PROCESO DE COAGULACIÓN	29
2.2.4.5	POTENCIAL “Z”	30
2.2.4.6	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN.....	32
2.2.4.7	pH OPTIMO DE COAGULACIÓN	33
2.2.4.8	FLOCULACIÓN.....	34
2.2.4.9	CINETICA DE FLOCULACIÓN.....	35
2.2.4.10	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FLOCULACIÓN.....	36
2.2.4.11	SEDIMENTACIÓN	37
2.2.5	COAGULANTES.....	39
2.2.5.3	CLASES DE COAGULANTES.....	40
2.2.5.3.1	COAGULANTES METALICOS	40
2.2.5.3.1.1	SULFATO DE ALUMINIO	41
2.2.5.3.1.2	SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B.....	46
2.2.6	ENSAYO DE JARRAS.....	46
2.2.6.1	CONDICIONES DE LA PRUEBA DE JARRAS	49
2.2.6.1.1	MEZCLA RAPIDA.....	49
2.2.6.1.2	MEZCLA LENTA.....	50
2.2.6.1.3	REPOSO	50
2.2.6.2	PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYO DE JARRAS	50
2.2.6.3	CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN.....	51
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	52
2.4	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	57
2.4.1	HIPÓTESIS INTERNA	57
2.4.2	HIPÓTESIS NULA	57
2.5	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	58
2.5.1	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	58
2.5.2	VARIABLE DEPENDIENTE.....	58
CAPITULO III.....		58
METODOLOGIA		58

3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	58
3.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	59
3.3	POBLACIÓN DE ESTUDIO	59
3.3.1	LA POBLACIÓN	59
3.3.2	MUESTRA	60
3.3.2.1	PUNTOS DE TOMA DE MUESTRA DE AGUA.....	60
3.3.2.2	MUESTRAS DE ANÁLISIS.....	61
3.3.2.3	PREPARACIÓN PARA LA DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B.....	62
3.4	METODOS DE INVESTIGACIÓN	63
3.5	UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO:.....	63
3.5.1	UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.	64
3.6	DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO, INFRAESTRUCTURA, MÉTODO DE ANÁLISIS	69
3.6.1	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA EMAPA PASCO S.A, YURAJHUANCA.....	69
3.6.1.1	SISTEMA DE MEZCLA RÁPIDA	69
3.6.1.2	UNIDAD DE FLOCULACIÓN	69
3.6.1.3	UNIDAD DE DECANTACIÓN.....	71
3.6.1.4	UNIDAD FILTRACIÓN.....	71
3.6.1.5	UNIDAD DE DESINFECCIÓN	72
3.6.2	METODO DE ANÁLISIS.....	74
3.6.2.1	TEST DE JARRAS	74
3.7	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	77
3.7.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	77
CAPITULO IV.....		79
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		79
4.1	TRATAMIENTO ESTADISTICO E INTERPRETACIÓN DE CUADROS	79
4.1.1	ENSAYOS REALIZADOS EN EL MES DE ENERO	79
4.1.2	ENSAYOS REALIZADOS EN EL MES DE FEBRERO	82
4.1.3	ENSAYOS REALIZADOS EN EL MES DE MARZO	84
4.1.4	ENSAYOS REALIZADOS EN EL MES DE ABRIL	86

4.1.5	ENSAYOS REALIZADOS EN EL MES DE MAYO.....	88
4.1.6	ENSAYOS REALIZADOS EN EL MES DE JUNIO	90
4.2	PRESENTACIÓN DE TABLAS Y GRÁFICOS	92
4.2.1	TURBIEDAD VS DOSIS ÓPTIMA MES DE ENERO	93
4.2.2	TURBIEDAD VS DOSIS ÓPTIMA MES DE FEBRERO.....	94
4.2.3	TURBIEDAD VS DOSIS ÓPTIMA MES DE MARZO	95
4.2.4	TURBIEDAD VS DOSIS ÓPTIMA MES DE ABRIL.....	96
4.2.5	TURBIEDAD VS DOSIS ÓPTIMA MES DE MAYO	97
4.2.6	TURBIEDAD VS DOSIS ÓPTIMA MES DE JUNIO.....	98
4.3	PRUEBAS DE HIPÓTESIS.....	99
4.4	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	101
4.5	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS CON SULFATO DE ALUMINIO.....	104
4.5.1	REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD CON SULFATO DE ALUMINIO..	
4.5.2	REMOCIÓN DEL COLOR CON SULFATO DE ALUMINIO	106
4.6	COMPORTAMIENTO DEL pH EN EL TRATAMIENTO DE SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE YURAJHUANCA	109
	ANEXOS.....	118

INTRODUCCIÓN

La falta de agua potable en la ciudad de Cerro de Pasco es un problema constante, el cual se viene sufriendo desde los inicios de la ciudad, esto repercute en la salud de sus pobladores. El agua que debe entregar una Planta de Tratamiento de Agua Potable a la ciudad debe sufrir un tratamiento que garantice su inocuidad y que haga cumplir la normativa vigente establecida por el estado peruano en el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano.

En la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Yurajhuanca, no se viene manejando una dosis óptima de coagulante en el tratamiento de agua, en ocasiones hace que se utilice más coagulante del necesario provocando una sobredosificación en el agua como también una pérdida económica, pero en otras al dosificar menos de lo necesario no se obtiene una buena operación de coagulación y parámetros físico-químicos como la turbiedad y el color no son removidos adecuadamente, el trabajo consistió en optimizar la dosificación de sulfato de aluminio, con el fin de optimizar el sistema de dosificación del coagulante Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B requerida para el tratamiento del agua de acuerdo a la variación en los parámetros de turbidez y color, y con ésta realizar un tratamiento adecuado para la potabilización del agua en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Yurajhuanca – EMAPA PASCO S.A.

El objetivo de la presente investigación fue determinar la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo B para el tratamiento de Agua

Potable Yurajhuanca de manera que se cumpla los estándares de Turbiedad y Color según lo establecido en el Reglamento de Calidad para Agua de Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-S.A. DIGESA).

La investigación tiene como referencias antecedentes relacionadas a lo realizado por Christian Breña1Vásquez y Hugo Rivera Mantilla. Determinación de condiciones de estabilidad de la cancha de relaves de Tamboraque, Cía. Minera Nyrstar-Coricancha; Perú; 2015, La cancha de relaves de la compañía minera Nyrstar - Coricancha ha sido motivo de preocupación del Estado peruano desde sus inicios. Su desplazamiento hacia abajo, es decir, con relación al río Rímac, ha sido una causa de impactos negativos. De manera adecuada y discreta, la compañía Nyrstar ha estado invirtiendo en investigación geotécnica y ejecución de obras para estabilizar el movimiento reptante de esta cancha de relaves, previniendo un colapso total del material y mitigando un gran impacto negativo sobre el río Rímac, de tal manera que los elementos químicos contenidos en el material de esta cancha de relaves no pueda alterar el equilibrio químico de estas aguas para consumo humano, previo proceso de clorinación, que son importantes para la capital del Perú. Estos trabajos no solo implican temas de geotecnia (ingenierías geológicas y civiles), sino también la prevención de impactos negativos sobre la zona y todas las áreas que implica la cancha de relaves de Nyrstar-Coricancha, antiguamente llamada Tamboraque, en la trayectoria del río Rímac. En realidad, es también un tema geopolítico (arte y ciencia aplicada al gobierno para tomar buenas

decisiones y evitar impactos negativos). Lima, la capital del Perú, tendría serios problemas para el suministro de agua potable y se desataría una serie de problemas que pondría en riesgo la salud de los pobladores. Por eso es que se han tomado una serie de medidas de ingeniería para poder mitigar este impacto negativo.

El Autor.

CAPITULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.

La falta de agua potable en la ciudad de Cerro de Pasco es un problema constante, el cual se viene sufriendo desde los inicios de la ciudad, esto repercute en la salud de los pobladores de la ciudad.

A lo largo de la Historia de la Ciudad de Cerro de Pasco la mala calidad de agua que es dotada a la población ha sido una situación bastante compleja de controlar debido a la falta de recursos, optimizaciones y conciencia en la población de Cerro de Pasco.

Para la dotación de agua potable a una ciudad es necesario una Planta de Tratamiento de Agua Potable la cual funcione de manera óptima, y acorde a las necesidades de la población.

La dotación de agua potable a una población es esencial para la calidad de vida de ésta. Es un aspecto amplio y complejo de abarcar y se hace aún más complejo de estudiar cuando la población no toma una conciencia

acerca de cómo el agua a medida que el tiempo avanza va siendo más escasa, y la calidad de esta va disminuyendo, a cada momento es cada vez más difícil encontrar fuentes de agua sostenibles que pueden potabilizadas, por lo que tenemos que cuidar las reservas con las que contamos.

Las Aguas Superficiales tomadas para el abastecimiento de la zona Urbana de los Distritos de Chaupimarca y Yanacancha, ubicada en la ciudad de Cerro de Pasco son tomadas de la laguna Acucocha, la cual tiene una calidad de agua considerada como A1 la cual solo necesita un tratamiento de desinfección para la potabilización de la misma esta es conducida a través de un Canal abierto de derivación el cual contempla un recorrido de 32 km, este canal al ser abierto recibe material de arrastre a lo largo de su recorrido por lo cual el agua viene disminuyendo su calidad hasta el punto de captación para la Planta de Tratamiento de Agua Potable – Yurajhuanca, a donde llega con una calidad de agua considerada como A3, por lo cual la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Yurajhuanca fue construida para el tratamiento de un agua de categoría A3, esta planta en la actualidad abastece a un 78% de la población de la Ciudad de Cerro de Pasco.

El agua que debe entregar una Planta de Tratamiento de Agua Potable a la ciudad debe sufrir un tratamiento que garantice su inocuidad y que haga cumplir la normativa vigente establecida por el estado peruano en el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (Decreto Supremo N° 31 -2010 –S.A. – DIGESA), donde se establecen las normas

técnicas de calidad del agua potable. Dado que en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Yurajhuanca, no se viene manejando una dosis óptima de coagulante en el tratamiento de agua, en ocasiones hace que se utilice más coagulante del necesario provocando una sobredosificación en el agua como también una pérdida económica, pero en otras al dosificar menos de lo necesario no se obtiene un buen proceso de coagulación y parámetros físico-químicos como la turbiedad y el color no son removidos adecuadamente, se plantea el presente proyecto, con el fin de optimizar el sistema de dosificación de coagulante Sulfato de Aluminio Granulado requerida para el tratamiento del agua de acuerdo a la variación en los parámetros de turbidez y color, y con esta realizar un tratamiento adecuado para la potabilización del agua en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Yurajhuanca – EMAPA PASCO S.A.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1. PROBLEMA GENERAL.

¿Cuál es la dosificación óptima del coagulante sulfato de aluminio en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca – EMAPA PASCO S.A. de manera que los parámetros de turbiedad y color a la salida de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca estén dentro de lo establecido en el Reglamento de Calidad para Agua de Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-S.A. DIGESA)?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

1. ¿Cuál es la Dosis óptima de Sulfato de Aluminio para el tratamiento del agua en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca?
2. ¿Cuál es el caudal de dosificación óptimo, de la solución de sulfato de aluminio granulado tipo b para el tratamiento del caudal de ingreso a la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca?
3. ¿Cuál es más adecuada para la homogenización de la solución de sulfato de aluminio granulado tipo B con el caudal de ingreso a la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca?.
4. ¿La turbiedad y color del Agua tratada se encuentran dentro de los parámetros establecidos en el Reglamento de Calidad para Agua de Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-S.A. DIGESA)?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio para el tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca de manera que se cumpla los estándares de Turbiedad y Color según lo establecido en el Reglamento de Calidad para Agua de Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-S.A. DIGESA).

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio para el tratamiento de agua en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca de EMAPA PASCO S.A.
2. Determinar el caudal de dosificación adecuado de la solución de sulfato de aluminio granulado tipo B para el tratamiento del caudal de ingreso a la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca.
3. Determinar la velocidad adecuada para la homogenización de la solución de sulfato de aluminio granulado tipo B, el caudal de ingreso a la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca.
4. Mantener el Agua Tratada dentro de los parámetros establecidos en Reglamento de Calidad para Agua de Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-S.A. DIGESA).

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Justificación teórica

Por medio de este trabajo buscamos conceptualizar y brindar información como guía de la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio para el tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca de manera que se cumpla los estándares de Turbiedad y Color según lo establecido en el Reglamento de Calidad para Agua de Consumo Humano a través de a prueba de jarras siendo esta la técnica más extensamente usada para determinar la dosis de químicos y otros parámetros para la potabilización del agua. En

ella se tratan de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio.

1.4.2. Justificación Práctica

Por medio de la presente investigación buscamos proporcionar nuevas posibilidades de la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio para el tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca de manera que se cumpla los estándares de Turbiedad y Color según lo establecido en el Reglamento de Calidad para Agua de Consumo Humano

1.4.3. Justificación Metodológica

La metodología se centró en la evaluación de los parámetros del agua cruda (ingreso de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca), mediante un monitoreo continuo, para una vez obtener los datos del mencionado monitoreo sea posible la determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado tipo y la dosificación de esta a la Planta de Tratamiento de Agua Potable de EMAPA PASCO S.A. y así logra cumplir con los parámetros establecidos en el D.S. N° 031 2010 SA (Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano)

1.4.4. Justificación Ambiental

La dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio para el tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca, permitió que el agua

sea tratada cumpliendo la normativa ambiental y ante ello que el poblador se encuentra satisfecho con el servicio brindado.

1.5. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación es de suma importancia por las siguientes razones:

A. AGUA POTABLE EN EL PERÚ

El problema del agua potable en nuestro país es bastante álgido, y tiene que ver mucho con dos puntos centrales en el desarrollo de nuestro país, el crecimiento económico y la pobreza, como afirma Pedro Pablo Kuczynski: "el crecimiento económico es una condición necesaria pero no suficiente para la reducción de la pobreza. Este paradigma nos dice cuáles son las grandes líneas para analizar la agenda pendiente: promover el crecimiento económico y tener un plan claro y específico para atacar la pobreza y la marginalidad. Antes dijimos que la gran prioridad para el Perú es la eliminación de la pobreza. Para tener un impacto sobre la pobreza se necesita crecimiento económico sostenido y programas específicos contra la pobreza...". Una de las prioridades del estado peruano debería ser la satisfacción de las necesidades básicas de la población entre las más primordiales la dotación de agua potable a la población que lo requiera ya que sin ella la calidad de vida de las personas es muy baja.

El abastecimiento de agua potable incluye todo un proceso de obras de ingeniería destinado a llevar este recurso hasta la vivienda de los habitantes de un determinado centro poblado, urbanización, asentamiento

humano, etc. El abastecimiento de agua potable a su vez debe estar determinado e influenciado por tres factores, que son los que le dan al servicio las condiciones básicas y adecuadas:

- Cantidad: la mínima que se necesita para satisfacer las necesidades diarias (que no genere restricciones, que afectan a la higiene, comodidad y calidad de vida). De nada sirve tener la conexión del servicio si solo lo tengo algunos días de la semana o si lo tengo todos los días solo por algunas horas, debe ser continuo las 24 horas del día, todos los días del año.
- Calidad: que sirva a los usos para los que ha sido prevista, con garantía de eficacia, la calidad se basa en los contenidos, tanto de sales como bacteriológicos que debe contener el agua suministrada, según normas nacionales e internacionales.
- Emplazamiento: consiste en poner el servicio en el lugar de consumo, con cañerías dentro de la vivienda.

Esta dicho entonces que el servicio de agua potable debe reunir estos tres factores para considerarlo no solo de óptimas condiciones, sino y sobre todo básico y adecuado, si un proyecto de ingeniería no reúne o no considera estos tres factores, estamos haciendo un trabajo a medias, lo que un ciudadano quiere de su servicio de agua potable es: que el agua

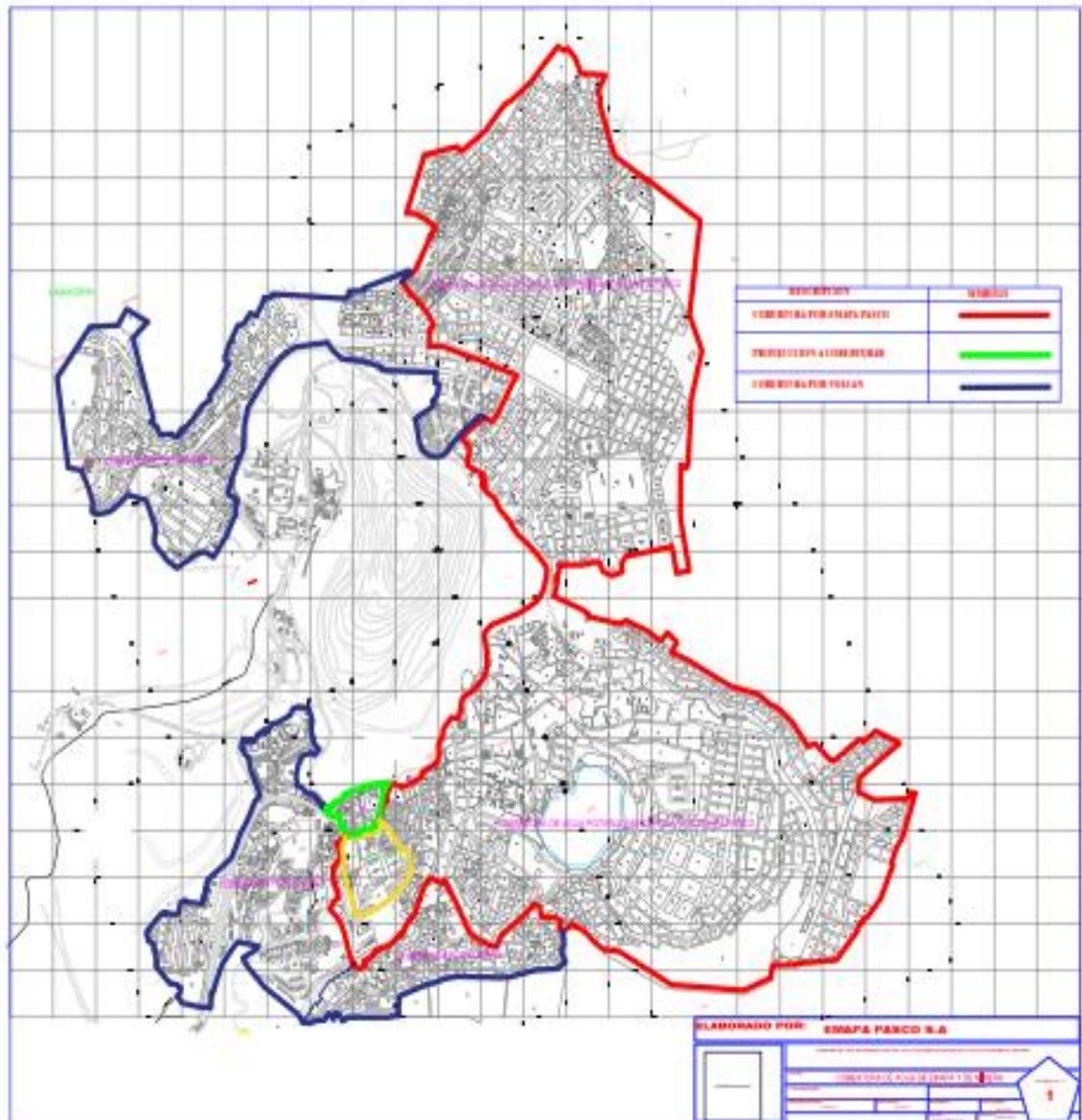
llegue por cañerías a su vivienda, disponer de agua todos los días las 24 horas y tener un líquido elemento de calidad.

