



**Universidad
Continental**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de
Ingeniería Ambiental

**Análisis de la dosificación de coagulantes
por efectos de la turbidez en el tratamiento
de agua potable de la Planta de SEDAM
Huancayo**

Anthony Loayza Ramos

Huancayo, 2017

Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por hacer de mí una buena persona quien busca cumplir con sus objetivos; por iluminar mi destino; por brindarme su apoyo en todo momento en el que estuve solo; por darme una familia maravillosa y poner personas en mi camino quienes me ayudan para continuar construyendo mi futuro.

Agradezco a mis padres por haberme traído al mundo; por brindarme su apoyo incondicional; por confiar en mí; por estar en todo momento a mi lado, aunque no personalmente; siempre están llamando, preguntando como estoy y preocupándose por mí. Agradezco infinitamente la forma en que ellos estuvieron en las buenas y en las malas a mi lado.

Agradezco a mi hermano, hermana, tíos, mi enamorada y las pocas personas que realmente quieren lo mejor para mí; son ellos, a quienes considero parte esencial de mi futuro porque gracias ellos pude construir un buen cimiento; el cual me permitirá bregar día tras día para ser una mejor persona; útil no solo para mi familia; sino también, para la sociedad en general.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, quien hace posible lo que viene ocurriendo en mi vida; a mis padres, que sin su apoyo todo esto no sería realidad; a mis hermanos, mis tíos, mi enamorada, que si no fuera por ellos, quizá no hubiese terminado la universidad. Por todo ello gracias.

ÍNDICE

PORTADA	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE	iv
LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.1. CARACTERIZACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1.2. DIAGNÓSTICO DEL RECURSO HÍDRICO	6
1.1.3. SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE HUANCAYO	10
1.1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.2. OBJETIVOS	17
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN	17
1.4. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	19
1.4.1. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	19
1.4.2. HIPÓTESIS SECUNDARIAS	19
1.5. SISTEMA DE VARIABLES.....	20
1.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE.	20
1.5.2. VARIABLES INDEPENDIENTES.....	20
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
2.2. BASES TEÓRICAS	23
2.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA	23
2.2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA	24
2.2.3. COAGULACIÓN	28
2.2.4. MECANISMO DE LA COAGULACIÓN	30
2.2.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN	34
2.2.6. CONDICIONES PARA UNA BUENA REACCIÓN DEL COAGULANTE	38
2.2.7. APLICACIÓN PRÁCTICA DE LOS COAGULANTES.....	42
2.2.8. DOSIFICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS	42

2.2.9.	CALIDAD DE AGUA.....	44
2.2.10.	PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA POTABLE.....	47
2.2.11.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	50
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....		53
3.1.	MÉTODO Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	53
3.1.1.	MÉTODO PRUEBA DE JARRAS.....	53
3.1.2.	PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA DE JARRAS	54
3.1.3.	PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	57
3.1.4.	ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	58
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	58
3.2.1.	TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	58
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	59
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	59
3.4.1.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	59
3.4.2.	INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	59
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		61
4.1.	ANÁLISIS DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE EN LA PRUEBA DE JARRAS CON PH NEUTRO Y VARIABLES FÍSICAS CONSTANTES.....	61
4.1.1.	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA DOSIS EN LA PRUEBA DE JARRAS POR REGRESIÓN CUADRÁTICA	62
4.2.	ANÁLISIS DE LA DOSIS ÓPTIMA EN DISTINTOS NIVELES DE TURBIEDAD CON OTRAS VARIABLES CONSTANTES.	62
4.2.1.	RESULTADOS DE DOSIS ÓPTIMA DISTINTOS NIVELES DE TURBIDEZ DE INGRESO.....	63
4.3.	ANÁLISIS DE LAS VARIABLES FÍSICAS MÁS IMPORTANTES EN EL CÁLCULO DE LA DOSIS DE COAGULANTE.....	65
4.3.1.	CON RESPECTO AL PH	65
4.3.2.	CON RESPECTO A LA TURBIEDAD	67
4.3.3.	CON RESPECTO AL COLOR.....	69
4.3.4.	CON RESPECTO A LA CONDUCTIVIDAD.....	70
4.3.5.	CON RESPECTO AL TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS	72
4.4.	DESARROLLO DEL MODELO LINEAL MÚLTIPLE	74
4.4.1.	VARIABLE INTERVINIENTES	74
4.4.2.	Análisis de correlación y colinealidad intervariables	74
4.4.3.	Formulación del modelo	76
4.4.4.	Análisis de normalidad de datos:	78
4.4.5.	Análisis del modelo por regresión lineal múltiple:	79
4.4.6.	Contrastación y validación del modelo en contraste con los valores reales....	80
CONCLUSIONES.....		83
RECOMENDACIONES		85

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
ANEXOS.....	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Características de las lagunas de almacenamiento	12
Tabla 2: Balance Oferta – Demanda en Tratamiento de Agua (litros por segundo).....	15
Tabla 3: Clasificación del Agua Según su Comportamiento en la coagulación.....	40
Tabla 4: Límites máximos permisibles para el tratamiento de agua.....	45
Tabla 5: Microorganismos patógenos	46
Tabla 6: Límites Máximos Permisibles Referenciales de los Parámetros de Calidad del Agua (SUNASS – 2000)	48
Tabla 7: Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica DIGESA.....	49
Tabla 8: Resultados de cálculo de dosis con la prueba de jarras con 6 vasos	61
Tabla 9: Dosificación de coagulante para turbidez residual mayor a 5 NTU.....	63
Tabla 10: Mediciones del nivel de pH promedio por mes en la planta de SEDAM-Huancayo.....	65
Tabla 11: Mediciones de la turbidez promedio mensual al ingreso y salida de la planta SEDAM - Huancayo	67
Tabla 12: Mediciones del color en la entrada y la salida del tratamiento en la planta SEDAM - Huancayo	69
Tabla 13: Mediciones promedio mensual de la conductividad en el ingreso y en la salida de la planta SEDAM - Huancayo	71
Tabla 14: Mediciones de sólidos totales disueltos en el ingreso y en la salida de la planta SEDAM - Huancayo	73
Tabla 15: Correlaciones entre variables	75
Tabla 16: Resultados del modelo con coeficientes.....	77
Tabla 17: Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra.....	78
Tabla 18: Análisis de Correlaciones.....	80
Tabla 19: ANOVA para validar la correlación	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la Sub cuenca del río Shullcas.....	7
Figura 2: Mapa de vida de la subcuenca del río Shullcas.	8
Figura 3: Mapa de la red hidrográfica de la subcuenca del