Si falla alguno de dichos factores va a ocasionar a corto o largo plazo un déficit en: higiene personal y de los alimentos, comodidad y enfermedades acarreadas por tener que almacenar agua, ya sea por los días que falta esta o por tener caño comunitario, finalmente genera déficit en la calidad de vida.

B. AGUA POTABLE EN CERRO DE PASCO

Como es de conocimiento para todos en la Ciudad de Cerro de Pasco existen numerosos problemas relacionados al agua potable que se distribuye a la población, resaltando que nuestra ciudad se encuentra abastecida por dos sistemas de abastecimiento uno que viene siendo administrada por la EPS EMAPA PASCO, y el otro que viene siendo administrada por la Empresa CERRO S.A.C, ambos sistemas abastecen de agua a partes distintas de la población, la dotación brindada por la EPS EMAPA PASCO S.A. cuenta con una Planta de Tratamiento de Agua Potable ubicado en la localidad de Yurajhuanca, esta abastece a los sectores de Chaupimarca y Yanacancha dentro de la ciudad de Cerro de Pasco, durante las diferentes épocas del año (estiaje y húmeda), la calidad del agua varia por lo cual la población de la ciudad no se siente segura acerca del agua que la EPS EMAPA PASCO viene brindando, lo cual conlleva a que los pobladores tengan diversas quejas y manifestaciones a los entes reguladores del agua.

Imagen N° 01: Plano de Abastecimiento de Agua



Fuente: EMAPA PASCO

1.6. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El presente estudio tuvo limitaciones acerca de la operatividad existente en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca, debido a que ésta no cuenta con un manual de operaciones

CÁPITULO II

MARCO TEÓRICO.

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Claudia Lorena Barajas Garzón, Andrea Juliana León Luque (2015). Determinación de la Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ en el Proceso de Coagulación – Floculación Para el Tratamiento de Agua Potable por Medio del uso de una Red Neuronal Artificial. Bogotá. Colombia.

El proceso de coagulación y floculación es una de las operaciones más importantes dentro de la potabilización de aguas, pero su efectividad se ve afectada debido a que el cálculo de la dosificación de coagulante a aplicar se lleva a cabo por medio del Ensayo de Jarras o el uso del Streaming Current Detector (SCD) que respectivamente poseen como principales

desventajas el hecho de no tener en cuenta el cambio de los parámetros fisicoquímicos del agua en tiempo real y la necesidad de obtener de un punto óptimo de funcionamiento para el equipo, calculando una dosis indicada sólo para ciertas condiciones. El presente proyecto se formuló con el fin de llevar a cabo la determinación de la dosis óptima de Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$ utilizando modelos de correlación entre variables como las regresiones lineales y polinomiales y al mismo tiempo un modelo de Red Neuronal Artificial (RNA) que al enfrentarse a variaciones en tiempo real de la turbidez sea capaz de arrojar como resultado una dosis indicada, con el objetivo de conseguir una coagulación efectiva en el agua a tratar y de esta forma evitar la presencia excesiva o insuficiente de coagulante, minimizar la necesidad de realizar ensayos de jarras continuamente y al mismo tiempo lograr disminuir las pérdidas de carácter económico debido al gasto inadecuado del coagulante.

2.1.2 Daniela Castrillón Bedoya y María De Los Ángeles Giraldo (2012). Determinación de las Dosis Óptimas del Coagulante Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B en Función de la Turbiedad y el Color para la Potabilización del Agua en la Planta de Tratamiento de Villa Santana Determinación de las Dosis Óptimas del Coagulante Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B en Función de la Turbiedad y el Color para la Potabilización del Agua en la Planta de Tratamiento de Villa Santana. Barrio Alamos - Risaralda – Colombia.

En la Planta de tratamiento de agua de Villa Santana, se realizaron ensayos de tratabilidad con el coagulante sulfato de aluminio Granulado TIPO B con el fin de determinar las dosis óptimas requeridas para la remoción de turbiedad y color en diferentes muestras de agua recogidas durante un periodo de tiempo específico.

Cada muestra recogida presentaba valores significativos en cuanto a turbiedad y color con el fin de obtener un rango amplio para analizar. El método por el cual se determinaron dichas dosis óptimas fue mediante el test de jarras y estas dosis fueron escogidas tomando como base el cumplimiento del decreto 1575

resolución 2115/2007. Los resultados obtenidos después de realizar el test de jarras arrojaron resultados óptimos en cuanto a la remoción de los parámetros fisicoquímicos analizados y el cumplimiento de ellos según la norma.

2.1.3 Jaime Herminio Claros Castellares(2015). Efectos del Polihidroxiclورو de Aluminio, Velocidad de Agitación y PH en la Turbidez del agua del Río Shullcas - Huancayo-Perú

El propósito de la tesis fue evaluar los efectos del polihidroxiclورو de aluminio, velocidad de agitación y pH en la turbidez del agua del río Shullcas en la localidad de Huancayo, en el año 2013 y aplicar en el tratamiento de agua potable a fin de lograr un producto de turbidez óptima. Basado en modelos físicos y químicos se desarrolló una investigación aplicada del proceso de clarificación (coagulación, floculación y sedimentación), de nivel explicativo, utilizando el método de investigación experimental, se aplicó un diseño experimental factorial con dos niveles, 3 variables independientes y dos réplicas, $2^3 \times 2$. Las variables independientes fueron la cantidad de

polihidroxiclورو de aluminio, (10 y 50 mL), velocidad de agitación (50 y 100 rpm) y pH (6 y 7). La variable dependiente

fue la turbidez. Se aplicó el método de la prueba de jarras. La recolección de datos se hizo durante los experimentos diseñados. Se procesó los datos con el Systat 13. Al realizar la docimacia de hipótesis se encontró en cada caso un p value = 0,000 para el PAC, velocidad de agitación y pH, que indica que los efectos principales de las variables independientes tienen una alta significancia sobre la turbidez, con un nivel de confianza de 95% y $\alpha=0.05$. Se logró una remoción de la turbidez de 86,67 %.

2.2 BASES TEÓRICO – CIENTIFICAS

2.2.1 AGUA POTABLE

Es considerada agua potable, toda agua natural o producida por un tratamiento de potabilización que cumpla con las Normas de calidad establecidas para tal fin. Estas Normas se basan en estudios toxicológicos y epidemiológicos, así como en consideraciones estéticas. El agua potable se produce a partir del agua contaminada que proviene de aguas superficiales (lagos, arroyos, lagunas, ríos, mares, océanos y glaciares), subterráneas (pozos profundos) y atmosféricas (lluvias). Debido a la amplia gama de contaminantes, a los diferentes niveles de contaminación, así como a la cinética química de las sustancias, elementos, materia orgánica y microorganismos que se incorporan en el cuerpo del agua, es indispensable conocer sus

características físicas, químicas y microbiológicas antes de seleccionarla como fuente de agua cruda.

Siendo el agua indispensable para la vida, es necesario que los consumidores dispongan de un abastecimiento de agua satisfactorio, por lo que el abastecedor debe realizar el mayor esfuerzo posible para suministrar agua de la mejor calidad de acuerdo con las normas establecidas. Cada país es el encargado de establecer dichas normas y de vigilar su cumplimiento.

2.2.2 NORMATIVIDAD PERUANA

La buena calidad del agua de consumo humano asegura al consumidor su protección contra la presencia de agentes patógenos y compuestos físicos y químicos perjudiciales a su salud. La información que proveen los programas de vigilancia y control del agua para consumo humano, aparte del beneficio relacionado con la disminución de enfermedades transmitidas por vía hídrica, es un medio que permite el mejoramiento de la calidad del servicio de abastecimiento de agua.

En Perú la norma que regula los parámetros de calidad de agua para consumo humano se rige bajo las condiciones del Decreto Supremo N° 031 – 2010 - SA por el cual se establece “El Reglamento de Calidad Agua para Consumo Humano”

Aplica a todas las entidades prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada,

en todo el territorio nacional, independientemente del uso que de ella se haga para otras actividades económicas, a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales y sanitarias y a los usuarios.

2.2.2.3 DECRETO SUPREMO N° 031 – 2010 (“EL REGLAMENTO DE CALIDAD AGUA PARA CONSUMO HUMANO”)

Según este decreto se define el agua para consumo humano (agua potable) como aquella que debe reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el presente decreto, para ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a su salud.

En los anexos I, II y III del Decreto Supremo N° 031-2010-S.A. hace referencia a las características

En la siguiente tabla se encuentran especificados los valores máximos permisibles:

Tablas Nº 1: LMP – Para Agua Potable en el Perú

**LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE PARAMETROS
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS**

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. E. Coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	Nº org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	Nº org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 /100 ml

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

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

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE
PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS**

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L ⁻¹	0,010
3. Bario	mg Ba L ⁻¹	0,700
4. Boro	mg B L ⁻¹	1,500
5. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0,003
6. Cianuro	mg CN ⁻ L ⁻¹	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0,7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0,7
10. Cromo total	mg Cr L ⁻¹	0,050
11. Flúor	mg F L ⁻¹	1,000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
13. Niquel	mg Ni L ⁻¹	0,020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50,00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
19. Uranio	mg U L ⁻¹	0,015
Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Trihalometanos totales (nota 3)		1,00
2. Hidrocarburo disuelto o emulsionado; aceite mineral	mgL ⁻¹	0,01
3. Aceites y grasas	mgL ⁻¹	0,5
4. Alacloro	mgL ⁻¹	0,020
5. Aldicarb	mgL ⁻¹	0,010
6. Aldrín y dieldrín	mgL ⁻¹	0,00003
7. Benceno	mgL ⁻¹	0,010
8. Clordano (total de isómeros)	mgL ⁻¹	0,0002
9. DDT (total de isómeros)	mgL ⁻¹	0,001
10. Endrin	mgL ⁻¹	0,0006
11. Gamma HCH (lindano)	mgL ⁻¹	0,002
12. Hexaclorobenceno	mgL ⁻¹	0,001
13. Heptacloro y heptacloroepóxido	mgL ⁻¹	0,00003
14. Metoxicloro	mgL ⁻¹	0,020
15. Pentaclorofenol	mgL ⁻¹	0,009
16. 2,4-D	mgL ⁻¹	0,030
17. Acrilamida	mgL ⁻¹	0,0005
18. Epiclorhidrina	mgL ⁻¹	0,0004
19. Cloruro de vinilo	mgL ⁻¹	0,0003
20. Benzopireno	mgL ⁻¹	0,0007
21. 1,2-dicloroetano	mgL ⁻¹	0,03
22. Tetracloroetano	mgL ⁻¹	0,04

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
23. Monocloramina	mgL ⁻¹	3
24. Tricloroeteno	mgL ⁻¹	0,07
25. Tetracloruro de carbono	mgL ⁻¹	0,004
26. Ftalato de di (2-etilhexilo)	mgL ⁻¹	0,008
27. 1,2- Diclorobenceno	mgL ⁻¹	1
28. 1,4- Diclorobenceno	mgL ⁻¹	0,3
29. 1,1- Dicloroeteno	mgL ⁻¹	0,03
30. 1,2- Dicloroeteno	mgL ⁻¹	0,05
31. Diclorometano	mgL ⁻¹	0,02
32. Ácido edético (EDTA)	mgL ⁻¹	0,6
33. Etilbenceno	mgL ⁻¹	0,3
34. Hexaclorobutadieno	mgL ⁻¹	0,0006
35. Acido Nitrilotriacético	mgL ⁻¹	0,2
36. Estireno	mgL ⁻¹	0,02
37. Tolueno	mgL ⁻¹	0,7
38. Xileno	mgL ⁻¹	0,5
39. Atrazina	mgL ⁻¹	0,002
40. Carbofurano	mgL ⁻¹	0,007
41. Clorotoluron	mgL ⁻¹	0,03
42. Cianazina	mgL ⁻¹	0,0006
43. 2,4- DB	mgL ⁻¹	0,09
44. 1,2- Dibromo-3- Cloropropano	mgL ⁻¹	0,001
45. 1,2- Dibromoetano	mgL ⁻¹	0,0004
46. 1,2- Dicloropropano (1,2- DCP)	mgL ⁻¹	0,04
47. 1,3- Dicloropropeno	mgL ⁻¹	0,02
48. Dicloroprop	mgL ⁻¹	0,1
49. Dimetato	mgL ⁻¹	0,006
50. Fenoprop	mgL ⁻¹	0,009
51. Isoproturon	mgL ⁻¹	0,009
52. MCPA	mgL ⁻¹	0,002
53. Mecoprop	mgL ⁻¹	0,01
54. Metalacloro	mgL ⁻¹	0,01
55. Molinato	mgL ⁻¹	0,006
56. Pendimetalina	mgL ⁻¹	0,02
57. Simazina	mgL ⁻¹	0,002
58. 2,4,5- T	mgL ⁻¹	0,009
59. Terbutilazina	mgL ⁻¹	0,007
60. Trifluralina	mgL ⁻¹	0,02
61. Cloropirifos	mgL ⁻¹	0,03
62. Piriproxifeno	mgL ⁻¹	0,3
63. Microcistin-LR	mgL ⁻¹	0,001

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
64. Bromato	mgL ⁻¹	0,01
65. Bromodichlorometano	mgL ⁻¹	0,06
66. Bromoformo	mgL ⁻¹	0,1
67. Hidrato de cloral (tricloroacetaldehído)	mgL ⁻¹	0,01
68. Cloroformo	mgL ⁻¹	0,2
69. Cloruro de cianógeno (como CN)	mgL ⁻¹	0,07
70. Dibromoacetoniitrilo	mgL ⁻¹	0,1
71. Dibromoclorometano	mgL ⁻¹	0,05
72. Dicloroacetato	mgL ⁻¹	0,02
73. Dicloroacetoniitrilo	mgL ⁻¹	0,9
74. Formaldehído	mgL ⁻¹	0,02
75. Monocloroacetato	mgL ⁻¹	0,2
76. Tricloroacetato	mgL ⁻¹	0,2
77. 2,4,6- Triclorofenol		

Nota 1: En caso de los sistemas existentes se establecerá en los Planes de Adecuación Sanitaria el plazo para lograr el límite máximo permisible para el arsénico de 0,010 mgL⁻¹.

Nota 2: Para una desinfección eficaz en las redes de distribución la concentración residual libre de cloro no debe ser menor de 0,5 mgL⁻¹.

Nota 3: La suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Cloroformo, Dibromoclorometano, Bromodichlorometano y Bromoformo) con respecto a sus límites máximos permisibles no deberá exceder el valor de 1,00 de acuerdo con la siguiente fórmula:

2.2.3 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL AGUA

La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que pueden ser de origen natural o antropogénico define su composición física y química. Aunque solamente alrededor del 2% del agua de consumo público se destina a uso de boca, el consumidor es cada vez más exigente en relación al olor y sabor del agua que recibe. Estas dos características, junto con el color y la turbidez (parámetros organolépticos), son los únicos que el consumidor puede apreciar por sí mismo y cualquier cambio que percibe tiende a asociarlo a algún riesgo sanitario. Es por ello que

el tema de los gustos y olores en las aguas, sean crudas o tratadas, es un tema de interés creciente para las empresas suministradoras de agua potable y para todas aquellas organizaciones involucradas en el ciclo del agua.

2.2.3.3 TURBIDEZ

La turbidez es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, la turbiedad es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbidez en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, etc. Actualmente el método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbidez nefelométrica, UTN. Con este método se compara la intensidad de luz dispersada por la muestra con la intensidad de luz dispersada por una suspensión estándar de referencia bajo las mismas condiciones de medida. Entre mayor sea la intensidad de luz dispersada mayor será la turbiedad. Como suspensión

estándar de referencia se usa una suspensión de un polímero de formalina, la cual es fácil de preparar y de mejores características reproducibles que otros materiales anteriormente usados como la arcilla.

La determinación de turbidez es de gran importancia en aguas para consumo humano y en una gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas. Los valores de turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua.

2.2.3.4 COLOR

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ión metálico trivalente como el Al^{+3} o el Fe^{+3} .

Los coloides hidrofóbicos no reaccionan con el agua pero los hidrofílicos sí; 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 de agua, así, los colores hidrofílicos requieren mayor cantidad de coagulante que los hidrofóbicos. Dos tipos de color se reconocen en el agua: el color verdadero, o sea el color de la muestra una vez que su turbidez ha sido removida, y el color aparente que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales sino también el color debido al material suspendido. El color aparente se determina sobre la muestra original sin filtración o centrifugación previa.

La unidad de color es el color producido por un mg/L de platino, en la forma de ion cloroplatinato, el color es expresado en unidades de la escala Pt-Co.

La remoción del color es una función del tratamiento del agua y se practica para hacer un agua adecuada para usos generales o industriales. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso usado para su remoción; cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor y su remoción es, por lo tanto, objetivo esencial del tratamiento.

2.2.3.5 SABOR Y OLOR

Los olores y sabores en el agua frecuentemente ocurren juntos y en general son prácticamente indistinguibles. Muchas pueden ser las causas de olores y sabores en el agua; entre las más comunes se encuentran: materia orgánica en solución, sulfuro de hidrogeno, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, etc.

La determinación del olor y el sabor en el agua es útil para evaluar la calidad de la misma y su aceptabilidad por parte del consumidor, para el control de los procesos de una planta y para determinar en muchos casos la fuente de una posible contaminación.

Tanto el olor como el sabor pueden describirse cualitativamente y esto es muy útil especialmente en casos de reclamos por parte del consumidor; en general los olores son más fuertes a altas temperaturas. El ensayo de sabor solo debe hacerse con muestras seguras para consumo humano.

2.2.3.6 pH

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia, siendo ésta una de las propiedades más importantes del agua. El rango varía

de 0 a 14, siendo 7 el rango promedio (rango neutral). Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica un rango básico. Por definición, el pH es en realidad una medición de la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua.

Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 6,5 y 8,5. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua. El pH tiene una gran influencia en la coagulación. Valores por encima o por debajo del pH óptimo producen malos resultados.

2.2.4 TRATAMIENTOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Para lograr la potabilización de agua es preciso someter a la misma a varios tratamientos elementales, que comprenden la clarificación, desinfección y acondicionamiento químico y organoléptico. De este modo la clarificación incluye la coagulación – floculación, proceso mediante el cual las partículas presentes en el agua se aglomeran formando pequeñas masas que presentan un peso específico mayor que el del agua, de esta forma las partículas sedimentan y permiten que el agua alcance las características idóneas para el consumo humano.

2.2.4.3 COAGULACIÓN

Las partículas que forman la turbiedad y el color de las aguas naturales, poseen cargas eléctricas que normalmente son negativas, pero como también existen cargas eléctricas positivas, se puede afirmar que el agua y las soluciones son eléctricamente neutras. Las cargas eléctricas de las partículas generan fuerzas de repulsión entre ellas, por lo cual se mantienen suspendidas y separadas en el agua. Es por esto que dichas partículas no se sedimentan.

Mediante el proceso de coagulación se neutraliza la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas, esta neutralización suele realizarse aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes); de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua.

La coagulación y la floculación tienen lugar en sucesivas etapas, de forma que una vez desestabilizadas las partículas, la colisión entre ellas permita el crecimiento de los microflóculos, apenas visibles a simple vista, hasta formar mayores flóculos. Al observar el agua que rodea a los microflóculos, ésta debería estar clara; si esto no ocurre, lo más probable es que todas las cargas de las partículas no han sido neutralizadas y por tanto la

coagulación no se ha completado, en este caso será necesario añadir más coagulante.

2.2.4.4 ETAPAS DEL PROCESO DE COAGULACIÓN

- **Primera Fase:** Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas existentes en la suspensión.
- **Segunda Fase:** Precipitación y formación de componentes químicos que se polimerizan.
- **Tercera Fase:** Adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides.
- **Cuarta Fase:** Adsorción mutua entre los coloides.
- **Quinta Fase:** Acción de barrido.

Cuando se agrega un coagulante al agua, éste se hidroliza y puede producir la desestabilización de las partículas por simple adsorción específica de los productos de hidrólisis, generalmente con carga positiva, en la doble capa que rodea a los coloides negativamente cargados (compresión de la doble capa o neutralización de las cargas), o por interacción química con los grupos ionizables de su superficie.

La teoría química y la de la doble capa son las más aceptadas universalmente y explican la estabilidad de los coloides.

2.2.4.5 POTENCIAL “Z”

El conjunto formado por estas partículas constituye un sistema coloidal, formado por una doble capa de iones, el cual es sometido a un potencial en la superficie inferior del doble lecho, denominado potencial Z. Este potencial tiene un valor crítico, por encima del cual los coloides son estables, y por debajo de él, la repulsión en las partículas se reduce a un grado tal que chocando con cierta velocidad pueden unirse y flocular.

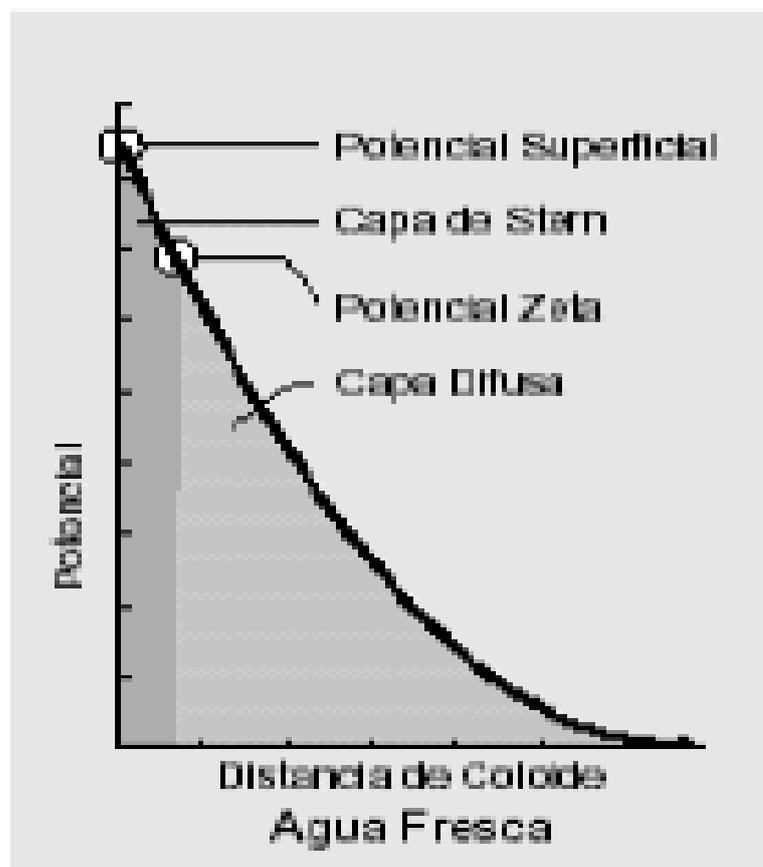
El coloide negativo y su atmósfera cargada positivamente producen un potencial eléctrico relativo a la solución. Este tiene un valor máximo en la superficie y disminuye gradualmente con la distancia, aproximándose a cero fuera de la capa difusa. La caída del potencial y la distancia desde el coloide es un indicador de la fuerza repulsiva entre los coloides en función de la distancia a las cuales estas fuerzas entran en juego.

Un punto de particular interés es el potencial donde se unen la capa difusa y la de Stern. Este potencial es conocido como el potencial zeta, el cual es importante porque puede ser medido de una manera muy simple, mientras que la carga de la superficie y su potencial no pueden medirse. El potencial zeta puede ser una manera efectiva de controlar el comportamiento del coloide

puesto que indica cambios en el potencial de la superficie y en las fuerzas de repulsión entre los coloides.

Imagen Nº 02: Volumen 75, Número 154, p. 65-71, 2008.

ISSN electrónico 2346-2183. ISSN impreso 0012-7353.



Fuente: DYNA

El problema en la coagulación consiste en disminuir el potencial Z por uno de los siguientes métodos:

- Coagulación por neutralización de la carga: Esta se realiza cuando coloides de diferente signo se mezclan en el agua. Esto es lo que sucede cuando se agrega alumbre o sales de hierro al agua.
- Coagulación por disminución del espesor de la doble capa (distancia d). Al incrementarse la concentración de iones en el agua la “distancia d ” disminuye, hasta hacer el valor del potencial Z inferior al punto crítico.

El fenómeno de la desestabilización se efectúa mediante una serie de reacciones químicas bastante complejas, de las cuales algunas no se han podido entender lo suficiente. Dentro de esas reacciones se encuentran las que se efectúan con las diversas formas de alcalinidad, por lo cual su contenido disminuye. Además, algunas de estas reacciones producen CO_2 , cuyo efecto consiste fundamentalmente en el incremento de la acidez del agua y por consiguiente la disminución del pH.

2.2.4.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN

- Estado de Valencia: Entre mayor sea la valencia del ion, más efectivo resulta como coagulante.
- Capacidad de cambio: Es una medida de la tendencia a remplazar cationes de baja valencia por otros de mayor

valencia, provocando la desestabilización y aglomeración de partículas en forma muy rápida.

- **Tamaño de las partículas:** Las partículas deben poseer el diámetro inferior a una micra. Las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, en cambio de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc.
- **Temperatura:** La temperatura cambia el tiempo de formación del floc, entre más fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor.
- **Concentración de iones H^+ o pH:** Para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante.
- **Relación cantidad-tiempo:** La cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc.
- **Alcalinidad:** La alcalinidad guarda la relación con el pH y por lo tanto el contenido de alcalinidad del agua es uno de los factores por considerar en la coagulación.

2.2.4.7 pH OPTIMO DE COAGULACIÓN

El valor del pH es uno de los factores de mayor importancia y efecto sobre el proceso de coagulación, el pH afecta la solubilidad de los precipitados formados por el hierro y el aluminio, así como

el tiempo requerido para formación de floc y la carga sobre las partículas coloidales. El pH óptimo para la remoción de coloides negativos varía según la naturaleza del agua, pero usualmente cae entre pH 5,0 a 6,5. Los coagulantes metálicos son muy sensibles al pH y a la alcalinidad. Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y pueden solubilizarse el hierro o el aluminio y generar problemas al usuario del agua. Cuanto menos sea la dosis de coagulante, tanto mayor será la sensibilidad del flóculo a cambios de pH.

2.2.4.8 FLOCULACIÓN

La formación de los flóculos es consecuencia de la agrupación de las partículas descargadas al ponerse en contacto unas con otras. Puede ser causada por la colisión entre las partículas, debido a que cuando se acercan lo suficiente las superficies sólidas, las fuerzas de Van der Waals predominan sobre las fuerzas de repulsión, por la reducción de la carga eléctrica que trae como consecuencia la disminución de la repulsión eléctrica.

La floculación puede ser ortocinética, que es la inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (paletas giratorias) y es cuando los contactos son producidos por el movimiento del fluido, o pericinética que es la promovida dentro del líquido por el movimiento que tienen las partículas en él,

debido a la agitación y por la gravedad y el peso de las partículas, las que se aglomeran al caer y es cuando el contacto entre las partículas es producido por el movimiento Browniano.

El coagulante aplicado da lugar a la formación del flóculo, pero es necesario aumentar su volumen, su peso y especialmente su cohesión. Para favorecer el engrosamiento del flóculo será necesaria una agitación homogénea y lenta del conjunto, con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas descargadas eléctricamente se encuentren con una partícula flóculo.

2.2.4.9 CINÉTICA DE FLOCULACIÓN

Tan pronto como se agregan coagulantes a una suspensión coloidal, se inician una serie de reacciones hidrolíticas que adhieren iones a la superficie de las partículas presentes en la suspensión, las cuales tienen así oportunidad de unirse por sucesivas colisiones hasta formar flóculos que crecen con el tiempo.

La rapidez con que esto ocurre depende del tamaño de las partículas con relación al estado de agitación del líquido, de la concentración de las mismas y de su “grado de desestabilización”, que es el que permite que las colisiones sean efectivas para producir adherencia.

Los contactos pueden realizarse por dos modos distintos:

- Floculación Pericinética: Contactos por bombardeo de las partículas producidos por el movimiento de las moléculas del líquido (movimiento browniano) que sólo influye en partículas de tamaños menores a un micrón. Sólo actúa al comienzo del proceso, en los primeros 6 a 10 seg y es independiente del tamaño de la partícula.
- Floculación Ortocinética: Contactos por turbulencia del líquido, esta turbulencia causa el movimiento de las partículas a diferentes velocidades y direcciones, lo cual aumenta notablemente la probabilidad de colisión. Efectivo sólo con partículas mayores a un micrón. Actúa durante el resto del proceso, de 20 a 30 min.

2.2.4.10 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FLOCULACIÓN

- Concentración y naturaleza de las partículas

La velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas.

- Tiempo de detención

La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención.

Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de jarras, esto se puede lograr dividiendo la unidad de floculación en cámaras. Se puede decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie. Por razones de orden práctico el número de cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres (3) unidades.

➤ Gradiente de velocidad

Este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del floc. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados.

2.2.4.11 SEDIMENTACIÓN

Se entiende por sedimentación a la remoción, por efecto gravitacional de las partículas en suspensión en un fluido y que tengan peso específico mayor que el fluido. En un determinado intervalo de tiempo no todas las partículas en suspensión sedimentan. Justamente las que sedimentan en un intervalo de tiempo elegido son llamadas "sólidos sedimentables".

La sedimentación como tal, es en esencia un fenómeno netamente físico. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se

produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferentes formas, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de las partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

- Partículas discretas: son aquellas partículas que no cambian de características, forma, tamaño y densidad durante la caída.
- Partículas floculentas: son aquellas producidas por la aglomeración de las partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas; forma, tamaño y densidad si cambian durante la caída. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación floculación y la filtración rápida.
- Partículas por caída libre e interferida: cuando la concentración de partículas es pequeña, cada partícula sedimenta discretamente, como si estuviera sola, no siendo estorbadas por otras partículas. Partiendo del reposo, la

velocidad de una partícula bajo la gravedad en un líquido aumentara al ser la densidad de la partícula mayor que la densidad del líquido. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en un lugar individual.

2.2.5 COAGULANTES

En general, se puede decir que los coagulantes son aquellos compuestos de hierro y aluminio capaces de formar un floc y que pueden efectuar coagulación al ser añadidos al agua. Por otra parte, ayudas de coagulación, en realidad no actúan como tales en la coagulación sino en la floculación generando un floc más pesado.

Los productos químicos que se utilizan normalmente en la coagulación son alúmina (sulfato de aluminio), cloruro férrico, aluminato de sodio, sulfato ferroso y cal. La alúmina es el coagulante de uso más extendido. Entre las ayudas de coagulación se incluye el cloruro de magnesio, el aluminato de sodio, la sílice activa, el almidón y gran número de polielectrólitos de masa molecular alta.

La popularidad de los coagulantes de aluminio y hierro surge no solo de su efectividad como coagulantes, sino también de su disponibilidad y relativo bajo costo. La efectividad de estos

coagulantes surge principalmente por su habilidad de formar complejos polinucleares multcargados en solución con mayores características de adsorción.

2.2.5.3 CLASES DE GOAGULANTES

Los coagulantes se pueden clasificar en dos grupos: los polielectrolitos o ayudantes de coagulación y los metálicos. Ambos grupos actúan como polímeros a pesar de la carga eléctrica que poseen.

En los primeros, las cadenas poliméricas están ya formadas cuando se los agrega al agua. En los segundos, la polimerización se inicia cuando se pone el coagulante en el agua, después de los cuales viene la etapa de la absorción por los coloides en la fase acuosa.

Es, sin embargo, necesario observar que la velocidad de sedimentación de las partículas no depende en la forma exclusiva de los coagulantes usados sino del peso de las partículas que se trata de sedimentar.

2.2.5.3.1 COAGULANTES METALICOS

Se clasifican en tres tipos: sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios. Las sales de aluminio más conocidas son el sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal y el cloruro de poli aluminio.

2.2.5.3.1.1 SULFATO DE ALUMINIO

El sulfato de aluminio es el coagulante estándar usado en tratamientos de aguas. El producto comercial tiene usualmente la fórmula $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$. Se obtiene de la digestión de minerales de bauxita con ácido sulfúrico.

El material es empacado en diversas formas: en polvo, molido, en terrones, en granos parecidos al arroz y en forma líquida. El sulfato de aluminio ha estado disponible en todo el mundo con un costo razonable porque ha sido fácil de producir incluso en fábricas muy sencillas. Por esta razón la mayoría de plantas están diseñadas para alum y el personal de las plantas están capacitados para usar el alumbre.

Cuando se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al^{+3} y SO_4^- . El Al^{+3} puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal.



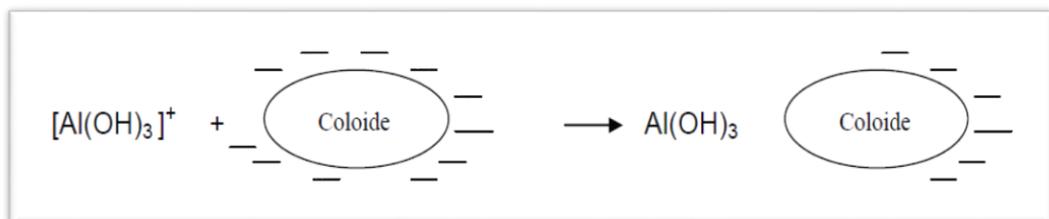
El Al^{+++} puede también combinarse con los OH^- del agua para formar hidróxido de aluminio.



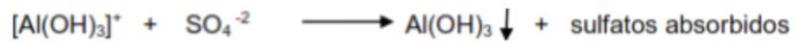
Y.



Este hidróxido de aluminio es de carácter coloidal, ya que absorbe iones positivos en solución para formar un sol cargado positivamente. Dicho sol neutraliza la carga de los coloides negativos y ayuda a completar la aglomeración.



Casi siempre se forma un exceso de solución de hidróxido de aluminio y su destrucción y precipitación se logra mediante los iones sulfato y otros iones negativos presentes en el agua.



Con respecto a los coagulantes de hierro y a los de aluminio se puede afirmar que los cationes metálicos reaccionan inmediatamente con el agua para formar iones acuimetálicos e hidrógeno; los aniones permanecen libres o combinados con otros cationes. Con alumbre ocurren las siguientes reacciones:

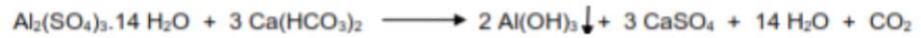


Los iones acuimetálicos son adsorbidos por el coloide negativo y neutralizan su carga superficial permitiendo la coagulación. La coagulación por adsorción y neutralización de la carga es posiblemente el fenómeno predominante en soluciones de alta concentración de coloides.

Los coloides pueden ser barridos por los flocs formados, al ser atrapados dentro de ellos durante la floculación y sedimentación; en otras palabras, los precipitados de $Al(OH)_3$ atrapan los coloides efectuando una coagulación de barrido, la cual predomina en algunas soluciones de concentración coloidal baja. Debe tenerse en cuenta sin embargo, que si se sobre dosifica el coagulante, el fenómeno puede revertirse y resurgir el coloide negativo causando nuevamente el problema de turbiedad y color.

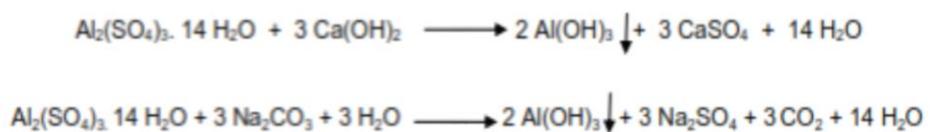
El sulfato de aluminio debe distribuirse a través de toda la masa de agua rápidamente, con el fin de que se logre el contacto con todas las partículas coloidales antes de que se presente la formación de las especies menos deseables. Esto se logra mediante una mezcla instantánea que provea una buena distribución del coagulante en el menor tiempo posible.

Durante la floculación se completa la aglomeración de las partículas y crecen los flocs hasta una condición adecuada para su sedimentación. Durante la sedimentación el floc se asienta para dejar un líquido clarificado. Cuando se añade sulfato de aluminio al agua este reacciona con la alcalinidad natural del agua para formar floc de hidróxido de aluminio:



La producción de CO₂ es indeseable puesto que incrementa la corrosividad del agua; además, la ecuación muestra también como se presenta una conversión de bicarbonato de calcio en sulfato de calcio, o sea una reducción de la dureza carbonacea y un aumento de la no carbonacea, lo cual es también desventajoso desde el punto de vista de remoción de dureza.

Si el agua no contiene alcalinidad natural suficiente para reaccionar con el alumbre, es necesario añadir la alcalinidad necesaria. Esto se hace normalmente con cal o soda:



La dosis de alumbre varía normalmente entre 5 a 50 mg/L para aguas naturales. Comúnmente el pH efectivo para coagulación con alumbre es de 5,5 a 8,0 y se prefiere para tratar aguas

superficiales de buena calidad por ser el único químico necesario para la coagulación.

2.2.5.3.1.2 SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B

El sulfato de aluminio granulado tipo B es el que cumple las siguientes especificaciones:

Tabla N ° 2: Requisitos químicos del sulfato de aluminio granulado tipo B.

Propiedades	Limites	Unidad
Aluminio	Min 17.0	% W/W
Basicidad	Min 0.05	% W/W
Hierro soluble total	Max 0.01%	% W/W
Granulometría		
Malla 4	Pasa 100%	
Malla10	Pasa 90%	
<u>Sabor</u>	Astringente y ligeramente dulce	

2.2.6 ENSAYO DE JARRAS

La prueba de jarras es la técnica más extensamente usada para determinar la dosis de químicos y otros parámetros para la potabilización del agua. En ella se trata de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio. Existe en el mercado una gran variedad de equipos para pruebas de jarras, pero en toda su versatilidad debe radicar en utilizar una serie de jarras al mismo tiempo y la posibilidad de variación de la velocidad de agitación (r.p.m) En este proceso influyen factores químicos e hidráulicos. Entre éstos tenemos:

- ✓ pH
- ✓ Temperatura
- ✓ Concentración de coagulante
- ✓ Secuencia de aplicación de las sustancias químicas
- ✓ Grado de agitación
- ✓ Tiempo de sedimentación

El pH desempeña un papel muy importante en el estudio de los fenómenos de coagulación- floculación, es así como una parte de la carga de las partículas coloidales que han absorbido iones OH^- , queda destruida por un aumento de la concentración de iones H_3O^+ que ocasiona una disminución de la estabilidad de la suspensión coloidal.

Preferiblemente el pH debe quedar dentro de la zona correspondiente al mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante usado.

Para sales de hierro la zona de pH es mucho más amplia, alcanzándose el mínimo de solubilidad a $\text{pH} > 5$.

La temperatura del agua también influye grandemente en la efectividad de la coagulación y en la velocidad de formación del flóculo. Según disminuye la temperatura del agua debe aumentarse la dosis de productos químicos usados para coagular, con el objetivo de lograr o asegurar la formación de flóculos adecuados.

El tiempo de mezclado del coagulante en el agua a tratar será el necesario para que el producto utilizado se difunda con la mayor rapidez posible. El tiempo de coagulación es extraordinariamente breve, menos de un segundo y la utilización óptima del coagulante exige que la neutralización sea total antes de que una parte del coagulante haya comenzado a precipitar.

El ensayo de jarras ha sido ampliamente usado; sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento, así como en la optimización de plantas existentes. El procedimiento requiere como datos previos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda.

La unidad de mezcla típica consiste en una serie de agitadores de paletas acoplados mecánicamente para operar a la misma velocidad, generalmente entre 10 a 300 RPM.

Como jarras de coagulación se recomienda, jarras rectangulares de 1 a 2 litros en acrílico transparente.

2.2.6.1 CONDICIONES DE LA PRUEBA DE JARRAS

Debido a que la prueba de jarras es sólo una simulación del proceso, es necesario mantener las condiciones operacionales que existen en el proceso industrial como son: gradiente hidráulico y tiempo en la mezcla lenta y rápida, punto de aplicación de los reactivos, el orden y el tiempo de dosificación de los mismos.

2.2.6.1.1 MEZCLA RAPIDA

El objetivo de la mezcla rápida es crear la turbulencia o movimiento necesario en el líquido contenido en la jarra para poner en contacto los reactivos químicos con las partículas coloidales del agua, modo de neutralizar sus cargas, desestabilizarlas y hacer que se aglomeren en un corto período de tiempo. El tiempo de aplicación de la mezcla rápida depende de la clase del coagulante.

Por ejemplo, los polímeros se distribuyen más lentamente que los iones metálicos debido a su mayor molécula, por lo tanto

requerirán mayor tiempo o mayor gradiente de velocidad que los coagulantes metálicos hidrolizantes.

2.2.6.1.2 MEZCLA LENTA

Generalmente, el tiempo de mezcla no excede de 15 min. Un tiempo excesivo puede crear calentamiento de la muestra originando una floculación más eficiente, pero a su vez una pobre sedimentación, ya que ocurre la liberación de los gases disueltos en el agua, formando burbujas que se adhieren a los flóculos y los hacen flotar.

2.2.6.1.3 REPOSO

Durante este tiempo los coloides sedimentan por gravedad y se obtiene el agua clarificada.

2.2.6.2 PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYO DE JARRAS

- ✓ Las soluciones químicas deben ser recién preparadas. Mientras algunas soluciones químicas se benefician con el tiempo, la mayoría se deterioran. Los resultados obtenidos con muestras añejas no son representativos.
- ✓ Las muestras para las pruebas deben ser lo más representativa del sistema y en cantidad suficiente para una serie de pruebas completas. En las muestras viejas la turbidez del agua usualmente coagula más fácilmente que en las muestras frescas, debido a la inestabilidad de la suspensión

coloidal; por lo que no se recomienda correr pruebas de jarras con más de dos horas de captadas.

- ✓ La adición de químicos debe realizarse en el mismo orden en que son añadidos en planta o en el caso de la clarificación a nivel domiciliario. A las jarras se añaden normalmente coagulantes, floculantes y/o ajustadores de pH. Algunas plantas usan el cloro para la desinfección, oxidando la materia orgánica y eliminando parte del color.
- ✓ Se debe tener cuidado de no demorar la adición de los químicos si se necesita una adición simultánea de los mismos, ya que se estarían alternando las condiciones de la prueba.

2.2.6.3 CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN

Para evaluar los resultados de una prueba de jarras no se siguen criterios convencionales o patrones universales y casi se trata de un criterio particular del analista, fabricante del equipo, operario de la planta de acuerdo a su larga experiencia, pero bajo la convicción que le da la certeza de trabajar en las mismas condiciones experimentales y bajo los mismos criterios analíticos.

- ✓ No obstante, en la práctica se observan ciertos lineamientos a seguir para evaluar una prueba de jarra, como son:

- ✓ Características de los flóculos: Tamaño, uniformidad, velocidad de aparición, voluminosos, de poco peso, si son densos, livianos y difusos, apenas puntos o micro flóculos
- ✓ Calidad del sobrenadante: La claridad o transparencia, es el criterio más importante en la evaluación de una prueba de jarras, ya que es lo que se persigue en la clarificación del agua. Para ello se mide la turbiedad final del agua.
- ✓ Se debe observar si el sobrenadante es totalmente transparente, semiturbio, turbio, con apreciable cantidad de material suspendido (TSS), decantado, semidecantado, entre otros.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **Agua cruda:** Es aquella agua, en estado natural, captada para abastecimiento que no ha sido sometido a procesos de tratamiento.
- **Agua tratada:** Toda agua sometida a procesos físicos, químicos y/o biológicos para convertirla en un producto inocuo para el consumo humano.
- **Agua de consumo humano:** Agua apta para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal.

- **Camión cisterna:** Vehículo motorizado con tanque cisterna autorizado para transportar agua para consumo humano desde la estación de surtidores hasta el consumidor final.
- **Consumidor:** Persona que hace uso del agua suministrada por el proveedor para su consumo.
- **Cloro residual libre:** Cantidad de cloro presente en el agua en forma de ácido hipocloroso e hipoclorito que debe quedar en el agua de consumo humano para proteger de posible contaminación microbiológica, posterior a la cloración como parte del tratamiento.
- **Fiscalización sanitaria:** Atribución de la Autoridad de Salud para verificar, sancionar y establecer medidas de seguridad cuando el proveedor incumpla las disposiciones del presente Reglamento y las normas sanitarias de calidad del agua que la Autoridad de Salud emita.
- **Gestión de la calidad de agua de consumo humano:** Conjunto de acciones técnico administrativo u operativo que tienen la finalidad de lograr que la calidad del agua para consumo de la población cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en el presente reglamento.

- **Inocuidad:** Que no hace daño a la salud humana.
- **Límite máximo permisible:** Son los valores máximos admisibles de los parámetros representativos de la calidad del agua.
- **Monitoreo:** Seguimiento y verificación de parámetros físicos, químicos, microbiológicos u otros señalados en el presente Reglamento, y de factores de riesgo en los sistemas de abastecimiento del agua.
- **Organización comunal:** Son juntas administradoras de servicios de saneamiento, asociación, comité u otra forma de organización, elegidas voluntariamente por la comunidad constituidas con el propósito de administrar, operar y mantener los servicios de saneamiento.
- **Parámetros microbiológicos:** Son los microorganismos indicadores de contaminación y/o microorganismos patógenos para el ser humano analizados en el agua de consumo humano.
- **Parámetros organolépticos:** Son los parámetros físicos, químicos y/o microbiológicos cuya presencia en el agua para consumo humano pueden ser percibidos por el consumidor a través de su percepción sensorial.

- **Parámetros inorgánicos:** Son los compuestos formados por distintos elementos pero que no poseen enlaces carbono-hidrógeno analizado en el agua de consumo humano.
- **Parámetros de control obligatorio (PCO):** Son los parámetros que todo proveedor de agua debe realizar obligatoriamente al agua para consumo humano.
- **Parámetros adicionales de control obligatorio (PACO):** Parámetros que de exceder los Límites Máximos Permisibles se incorporarán a la lista de parámetros de control obligatorio hasta que el proveedor demuestre que dichos parámetros cumplen con los límites establecidos en un plazo que la Autoridad de Salud de la jurisdicción determine. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
- **Proveedor del servicio de agua para el consumo humano:** Toda persona natural o jurídica bajo cualquier modalidad empresarial, junta administradora, organización vecinal, comunal u otra organización que provea agua para consumo humano. Así como proveedores del servicio en condiciones especiales.

- **Proveedores de servicios en condiciones especiales:** Son aquellos que se brindan a través de camiones cisterna, surtidores, reservorios móviles, conexiones provisionales. Se exceptúa la recolección individual directa de fuentes de agua como lluvia, río, manantial.
- **Sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano:** Conjunto de componentes hidráulicos e instalaciones físicas que son accionadas por procesos operativos, administrativos y equipos necesarios desde la captación hasta el suministro del agua.
- **Sistema de análisis de peligros y de puntos críticos de control:** Sistema que permite identificar, evaluar y controlar peligros que son importantes para la inocuidad del agua para consumo humano.
- **Sistema de tratamiento de agua:** Conjunto de componentes hidráulicos; de unidades de procesos físicos, químicos y biológicos; y de equipos electromecánicos y métodos de control que tiene la finalidad de producir agua apta para el consumo humano.
- **Supervisión:** Acción de evaluación periódica y sistemática para verificar el cumplimiento del presente reglamento y de aquellas normas sanitarias de calidad del agua que emita la Autoridad de Salud, así

como los procesos administrativos y técnicos de competencia del proveedor de agua de consumo humano, a fin de aplicar correctivos administrativos o técnicos que permitan el cumplimiento normativo.

- **Surtidor:** Punto de abastecimiento autorizado de agua para consumo humano que provee a camiones cisterna y otros sistemas de abastecimiento en condiciones especiales.

2.4 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

2.4.1 HIPÓTESIS INTERNA

Con la dosificación óptima de sulfato de aluminio se reducen los parámetros turbiedad y color a la salida de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Yutajhuanca cumpliendo los parámetros establecidos dentro del D.S. N°031 – 2010 S.A.

2.4.2 HIPÓTESIS NULA

Con una dosificación errónea de sulfato de aluminio se podrá tratar la turbiedad de agua proveniente del canal Gashan de manera que este cumpla con los parámetros establecidos dentro

del D.S. N°031 – 2010 S.A., sin alterar el pH ni conductividad en el agua tratada

2.5 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

2.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio Granulado

2.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Tratamiento de Agua Potable

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según al tipo de investigación es de es una investigación correlacional, estio a que tanto la variable independiente y variable dependiente se

correlacionan entre si las mencionadas variables pueden ser modificadas de acuerdo al tratamiento de agua el cual se realizado en la PTAP Yurajhuanca EMAPA PASCO S.A.

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación se determinó que es un diseño experimental, las variables independientes ya han ocurrido y estas pueden ser manipuladas, por el tratamiento de agua el cual se realizará en la PTAP Yurajhuanca EMAPA PASCO S.A.

3.3 POBLACIÓN DE ESTUDIO

3.3.1 LA POBLACIÓN

El área de influencia del proyecto comprende a las zonas urbanas de Chaupimarca y Yanacancha haciendo un total de 54706 habitantes de la ciudad de Cerro de Pasco y un total de 110 l/s de agua tratada proveniente de la Planta de Tratamiento Yurajhuanca.

TABLA N° 03: Población Urbana Chaupimarca

DEPARTAMENTO, PROVINCIA, DISTRITO Y EDADES SIMPLES	TOTAL	URBANA	
		HOMBRES	MUJERES
Distrito CHAUPIMARCA	27,840	13,508	14,332

Fuente: INEI CENSO 2007

TABLA N° 05: Población Urbana de Yanacancha

DEPARTAMENTO, PROVINCIA, DISTRITO Y EIDADES SIMPLES	TOTAL	URBANA	
		HOMBRES	MUJERES
Distrito YANACANCHA	26,866	13,189	13,677

Fuente: INEI CENSO 2007

3.3.2 MUESTRA

3.3.2.1 PUNTOS DE TOMA DE MUESTRA DE AGUA

La muestra de agua se tomó en el canal Gashan en la compuerta de alimentación para la Planta de Tratamiento de Yurajhuanca.

A continuación se presenta el cuadro de ubicación y ubicación del punto de monitoreo.

Tabla N° 05: Ubicación de la Toma de Muestras

Codificación	Coordenadas (UTM) WGS-84		Altitud (m.s.n.m.)	Zona	Ubicación		
	Este (m)	Norte (m)			Región	Provincia	Distrito
EMA-01	355442	8816410	4 193	18L	Pasco	Pasco	Simón Bolívar

Fuente: Elaboración Propia



3.3.2.2 MUESTRAS DE ANÁLISIS

- ✓ Se utilizaron muestras de agua cruda de origen superficial del canal Gashan del Centro Poblado de Yurajhuanca, obtenida desde la planta de tratamiento de EMAPA PASCO S.A. Yurajhuanca. El tipo de muestra analizada fue una muestra simple que se tomó en un lugar determinado dependiendo de la variación en las propiedades físicas del agua.
- ✓ El número de muestras analizadas fueron las alcanzadas a tomar durante un período de 6 meses, donde se dependió del tiempo climático especialmente en días lluviosos ya que en estos días es donde se presentan mayores variaciones de turbidez y color.

- ✓ Las muestras fueron recogidas in situ por el tesista de manera que se puedan tomar muestras confiables para el estudio realizado.

3.3.2.3 PREPARACIÓN PARA LA DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B

- ✓ Para el tratamiento de agua cruda en la planta de EMAPA PASCO S.A. se utiliza como coagulante sulfato de aluminio granulado TIPO B, cuyo proveedor fue la empresa QUIMICOS GOICOCHEA S.A.
- ✓ La solución de sulfato de aluminio granulado tipo B se prepara en un tanque que tiene un volumen de 25 m³.
- ✓ Para la realización de los análisis se procedía a tomar en un beaker con un volumen de 100 mL de la solución del coagulante que se encontraba preparado en el tanque de Sulfatos. Dicha solución era tomada para cada día de análisis.

- ✓ La dosificación de sulfato de aluminio granulado tipo B a utilizar en cada prueba se preparó utilizando la siguiente relación:

$$v_i C_i = v_f C_f$$

Donde:

v_i Sulfato de aluminio a dosificar

c_i Concentración de la solución sulfato de aluminio inicial

v_f Volumen de agua cruda a analizar

c_f Concentración deseada de sulfato de aluminio

3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para la presente investigación se:

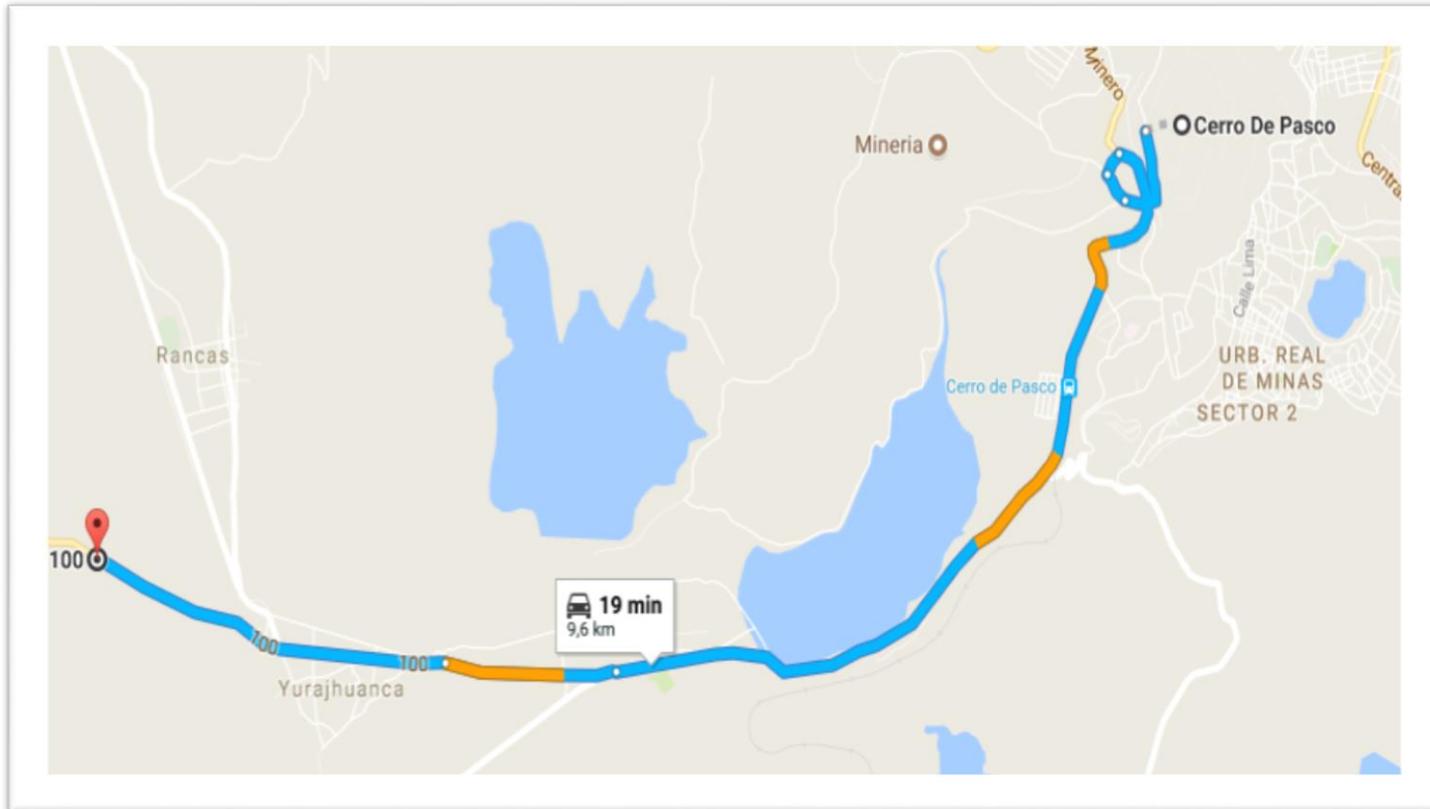
- Evaluó el Proceso de tratamiento
- Pruebas de dosificación de sulfato de aluminio
- Análisis de calidad de agua

3.5 UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO:

3.5.1 UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.

La planta de tratamiento de agua potable se ubica en el distrito e Simón Bolívar a las afueras del Centro Poblado de Yurajhuanca en la Provincia y Departamento de Pasco.

Mapa N° 01: Ruta a la PTAP EMAPA PASCO S.A.



Fuente: GOOGLE MAPS

Mapa N° 02: Imagen Satelital de la PTAP EMAPA PASCO S.A.



Fuente GOOGLE EARTH PRO

Imágenes N° 03: PTAP EMAPA PASCO S.A.





3.6 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO, INFRAESTRUCTURA, MÉTODO DE ANALISIS

3.6.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA EMAPA PASCO S.A, YURAJHUANCA

Consiste en una planta de filtración rápida tipo CEPIS construida en el año 2004. Está compuesta por las siguientes unidades, comprende un área de aproximada de una hectárea, y fue diseñada para una capacidad de tratamiento en el rango de (100lps + 5%)lps y está constituida por las siguientes unidades:

3.6.1.1 SISTEMA DE MEZCLA RÁPIDA

Este sistema permite la dosificación de coagulantes, son tuberías (02) de PVC de 1.00m de largo que se ubica en el canal de ingreso a la planta, en la parte baja de la tubería tiene una fila de huecos de ¼” para la salida de los reactivos químicos. El punto de dosificación de la mezcla rápida no cae en el punto de turbulencia del agua de ingreso lo que generará problemas en la formación de floc; por otro lado la tubería dosificadora de coagulantes de PVC, requiere proteger la tubería para evitar la vitrificación del policloruro de vinilo.

3.6.1.2 UNIDAD DE FLOCULACIÓN

Esta unidad de floculación conformada de (03) unidades, permite la decantación de los sólidos en suspensión por acción de los

coagulantes. Las unidades de floculación están trabajando como sedimentador debido a que no se inyecta coagulante. Luego de coagulada el agua, las partículas no presentan cargas en su superficie y no existen impedimentos para que se unan entre sí.

Para lograr esto, el agua se debe agitar lentamente, de modo que las partículas coaguladas, al chocar, se vayan uniendo para dar lugar a otras de mayor tamaño llamadas FLÓCS. Este proceso debe hacerse bajo condiciones muy bien controladas, pues una agitación muy violenta en ésta etapa puede producir rotura de flóculos ya formados, en cambio una agitación muy lenta puede formar flóculos esponjosos y débiles y difíciles de sedimentar.

Imágenes N° 04: Unidad de floculación de la Planta de Tratamiento



3.6.1.3 UNIDAD DE DECANTACIÓN

Esta unidad de decantación de placas paralelas está conformada de (03) unidades, permite la decantación de los floculos formados en la unidad de floculación. Hasta diciembre del año 2013 pero a la actualidad la presente gestión al año 2015 este problema se encuentra subsanado debido a que se realizó los cambios respectivos de los paneles y el Estado actual está OPERATIVO.

Imágenes N° 05: Unidad de decantación de la Planta de Tratamiento



3.6.1.4 UNIDAD FILTRACIÓN

Es la etapa final del proceso de clarificación del agua y la que debe dar las garantías de que el agua cumpla con las Normas de calidad de turbiedad y color.

Esta unidad de filtración (03), es la última unidad de tratamiento antes de la desinfección que permite, la remoción de la turbidez total del agua tratada. Es la única unidad de tratamiento que está operativa, cada unidad trabaja de manera constante realizando retrolavados por lo menos (02) dos veces por día debido a las altas concentraciones de sólidos que se acumulan en el lecho filtrante, los sólidos presentes más concentrados son limos, arcillas. En cada limpieza la unidad evacua grandes cantidades de agua al sistema de desagüe.

En esta unidad el nivel agua que recorre el canal de derivación de la unidad de filtración se eleva hasta alcanzar el nivel de rebose esto genera pérdida de agua cada vez que se realiza lavado de filtros. Estado actual OPERATIVO.

3.6.1.5 UNIDAD DE DESINFECCIÓN

La DESINFECCIÓN tiene por finalidad destruir los microorganismos patógenos presentes en el agua: bacterias (Salmonelas, Shigellas, Vibrio Cholerae, E. Coli), protozoarios y virus. Es necesaria porque no es posible asegurar la remoción total de los microorganismos por los procesos fisicoquímicos y biológicos usualmente utilizados en el tratamiento de agua.

Esta unidad de desinfección, permite dosificar la concentración de cloro en el cuerpo de agua tratada para eliminar los microorganismos patógenos. En conclusión, tiene por objetivo garantizar la potabilidad del agua desde el punto de vista microbiológico. La planta cuenta con la sala de desinfección. Hasta diciembre del 2009 esta unidad se encontraba inoperativa a consecuencia de la sustracción de las electrobombas que se contaba en dicha unidad, en la actualidad la presente gestión ha modificado la infraestructura anterior y adquirió las electrobombas se encuentra totalmente OPERATIVO.

Además de las unidades de tratamiento, se cuenta con edificaciones auxiliares que complementan el tratamiento.

- ✓ Sala de dosificación
- ✓ Almacén
- ✓ Sala de cloración
- ✓ Laboratorio
- ✓ Servicios Higiénicos
- ✓ Caseta de Vigilancia

Actualmente, la Planta de Tratamiento produce 110 lps. EMAPA PASCO cuenta con equipos básicos para realizar los trabajos de control de calidad en la planta pero los viene utilizando en forma

restringida por falta de recursos en su implementación y la compra de reactivos químicos requeridos.

Tabla Nº 06: Características de la planta de tratamiento PASCO

Planta de tratamiento	Ubicación	Caudal (L/s)	Antigüedad (años)	Estado Fisico
PTAP EMAPA PASCO	355776 E 8816848 S	110	12	Regular

3.6.2 MÉTODO DE ANÁLISIS

Los ensayos realizados se hicieron por duplicado, primero eligiendo rangos más amplios en la dosificación de coagulante sulfato de aluminio granulado TIPO B y de acuerdo a los resultados obtenidos, se emplearon rangos más pequeños para determinar la dosis óptima de coagulante.

3.6.2.1 TEST DE JARRAS

Este test se realiza en un equipo denominado Test de Jarras, que consiste en un montaje de cuatro vasos de precipitado con sus

respectivos sistemas de agitación de velocidad regulable. Este aparato contiene cuatro agitadores para homogenizar lo más posible el contenido de los cuatro vasos de precipitados en los que se varían las condiciones de operación analizándose luego los resultados en cada caso, para concluir cuales son los parámetros óptimos de depuración.

El procedimiento consistió en tomar una muestra aproximadamente de un volumen de 20 L de agua del tanque de pre cal y determinar inicialmente los parámetros como color, turbidez y pH a una muestra de agua homogenizada

Se colocaban porciones de un litro de muestra en cada uno de los vasos de precipitados del equipo de jarras.

El equipo se programaba para su funcionamiento de la siguiente manera, se mantenía la agitación de las aspas a 300 rpm durante un minuto, (mezcla rápida o coagulación), luego se disminuía la velocidad de agitación a 45 rpm y se mantenía durante 5 min, después se bajaba a 35 rpm durante 5 min, después a 25 rpm durante 5 min y para finalizar a 15 rpm por 5 min.

Para la dosificación del agua con el coagulante (sulfato de aluminio granulado TIPO B) se procedía a tomar los volúmenes ya establecidos anteriormente utilizando pipetas de acuerdo a estos volúmenes y se hacía en proporción creciente simultáneamente a todos los vasos. Por ejemplo 10 mg/L, 20 mg/L, 30 mg/L, etc. Inmediatamente después de dosificar el agua se le daba inicio al equipo.

Transcurridos los minutos de agitación en el equipo, se procedía a dejar sedimentar las partículas floculadas durante un tiempo de 10 min, en los cuales se podía observar la apariencia y consistencia del floc y su velocidad de decantación.

Pasados los 10 min de sedimentación, se tomaban muestras de 100 mL aproximadamente de cada vaso y después se hacían las mediciones correspondientes para cada parámetro evaluado (turbiedad, pH).

Finalmente, se determinaba la dosis óptima de coagulante sulfato de aluminio granulado TIPO B seleccionando aquella dosis en donde los valores de la turbidez fueran más bajos y se encontraran dentro del rango permisible según D.S. N° 031 – 2010 S.A. (Reglamento de calidad de agua para consumo humano).

Tabla N° 07: Número de ensayos realizados durante los meses de estudio

Mes	Número de Ensayos Realizados
Enero	4
Febrero	4
Marzo	4
Abril	4
Mayo	4
Junio	4

3.7 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.7.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con los resultados experimentales obtenidos se procedió a construir tablas que relacionan los parámetros de turbidez, color y pH con las dosis de coagulante aplicadas, ordenadas por los meses en que se realizaron los ensayos.

Posteriormente se construyeron las tablas y gráficas respectivas donde se relacionan las dosis óptimas de coagulante y la turbiedad del agua cruda.

Se hallaron los porcentajes de remoción de turbiedad y color después del tratamiento con Sulfato de Aluminio tipo B.

Por último, se tabularon los resultados obtenidos de una forma que se relacionaran las condiciones iniciales y finales del agua (turbiedad-color-pH) con las dosis óptimas de coagulante encontradas.

CAPITULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 TRATAMIENTO ESTADISTICO E INTERPRETACIÓN DE CUADROS

A continuación, se encuentran los datos experimentales de los parámetros fisicoquímicos del agua cruda evaluados y sus respectivos resultados después del tratamiento con sulfato de aluminio mediante el ensayo de jarras, organizados por meses en los que se realizaron.

4.1.1 ENSAYOS REALIZADOS EN EL MES DE ENERO

Según el reporte de SENAMHI a mediados de octubre inicia la temporada de lluvias del año y a mediados de abril comienza la temporada seca, donde se reducen las lluvias, igualmente en el centro y norte de la región Andina a partir de la tercera semana de forma lenta.

En el mes de enero se analizaron cuatro muestras que fueron recogidas por el tesista en los días en que se presentaron variaciones representativas de los parámetros estudiados debido a las precipitaciones.

Tabla N° 08: Resultados de parámetros fisicoquímicos iniciales del agua cruda en el mes de enero.

N° DE ENSAYO	FECHA	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (UCV)	Ph
1	2/01/2017	10	20	8.2
2	3/01/2017	10.5	22	8
3	4/01/2017	11	18	8.3
4	5/01/2017	10.7	21	8

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 09: Resultados de la turbiedad final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de enero.

N° DE ENSAYO	TURBIEDAD INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				TURBIEDAD FINAL (NTU)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
1	10	10	15	20	25	8.3	5.5	4.2	3.3	25.0
2	10.5	12	17	22	27	8.8	6.2	4.8	3.9	27.0
3	11	19	24	29	34	8.8	7.0	5.8	4.9	34.0
4	10.7	15	20	25	30	9.0	6.8	5.4	4.5	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 10: Resultados del color final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de enero.

N° DE ENSAYO	COLOR INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				COLOR FINAL (UCV)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
1	20	10	15	20	25	19.8	13.2	9.9	7.9	25.0
2	22	12	17	22	27	21.8	15.4	11.9	9.7	27.0
3	18	19	24	29	34	17.8	14.1	11.7	9.9	34.0
4	21	15	20	25	30	20.8	15.6	12.5	10.4	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 11: Resultados del pH final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de enero.

N° DE ENSAYO	pH INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				pH FINAL (NTU)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
1	8.5	10	15	20	25	8.3	7.3	7.3	7.6	25.0
2	8	12	17	22	27	7.8	7.3	7.4	7.9	27.0
3	8.3	19	24	29	34	8.1	8.2	8.6	9.1	34.0
4	8	15	20	25	30	7.8	7.7	7.9	8.4	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación

Se pudo observar que en el ensayo 1 y 2 se logró obtener unos buenos resultados después del tratamiento con el sulfato de aluminio granulado tipo B, donde los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro del rango que exige el decreto supremo N° 031 -2010- (Reglamento de Calidad de Agua Para Consumo Humano) que la hace apta para el consumo humano.

En el ensayo 3 y 4 no se obtuvieron buenos resultados, ya que no se logró determinar la dosis óptima del coagulante y por lo tanto los parámetros de pH y turbiedad se encuentran fuera del rango permisible.

4.1.2 ENSAYOS REALIZADOS EN EL MES DE FEBRERO

Según el reporte de SENAMHI en este mes está contemplado en la época de avenidas donde las lluvias se incrementan en mayor medida a comparación de las demás épocas del año, en la zona de Cerro de Pasco.

En el mes de febrero se analizaron cuatro muestras que fueron recogidas por el tesista en los días en que se presentaron variaciones representativas de los parámetros estudiados debido a las precipitaciones.

Tabla N° 12: Resultados de parámetros fisicoquímicos iniciales del agua cruda en el mes de febrero.

N° DE ENSAYO	FECHA	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (UCV)	Ph
5	1/02/2017	9.8	18	8.4
6	2/02/2017	11.1	21	7.9
7	3/02/2017	10.3	23	7.3
8	4/02/2017	11	20	8.1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 13: Resultados de la turbiedad final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de febrero.

N° DE ENSAYO	TURBIEDAD INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				TURBIEDAD FINAL (NTU)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
5	9.8	10	15	20	25	8.1	5.4	4.1	3.2	25.0
6	11.1	12	17	22	27	9.4	6.6	5.1	4.2	27.0
7	10.3	19	24	29	34	8.6	6.8	5.6	4.8	34.0
8	11	15	20	25	30	9.3	7.0	5.6	4.7	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 14: Resultados del color final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de febrero.

N° DE ENSAYO	COLOR INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				COLOR FINAL (UCV)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
5	18	10	15	20	25	17.8	11.9	8.9	7.1	25.0
6	21	12	17	22	27	20.8	14.7	11.3	9.2	27.0
7	23	19	24	29	34	22.8	18.1	14.9	12.7	34.0
8	20	15	20	25	30	19.8	14.9	11.9	9.9	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 15: Resultados del pH final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de febrero.

N° DE ENSAYO	pH INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				pH FINAL (NTU)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
5	8.4	10	15	20	25	8.2	7.3	7.3	7.6	25.0
6	7.9	12	17	22	27	7.7	7.2	7.4	7.8	27.0
7	7.3	19	24	29	34	7.1	7.4	7.9	8.6	34.0
8	8.1	15	20	25	30	7.9	7.7	8.0	8.5	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación

Se pudo observar que en los ensayos 5, 6 y 8 se logró obtener unos buenos resultados después del tratamiento con el sulfato de aluminio granulado tipo B, a excepción del ensayo número 7 en donde el pH sobrepasó los límites máximos establecidos en el reglamento de calidad

de agua para consumo humano esto a causa de que el agua presente en el canal Gashan presenta un dureza considerable , donde los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro del rango que exige el decreto supremo N° 031 -2010- (Reglamento de Calidad de Agua Para Consumo Humano) que la hace apta para el consumo humano.

4.1.3 ENSAYOS REALIZADOS EN EL MES DE MARZO

Según el reporte de SENAMHI en este mes está contemplado en la época de avenidas donde las lluvias se incrementan en mayor medida a comparación de las demás épocas del año, en la zona de Cerro de Pasco.

En el mes de marzo se analizaron cuatro muestras que fueron recogidas por el tesista en los días en que se presentaron variaciones representativas de los parámetros estudiados debido a las precipitaciones.

Tabla N° 16: Resultados de parámetros fisicoquímicos iniciales del agua cruda en el mes de marzo.

N° DE ENSAYO	FECHA	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (UCV)	Ph
9	1/03/2017	11.2	21	7.9
10	2/03/2017	10.2	19	8.2
11	3/03/2017	10.5	20	7.8
12	4/03/2017	10.2	22	7.6

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 17: Resultados de la turbiedad final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de marzo.

N° DE ENSAYO	TURBIEDAD INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				TURBIEDAD FINAL (NTU)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
9	11.2	10	15	20	25	9.5	6.3	4.8	3.8	25.0
10	10.2	12	17	22	27	8.5	6.0	4.6	3.8	27.0
11	10.5	19	24	29	34	8.8	7.0	5.8	4.9	34.0
12	10.2	15	20	25	30	8.5	6.4	5.1	4.3	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 18: Resultados del color final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de marzo.

N° DE ENSAYO	COLOR INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				COLOR FINAL (UCV)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
9	21	10	15	20	25	20.8	13.9	10.4	8.3	25.0
10	19	12	17	22	27	18.8	13.3	10.3	8.4	27.0
11	20	19	24	29	34	19.8	15.7	13.0	11.1	34.0
12	22	15	20	25	30	21.8	16.4	13.1	10.9	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 19: Resultados del pH final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de marzo.

N° DE ENSAYO	pH INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				pH FINAL (NTU)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
9	7.9	10	15	20	25	7.7	6.9	7.0	7.4	25.0
10	8.2	12	17	22	27	8.0	7.4	7.6	8.0	27.0
11	7.8	19	24	29	34	7.6	7.8	8.3	8.9	34.0
12	7.6	15	20	25	30	7.4	7.4	7.7	8.2	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación

Se pudo observar que en los ensayos 9,10 y 12 se logró obtener unos buenos resultados después del tratamiento con el sulfato de aluminio granulado tipo B, donde los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro del rango que exige el decreto supremo N° 031 -2010- (Reglamento de Calidad de Agua Para Consumo Humano) que la hace apta para el consumo humano.

4.1.4 ENSAYOS REALIZADOS EN EL MES DE ABRIL

Según el reporte de SENAMHI en este mes está contemplado en la época de avenidas donde las lluvias se incrementan en mayor medida a comparación de las demás épocas del año, en la zona de Cerro de Pasco.

En el mes de abril se analizaron cuatro muestras que fueron recogidas por el tesista en los días en que se presentaron

variaciones representativas de los parámetros estudiados debido a las precipitaciones.

Tabla N° 20: Resultados de parámetros fisicoquímicos iniciales del agua cruda en el mes de abril.

N° DE ENSAYO	FECHA	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (UCV)	Ph
13	1/02/2017	10.8	19	8.1
14	2/02/2017	9.9	20	7.9
15	3/02/2017	10.2	21	7.6
16	4/02/2017	10.8	19	8.3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 21: Resultados de la turbiedad final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de abril.

N° DE ENSAYO	TURBIEDAD INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				TURBIEDAD FINAL (NTU)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
13	10.8	10	15	20	25	9.1	6.1	4.6	3.6	25.0
14	9.9	12	17	22	27	8.2	5.8	4.5	3.6	27.0
15	10.2	19	24	29	34	8.5	6.7	5.6	4.8	34.0
16	10.8	15	20	25	30	9.1	6.8	5.5	4.6	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 22: Resultados del color final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de abril.

N° DE ENSAYO	COLOR INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				COLOR FINAL (UCV)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
13	19	10	15	20	25	18.8	12.5	9.4	7.5	25.0
14	20	12	17	22	27	19.8	14.0	10.8	8.8	27.0
15	21	19	24	29	34	20.8	16.5	13.6	11.6	34.0
16	19	15	20	25	30	18.8	14.1	11.3	9.4	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 23: Resultados del pH final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de abril.

N° DE ENSAYO	pH INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				pH FINAL (NTU)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
13	8.1	10	15	20	25	7.9	7.2	6.6	6.5	25.0
14	7.9	12	17	22	27	7.7	7.3	6.9	6.8	27.0
15	7.6	19	24	29	34	7.4	7.8	7.6	7.7	34.0
16	8.3	15	20	25	30	8.1	8.0	7.6	7.5	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación

Se pudo observar que en todos los ensayos se logró obtener unos buenos resultados después del tratamiento con el sulfato de aluminio granulado tipo B, donde los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro del rango que exige el decreto supremo N° 031 -2010- (Reglamento de Calidad de Agua Para Consumo Humano) que la hace apta para el consumo humano.

4.1.5 ENSAYOS REALIZADOS EN EL MES DE MAYO

Según el reporte el SENAMHI en este mes las lluvias cesan a comparación que los demás meses que contemplan el inicio de la época de estiaje, en la zona de Cerro de Pasco.

En el mes de mayo se analizaron cuatro muestras que fueron recogidas por el tesista de la planta en los días en que se presentaron variaciones representativas de los parámetros estudiados debido a las precipitaciones.

Tabla N° 24: Resultados de parámetros fisicoquímicos iniciales del agua cruda en el mes de mayo.

N° DE ENSAYO	FECHA	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (UCV)	Ph
17	1/02/2017	6	4	8
18	2/02/2017	6.2	3	8.3
19	3/02/2017	5	4.5	8.1
20	4/02/2017	5.5	4	7.9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 25: Resultados de la turbiedad final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de mayo.

N° DE ENSAYO	TURBIEDAD INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				TURBIEDAD FINAL (NTU)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
17	6	10	15	20	25	4.3	2.9	2.2	1.7	25.0
18	6.2	12	17	22	27	4.5	3.2	2.5	2.0	27.0
19	5	19	24	29	34	3.3	2.6	2.2	1.8	34.0
20	5.5	15	20	25	30	3.8	2.9	2.3	1.9	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 26: Resultados del color final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de mayo.

N° DE ENSAYO	COLOR INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				COLOR FINAL (UCV)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
17	4	10	15	20	25	3.8	2.5	1.9	1.5	25.0
18	3	12	17	22	27	2.8	2.0	1.5	1.2	27.0
19	4.5	19	24	29	34	4.3	3.4	2.8	2.4	34.0
20	4	15	20	25	30	3.8	2.9	2.3	1.9	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 27: Resultados del pH final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de mayo.

N° DE ENSAYO	pH INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				pH FINAL (NTU)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
17	8	10	15	20	25	7.8	7.3	7.6	8.2	25.0
18	8.3	12	17	22	27	8.1	7.8	8.1	8.7	27.0
19	7	8.1	19	24	29	6.8	5.0	6.1	7.1	30.3
20	8	7.9	15	20	25	7.8	6.2	6.8	7.5	24.1

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación

Se pudo observar que en los ensayos 17, 19 y 02 se logró obtener unos buenos resultados después del tratamiento con el sulfato de aluminio granulado tipo B, donde los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro del rango que exige el decreto supremo N° 031 -2010- (Reglamento de Calidad de Agua Para Consumo Humano) que la hace apta para el consumo humano.

4.1.6 ENSAYOS REALIZADOS EN EL MES DE JUNIO

Según el reporte el SENAMHI en este mes las lluvias no son intensas siendo este un mes seco a comparación que los demás meses en épocas de avenidas, en la zona de Cerro de Pasco.

En el mes de junio se analizaron cuatro muestras que fueron recogidas por el tesista en los días en que se presentaron

variaciones representativas de los parámetros estudiados debido a las precipitaciones.

Tabla N° 28: Resultados de parámetros fisicoquímicos iniciales del agua cruda en el mes de junio.

N° DE ENSAYO	FECHA	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (UCV)	Ph
21	1/02/2017	5.1	3	8.1
22	2/02/2017	6.2	4.5	7.9
23	3/02/2017	4	3.8	7.6
24	4/02/2017	4.3	5	8.3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 29: Resultados de la turbiedad final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de junio.

N° DE ENSAYO	TURBIEDAD INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				TURBIEDAD FINAL (NTU)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
21	5.1	10	15	20	25	3.4	2.3	1.7	1.4	25.0
22	6.2	12	17	22	27	4.5	3.2	2.5	2.0	27.0
23	4	19	24	29	34	2.3	1.8	1.5	1.3	34.0
24	4.3	15	20	25	30	2.6	2.0	1.6	1.3	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 30: Resultados del color final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de junio.

N° DE ENSAYO	COLOR INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				COLOR FINAL (UCV)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
21	3	10	15	20	25	2.8	1.9	1.4	1.1	25.0
22	4.5	12	17	22	27	4.3	3.0	2.3	1.9	27.0
23	3.8	19	24	29	34	3.6	2.9	2.4	2.0	34.0
24	5	15	20	25	30	4.8	3.6	2.9	2.4	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 31: Resultados del pH final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de julio.

N° DE ENSAYO	pH INICIAL	DOSIFICACIÓN $Al_2(SO_4)_3$ mg/L				pH FINAL (NTU)				DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
		1	2	3	4	1	2	3	4	
21	8.1	10	15	20	25	8.0	8.5	6.7	6.8	25.0
22	7.9	12	17	22	27	7.8	8.7	6.7	7.1	27.0
23	7.6	19	24	29	34	7.5	9.1	7.6	7.5	34.0
24	8.3	15	20	25	30	8.2	9.4	7.5	7.8	30.0

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación

Se pudo observar que en los ensayos 22, 23 y 24 se logró obtener unos buenos resultados después del tratamiento con el sulfato de aluminio granulado tipo B, donde los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro del rango que exige el decreto supremo N° 031 -2010- (Reglamento de Calidad de Agua Para Consumo Humano) que la hace apta para el consumo humano.

4.2 PRESENTACIÓN DE TABLAS Y GRÁFICOS

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos de las turbiedades iniciales del agua cruda organizadas por meses y las dosis óptimas halladas después del tratamiento con el ensayo de jarras, además de sus respectivas graficas turbiedad Vs dosis óptimas de sulfato de aluminio. Con el fin de analizar los datos obtenidos de una manera más clara.

4.2.1 TURBIEDAD VS DOSIS ÓPTIMA MES DE ENERO

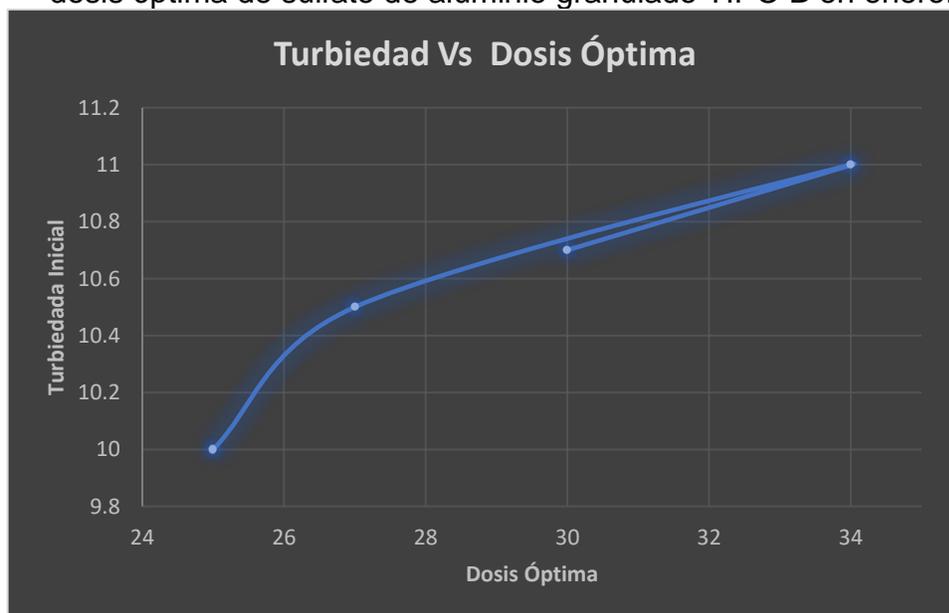
A continuación, se muestra la tabla y la gráfica correspondiente a los ensayos comprendidos en el mes de enero, dentro del cual se encuentran 4 ensayos.

Tabla N° 32: Resultados de la turbiedad inicial y sus dosis óptimas en enero

N° DE ENSAYO	FECHA	TURBIEDAD (NTU)	DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
1	2/01/2017	10	25
2	3/01/2017	10.5	27
3	4/01/2017	11	34
4	5/01/2017	10.7	30

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 01: Comportamiento de la turbiedad inicial frente a la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado TIPO B en enero.



Fuente: Elaboración Propia

4.2.2 TURBIEDAD VS DOSIS ÓPTIMA MES DE FEBRERO

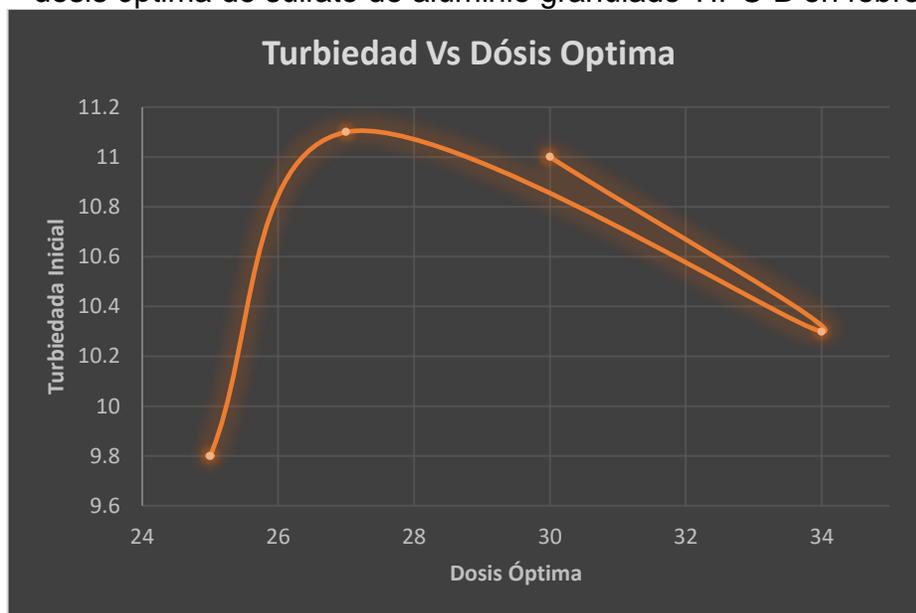
A continuación, se muestra la tabla y la gráfica correspondiente a los ensayos comprendidos en el mes de febrero, dentro del cual se encuentran 4 ensayos.

Tabla N° 33: Resultados de la turbiedad inicial y sus dosis óptimas en febrero

N° DE ENSAYO	FECHA	TURBIEDAD (NTU)	DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
1	1/02/2017	9.8	25
2	2/02/2017	11.1	27
3	3/02/2017	10.3	34
4	4/02/2017	11	30

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 02: Comportamiento de la turbiedad inicial frente a la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado TIPO B en febrero.



Fuente: Elaboración Propia

4.2.3 TURBIEDAD VS DOSIS ÓPTIMA MES DE MARZO

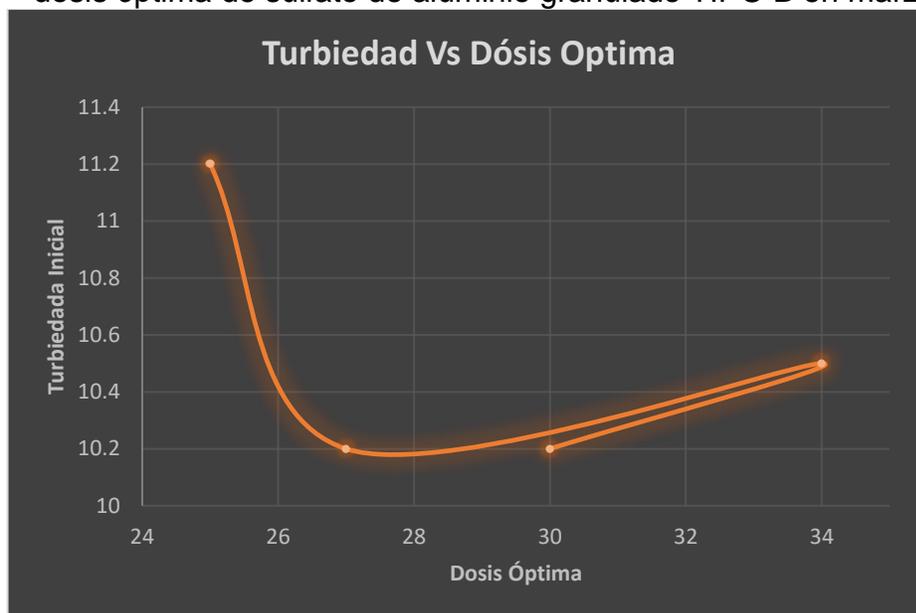
A continuación, se muestra la tabla y la gráfica correspondiente a los ensayos comprendidos en el mes de marzo, dentro del cual se encuentran 4 ensayos.

Tabla N° 34: Resultados de la turbiedad inicial y sus dosis óptimas en marzo

N° DE ENSAYO	FECHA	TURBIEDAD (NTU)	DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
1	1/03/2017	11.2	25
2	2/03/2017	10.2	27
3	3/03/2017	10.5	34
4	4/03/2017	10.2	30

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 03: Comportamiento de la turbiedad inicial frente a la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado TIPO B en marzo.



Fuente: Elaboración Propia

4.2.4 TURBIEDAD VS DOSIS ÓPTIMA MES DE ABRIL

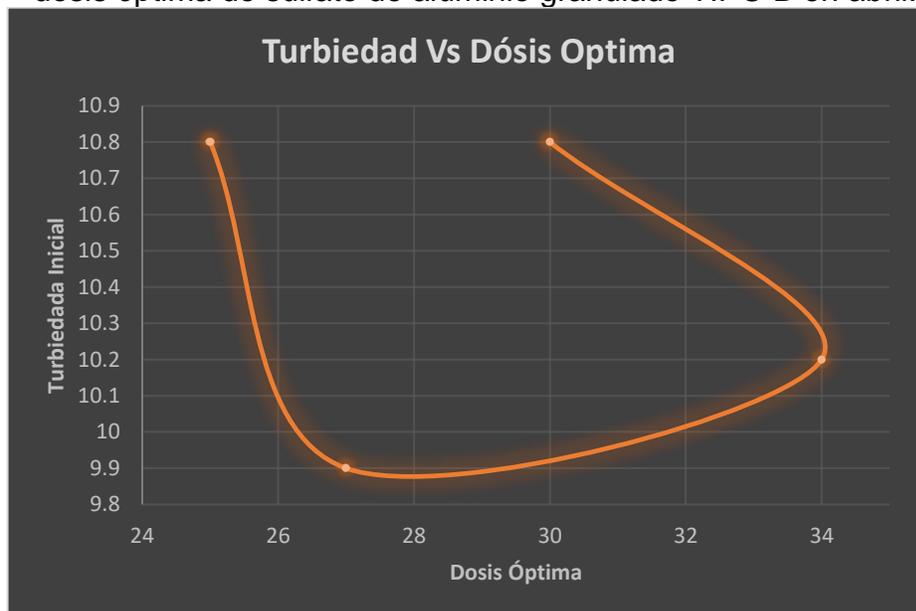
A continuación, se muestra la tabla y la gráfica correspondiente a los ensayos comprendidos en el mes de abril, dentro del cual se encuentran 4 ensayos.

Tabla N° 35: Resultados de la turbiedad inicial y sus dosis óptimas en abril

N° DE ENSAYO	FECHA	TURBIEDAD (NTU)	DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
1	1/03/2017	10.8	25
2	2/03/2017	9.9	27
3	3/03/2017	10.2	34
4	4/03/2017	10.8	30

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 04: Comportamiento de la turbiedad inicial frente a la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado TIPO B en abril.



Fuente: Elaboración Propia

4.2.5 Turbiedad Vs Dosis Óptima mes de mayo

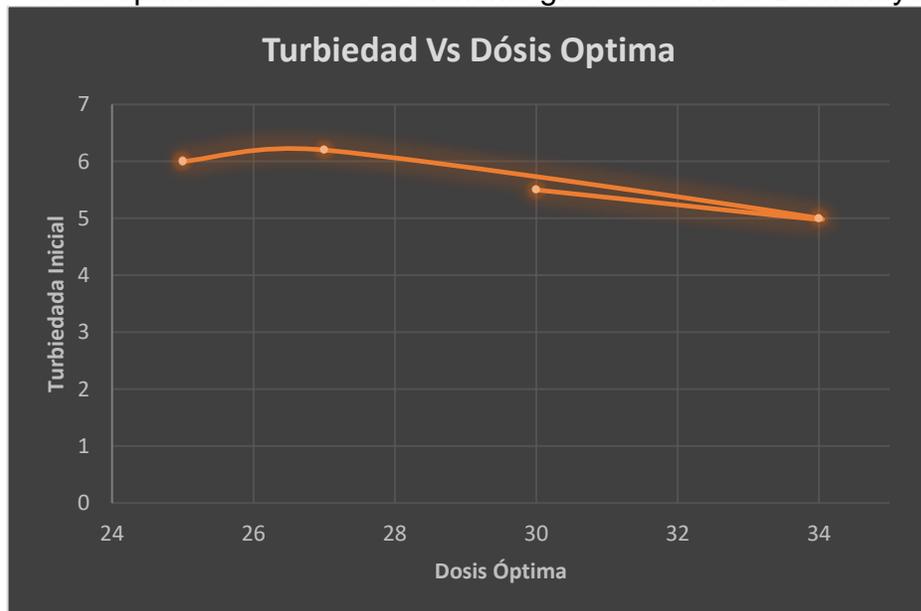
A continuación, se muestra la tabla y la gráfica correspondiente a los ensayos comprendidos en el mes de mayo, dentro del cual se encuentran 4 ensayos.

Tabla N° 36: Resultados de la turbiedad inicial y sus dosis óptimas en mayo

N° DE ENSAYO	FECHA	TURBIEDAD (NTU)	DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
1	1/03/2017	6	25
2	2/03/2017	6.2	27
3	3/03/2017	5	34
4	4/03/2017	5.5	30

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 05: Comportamiento de la turbiedad inicial frente a la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado TIPO B en mayo.



Fuente: Elaboración Propia

4.2.6 Turbiedad Vs Dosis Óptima mes de junio

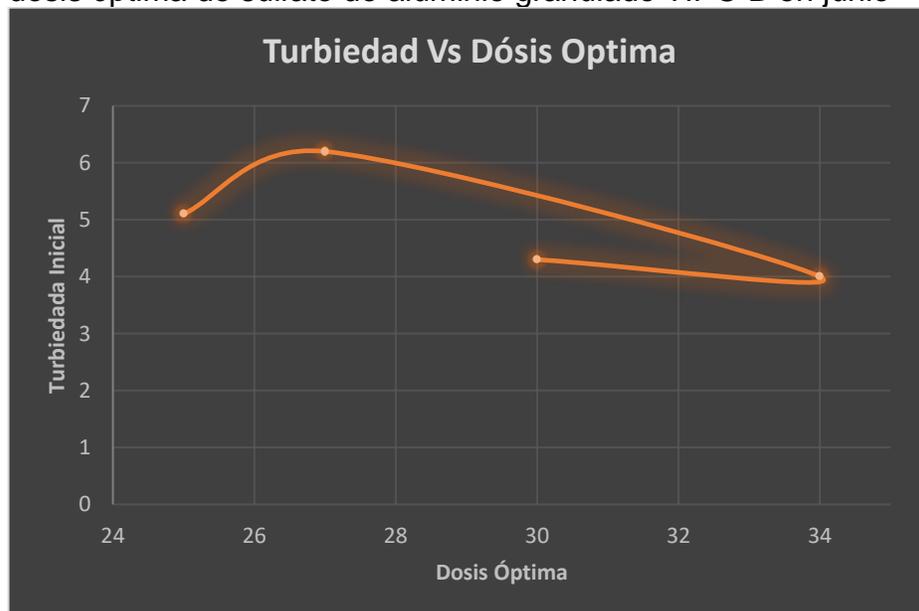
A continuación, se muestra la tabla y la gráfica correspondiente a los ensayos comprendidos en el mes de mayo, dentro del cual se encuentran 4 ensayos.

Tabla N° 37: Resultados de la turbiedad inicial y sus dosis óptimas en junio

N° DE ENSAYO	FECHA	TURBIEDAD (NTU)	DOSIS OPTIMA $Al_2(SO_4)_3$ mg/L
1	1/03/2017	6	25
2	2/03/2017	6.2	27
3	3/03/2017	5	34
4	4/03/2017	5.5	30

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 06: Comportamiento de la turbiedad inicial frente a la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado TIPO B en junio



Fuente: Elaboración Propia

4.3 PRUEBAS DE HIPÓTESIS

4.3.1. RELACIÓN ENTRE, DOSIS ÓPTIMAS DE SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B Y CONDICIONES FINALES

En las siguientes tablas se encuentran organizados todos los ensayos realizados con sus respectivas propiedades fisicoquímicas analizadas iniciales, finales y las dosis óptimas encontradas.

Tabla N° 38: Condiciones iniciales y finales de los parámetros analizados con sus respectivas dosis óptimas.

N° del Ensayo	TURBIEDAD INICIAL (NTU)	TURBIEDAD FINAL (NTU)	COLOR INICIAL (UCV)	COLOR FINAL (UCV)	pH inicial	pH final	DOSIS ÓPTIMA $Al_2(S$ mg/L
1	10	3.3	20	7.92	8.5	7.6	25
2	10.5	3.9	22	9.69	8	7.9	27
3	11	4.9	18	9.95	8.3	9.1	34
4	10.7	4.5	21	10.40	8	8.4	30
5	9.8	3.2	18	7.12	8.4	7.6	25
6	11.1	4.2	21	9.24	7.9	7.8	27
7	10.3	4.8	23	12.74	7.3	8.6	34
8	11	4.7	20	9.90	8.1	8.5	30
9	11.2	3.8	21	8.32	7.9	7.4	25
10	10.2	3.8	19	8.36	8.2	8.0	27
11	10.5	4.9	20	11.06	7.8	8.9	34
12	10.2	4.3	22	10.90	7.6	8.2	30
13	10.8	3.6	19	7.52	8.1	7.5	25
14	9.9	3.6	20	8.80	7.9	8.8	27
15	10.2	4.8	21	11.62	7.6	11.6	34
16	10.8	4.6	19	9.40	8.3	9.4	30

17	6	1.7	4	1.52	8	8.2	25
18	6.2	2.0	3	1.24	8.3	8.7	27
19	5	1.8	4.5	2.40	8.1	7.1	34
20	5.5	1.9	4	1.90	7.9	7.5	30
21	5.1	1.4	3	1.36	8.1	6.8	25
22	6.2	2.0	4.5	2.00	7.9	7.1	27
23	4	1.3	3.8	1.29	7.6	7.5	34
24	4.3	1.3	5	1.30	8.3	7.8	30

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 07: Relación de la dosis óptima de coagulante y la turbiedad inicial.

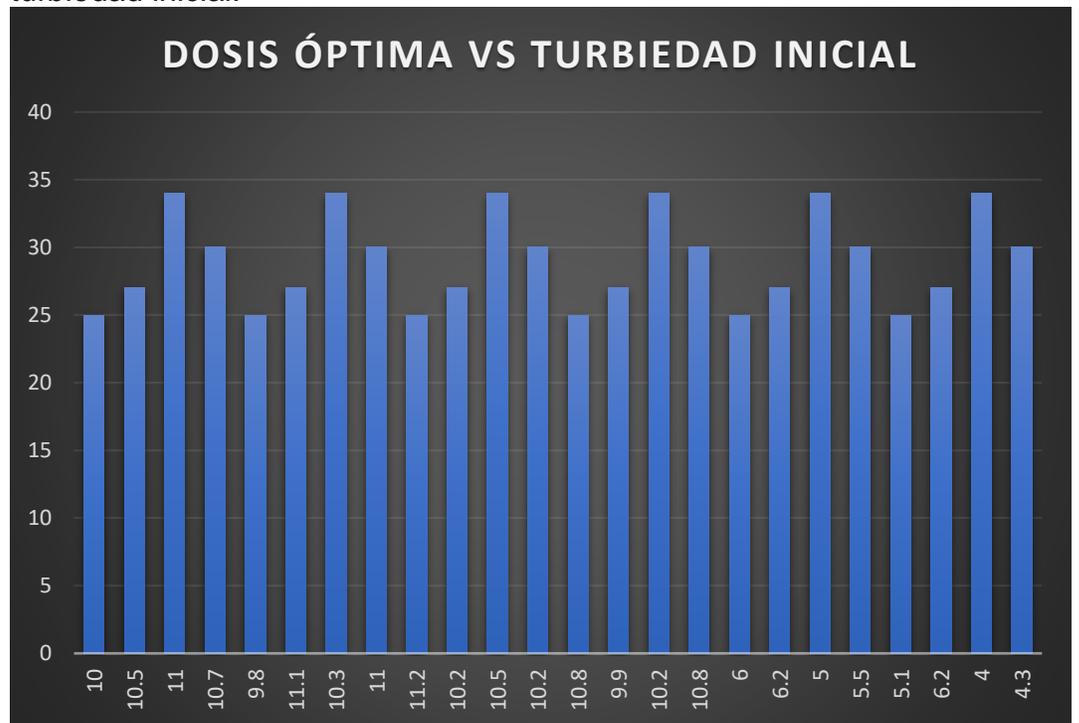
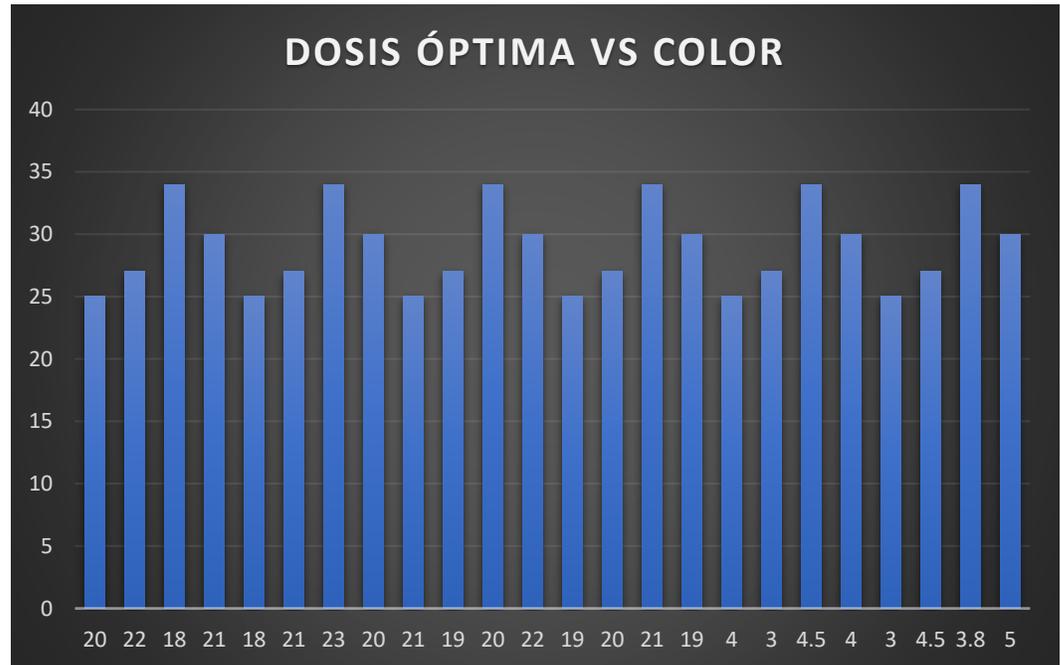


Figura N° 08: Relación de la dosis óptima de coagulante y el color inicial



Fuente: Elaboración Propia

4.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El comportamiento de la dosis óptima frente a la turbiedad debería ser un comportamiento que siga un modelo ya sea lineal, exponencial o logarítmico por el hecho de que a medida que la turbiedad aumenta también lo debería hacer la dosis de coagulante a emplear según la teoría, pero en algunos de los ensayos realizados experimentalmente no se evidencia este comportamiento.

Al momento de pasar de la teoría a la práctica el agua se comporta siempre de una manera diferente, debido a que no solo influyen los factores estudiados, turbiedad y color, sino también factores como la alcalinidad y la dureza.

La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampón de un agua; ya que, en la coagulación química del agua, las sustancias usadas como coagulantes reaccionan para formar precipitados hidróxidos insolubles. Los iones H^+ originados reaccionan con la alcalinidad del agua y, por tanto, la alcalinidad actúa como buffer del agua en un intervalo de pH en el que el coagulante puede ser efectivo.

Por consiguiente, para que ocurra una coagulación completa y efectiva es necesario un exceso de alcalinidad. En el ablandamiento del agua por métodos de precipitación, la alcalinidad es un dato necesario para el cálculo de la cantidad de cal y carbonato de sodio necesario para el proceso.

La concentración de sustancias disueltas en el agua varía dependiendo de la localización geográfica y la estación del año. En lo que respecta a

componentes activos, los iones calcio y magnesio son dos de los componentes químicos más importantes presentes en las aguas de consumo público y constituyen el mayor porcentaje de lo que se conoce como dureza del agua que influye a la hora del tratamiento.

El agua siempre se comporta de una manera diferente debido a las sustancias que pueden venir disueltas en ella lo que altera los parámetros fisicoquímicos de esta y hace que su tratamiento no siempre sea igual y sencillo, además las aguas procedentes de los ríos necesitan un tratamiento complejo y caro antes de ser suministradas a los consumidores, debido a que las precipitaciones traen cantidades apreciables de materia sólida a la tierra como el polvo, bacterias, esporas, e incluso, organismos mayores.

En los resultados obtenidos se puede observar que en ensayos con turbiedades bajas se requirió mayor dosificación de coagulante que en ensayos con turbiedades, lo que da a evidenciar que muchas veces no es cierto que a mayor turbiedad mayor dosis aplicada de coagulante.

4.5 PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS CON SULFATO DE ALUMINIO

A continuación, se encuentran los porcentajes de remoción de las mejores dosis aplicadas donde los parámetros como la turbiedad y el color se encuentran dentro del rango permisible, mediante el ensayo de jarras utilizando sulfato de aluminio granulado tipo B como coagulante.

4.5.1 REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD CON SULFATO DE ALUMINIO

Para obtener los porcentajes de remoción se empleó la siguiente relación:

$$\% \text{ Remoción Turbiedad} = \frac{\text{Turbiedad Inicial} - \text{Turbiedad Final}}{\text{Turbiedad Inicial}} \times 100$$

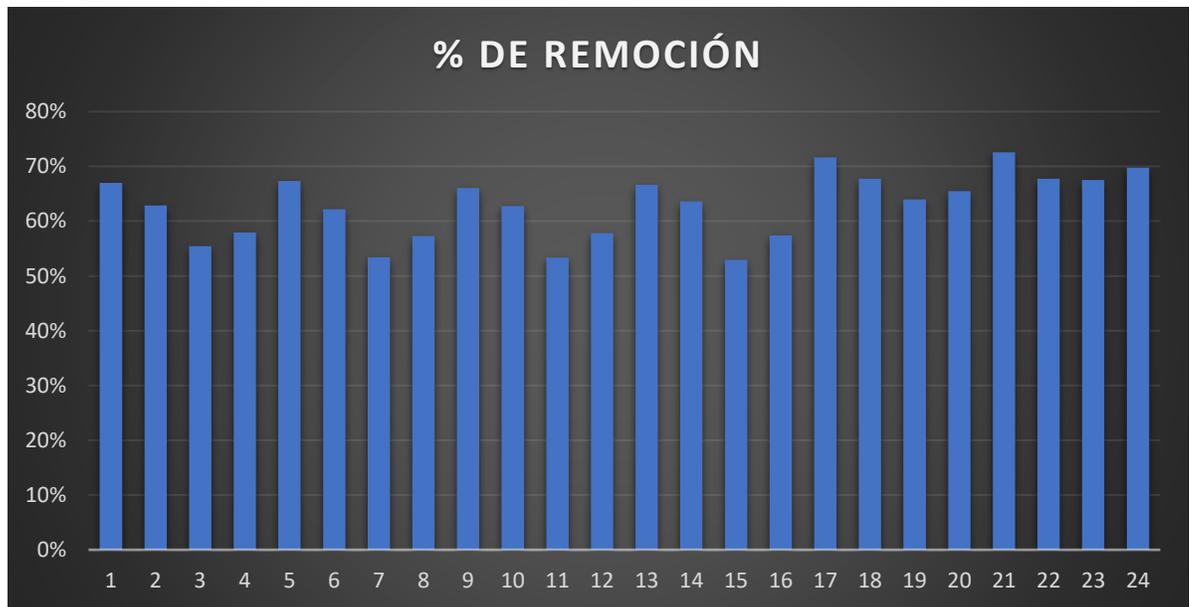
Tabla N° 39: Remoción de Color.

N° del Ensayo	TURBIEDAD INICIAL (NTU)	TURBIEDAD FINAL (NTU)	% DE REMOCIÓN
1	10	3.3	67%
2	10.5	3.9	63%
3	11	4.9	55%
4	10.7	4.5	58%
5	9.8	3.2	67%
6	11.1	4.2	62%
7	10.3	4.8	53%
8	11	4.7	57%
9	11.2	3.8	66%
10	10.2	3.8	63%
11	10.5	4.9	53%
12	10.2	4.3	58%
13	10.8	3.6	67%
14	9.9	3.6	64%
15	10.2	4.8	53%
16	10.8	4.6	57%
17	6	1.7	72%
18	6.2	2	68%
19	5	1.8	64%
20	5.5	1.9	65%
21	5.1	1.4	73%
22	6.2	2	68%
23	4	1.3	68%
24	4.3	1.3	70%

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente gráfica se puede observar el porcentaje de remoción de turbiedad de cada ensayo realizado donde se obtuvo la mejor dosis aplicada de coagulante.

Figura N° 09: % de remoción de turbiedad



Fuente: Elaboración Propia

4.5.2 REMOCIÓN DEL COLOR CON SULFATO DE ALUMINIO

Para obtener los porcentajes de remoción se empleó la siguiente relación:

$$\% \text{ Remoción Color} = \frac{\text{Color Inicial} - \text{Color Final}}{\text{Color Inicial}} \times 100$$

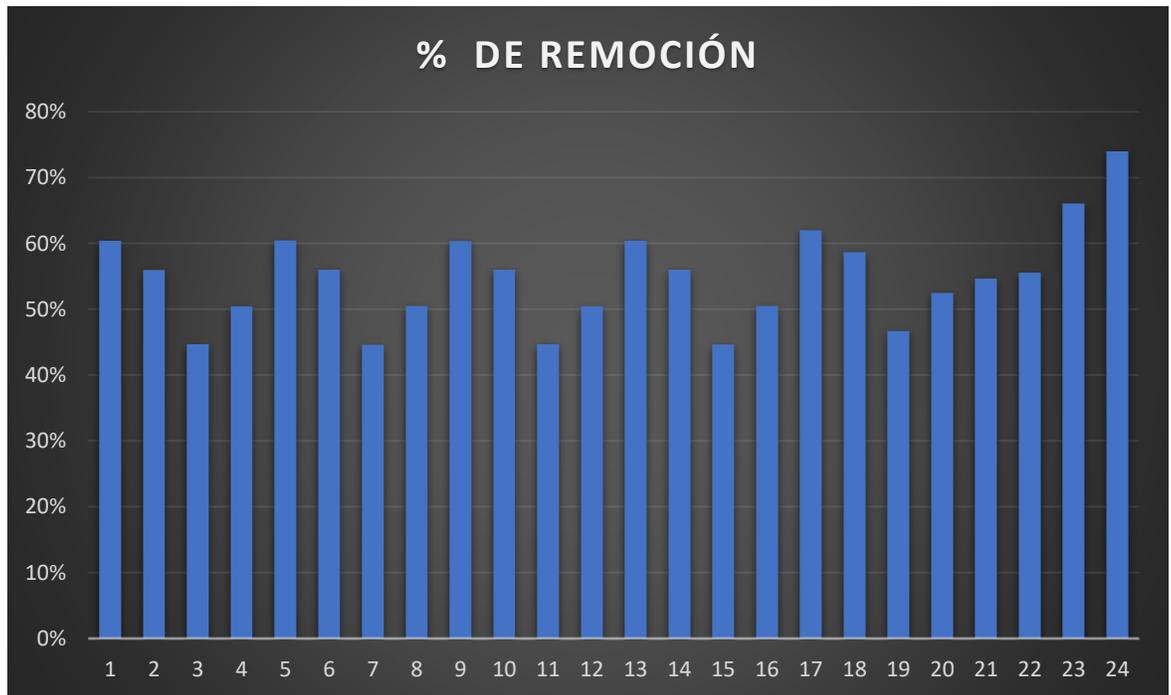
Tabla N° 40: Remoción de color.

N° del Ensayo	COLOR INICIAL (UCV)	COLOR FINAL (UCV)	% DE REMOCIÓN
1	20	7.92	60%
2	22	9.69	56%
3	18	9.95	45%
4	21	10.4	50%
5	18	7.12	60%
6	21	9.24	56%
7	23	12.74	45%
8	20	9.9	51%
9	21	8.32	60%
10	19	8.36	56%
11	20	11.06	45%
12	22	10.9	50%
13	19	7.52	60%
14	20	8.8	56%
15	21	11.62	45%
16	19	9.4	51%
17	4	1.52	62%
18	3	1.24	59%
19	4.5	2.4	47%
20	4	1.9	53%
21	3	1.36	55%
22	4.5	2	56%
23	3.8	1.29	66%
24	5	1.3	74%

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente gráfica se puede observar el porcentaje de remoción de color de cada ensayo realizado donde se obtuvo la mejor dosis aplicada de coagulante.

Figura N° 10: % de remoción de color



Interpretación

Se observa que los porcentajes de remoción de la turbiedad se encuentran por encima del 50% y los del color por encima del 40%, lo cual demuestra que el sulfato de aluminio granulado tipo B es efectivo al utilizarlo en el tratamiento de aguas, pero también indica que las dosis de coagulante halladas son efectivas; teniéndose en cuenta que en la mayoría de los ensayos se logró remover la turbiedad y el color iniciales, dejando como resultados muestras tratadas aptas para el consumo con parámetros

fisicoquímicos finales de color y turbiedad dentro del rango permisibles que exige el decreto supremo N° 031- 2010- SA.

4.6 COMPORTAMIENTO DEL pH EN EL TRATAMIENTO DE SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE YURAJHUANCA

A continuación, se puede observar el comportamiento que tiene el pH antes y después del tratamiento con sulfato de aluminio granulado tipo B en cada uno de los ensayos donde se obtuvo la mejor dosis de coagulante.

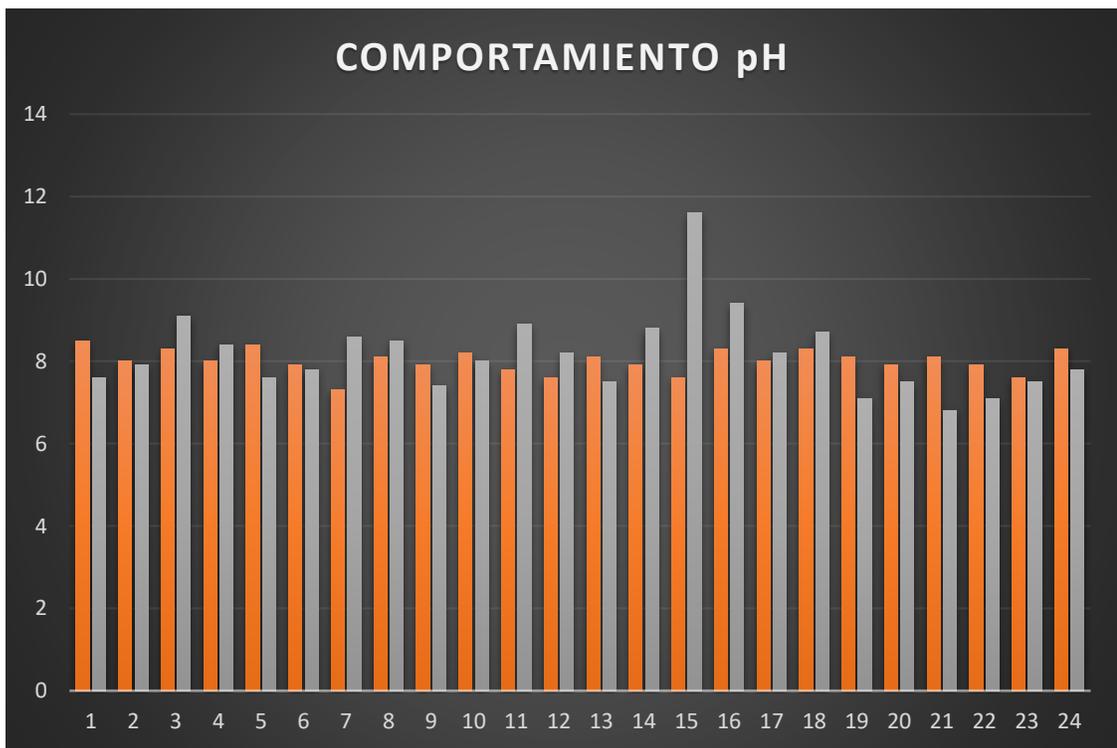
Tabla N° 41: COMPORTAMIENTO DEL pH.

N° del Ensayo	pH inicial	pH final
1	8.5	7.6
2	8	7.9
3	8.3	9.1
4	8	8.4
5	8.4	7.6
6	7.9	7.8
7	7.3	8.6
8	8.1	8.5
9	7.9	7.4
10	8.2	8
11	7.8	8.9
12	7.6	8.2
13	8.1	7.5
14	7.9	8.8
15	7.6	11.6
16	8.3	9.4

17	8	8.2
18	8.3	8.7
19	8.1	7.1
20	7.9	7.5
21	8.1	6.8
22	7.9	7.1
23	7.6	7.5
24	8.3	7.8

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 11: Comportamiento de pH



Fuente: Elaboración Propia

Interpretación

Al agregarse sulfato de aluminio al agua este se hidroliza provocando una disminución del pH, debido a esto se puede observar que el comportamiento del pH en todos los ensayos es el mismo.

Después de la dosificación con sulfato de aluminio el pH de las muestras disminuye, entonces a mayor dosificación de sulfato de aluminio granulado tipo B menor pH.

Muchas veces el pH del agua después del tratamiento con Sulfato de aluminio queda por fuera del rango permisible, pero en la planta de tratamiento se cuenta con una etapa de post-cal para ajustarlo.

CONCLUSIONES

1. Se evidenció que los parámetros fisicoquímicos del agua varían en relación con el tiempo climático, ya que los días que se presentaban precipitaciones eran los días donde se recolectaban muestras con mayor variación de la turbiedad y de color.
2. El sulfato de aluminio granulado tipo B es un coagulante efectivo para el tratamiento de aguas para consumo humano dado que se presentaron buenos porcentajes de remoción de la turbiedad y color en las muestras de agua cruda analizada.
3. Se observó que no existe una correlación lineal entre la dosis óptima aplicada de coagulante y la turbiedad del agua cruda dado que en los ensayos experimentales se obtuvieron resultados con dosificaciones mayores en muestras de turbiedades bajas mientras que en turbiedades altas se emplearon dosificaciones menores. Esto se debe a que en turbiedades menores las partículas suspendidas son más pocas lo que dificulta las colisiones entre ellas para formar el floc requiriendo más adición de coagulante.

4. En muestras de agua con colores elevados se hace necesario la adición de una dosis de coagulante mayor debido a que los coloides que dan color al agua la mayoría son hidrofílicos, evidenciándose en los ensayos en los cuales se logró que la turbiedad quedara dentro del rango permisible pero los valores de los colores no estuvieron dentro de este.

5. Se logró construir las tablas y graficas donde se relacionan los parámetros fisicoquímicos estudiados y las dosis óptimas de coagulante Sulfato de Aluminio granulado tipo B necesarias, que servirán como parámetro base para el tratamiento de agua potable en la plata de tratamiento de Yurajhuanca EMAPA PASCO S.A.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar mantenimiento y calibración de los equipos utilizados en el proceso de potabilización de una forma periódica por personal especializado y así lograr mediciones de mayor confiabilidad.
2. Es necesario realizar una inversión en equipos y material de laboratorio dado que es necesario tener un buen control en el sector del agua potable que garantice que el agua suministrada a la población esté libre de impurezas que puedan tener efectos adversos sobre la salud.
3. Es recomendable que en posteriores análisis no se evalúe solo los parámetros de turbidez y color en cuanto a la dosificación de coagulante sino también parámetros como dureza, alcalinidad, acidez y pH que también afectan la cantidad de coagulante en el momento del tratamiento de aguas.
4. Para posteriores análisis es necesario la recolección de un mayor volumen de agua cruda para la realización de los ensayos de una forma repetitiva y así lograr una mayor confiabilidad en los resultados obtenidos.

5. Se recomienda que en la Planta de Tratamiento de Yurajahuanca se realicen ensayos periódicos con la prueba de jarras con el fin de mejorar la cantidad de coagulante utilizada al dosificar el agua.

6. Se recomienda la realización de una cámara de estabilización de pH en la Planta de Tratamiento de Yurajhuanca a manera que en casos extraordinarias en que el pH sea demasiado alcalino se pueda cumplir con los LMP establecido en la normatividad peruana

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Claudia Lorena Barajas Garzón, Andrea Juliana León Luque (2015). Determinación de la Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ en el Proceso de Coagulación – Floculación Para el Tratamiento de Agua Potable por Medio del uso de una Red Neuronal Artificial. Bogotá. Colombia.

Daniela Castrillón Bedoya y María De Los Ángeles Giraldo (2012). Determinación de las Dosis Óptimas del Coagulante Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B en Función de la Turbiedad y el Color para la Potabilización del Agua en la Planta de Tratamiento de Villa Santana Determinación de las Dosis Óptimas del Coagulante Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B en Función de la Turbiedad y el Color para la Potabilización del Agua en la Planta de Tratamiento de Villa Santana. Barrio Alamos - Risaralda – Colombia.

Jaime Herminio Claros Castellares(2015). Efectos del Polihidroxicloruro de Aluminio, Velocidad de Agitación y PH en la Turbidez del agua del Río Shullcas - Huancayo-Perú

Umberto Eco, Como se hace una Tesis, Técnicas y procedimientos de estudio, investigación y escritura.

Carlos Sabino, Como Hacer una Tesis, Caracas 1994.

Páginas de Internet:

1. El Plan de Tesis

<http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/184/2009/01/Guia-plan-tesis.pdf>

2. Plan de Tesis

<https://es.scribd.com/doc/104443405/Plan-de-Tesis-Modelo>

3. Plan de tesis

<http://www.monografias.com/trabajos69/plan-tesis/plan-tesis.shtml>

ANEXOS

ANEXO N° 01

IMÁGENES DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA

MUESTRAS TOMADA PARA SER ANALIZADAS EN EL LABORATORIO DE EMAPA-PASCO



PRUEBAS DE MUESTRA EN EL LABORATORIO DE EMAPA-PASCO



PRUEBAS DE MUESTRA EN EL LABORATORIO DE EMAPA-PASCO



RESULTADOS DEL ANÁLISIS REALIZADO



PRUEBAS EN LA DOTACIÓN DE AGUA



PRUEBAS EN LA DOTACIÓN DE AGUA



ANEXO: MATRIZ DE CONSISTENCIA

“DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE YURAJHUANCA – EMAPA PASCO”		
<i>PROBLEMA GENERAL</i>	<i>OBJETIVO GENERAL</i>	<i>HIPÓTESIS INTERNA</i>
<p>¿Cuál es la dosificación óptima del coagulante sulfato de aluminio en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca – EMAPA PASCO S.A. de manera que los parámetros de turbiedad y color a la salida de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca estén dentro de lo establecido en el Reglamento de Calidad para Agua de Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-S.A. DIGESA)?</p>	<p>Determinar la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio para el tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca de manera que se cumpla los estándares de Turbiedad y Color según lo establecido en el Reglamento de Calidad para Agua de Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-S.A. DIGESA).</p>	<p>Mediante la dosificación óptima de sulfato de aluminio se podrá tratar la turbiedad de agua proveniente del canal Gashan de manera que este cumpla con los parámetros establecidos dentro del D.S. N°031 – 2010 S.A., sin alterar el pH ni conductividad en el agua tratada</p>
<i>PROBLEMA ESPECIFICO</i>	<i>OBJETIVO ESPECÍFICO</i>	<i>HIPÓTESIS NULA</i>

<p>¿Cuál es la Dosis óptima de Sulfato de Aluminio para el tratamiento del agua en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca?</p> <p>¿Cuál es el caudal de dosificación óptimo, de la solución de sulfato de aluminio granulado tipo b para el tratamiento del caudal de ingreso a la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca?</p> <p>¿Cuál es más adecuada para la homogenización de la solución de sulfato de aluminio granulado tipo B con el caudal de ingreso a la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca?.</p> <p>¿La turbiedad y color del Agua tratada se encuentran dentro de los parámetros establecidos en el Reglamento de Calidad para Agua de Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-S.A. DIGESA)?</p>	<p>Determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio para el tratamiento de agua en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca de EMAPA PASCO S.A.</p> <p>Determinar el caudal de dosificación adecuado de la solución de sulfato de aluminio granulado tipo B para el tratamiento del caudal de ingreso a la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca.</p> <p>Determinar la velocidad adecuada para la homogenización de la solución de sulfato de aluminio con el caudal de ingreso a la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca.</p> <p>Mantener el Agua Tratada dentro de los parámetros establecidos en Reglamento de Calidad para Agua de Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-S.A. DIGESA.</p>	<p>Con una dosificación errónea de sulfato de aluminio se podrá tratar la turbiedad de agua proveniente del canal Gashan de manera que este cumpla con los parámetros establecidos dentro del D.S. N°031 – 2010 S.A., sin alterar el pH ni conductividad en el agua tratada</p>
--	--	--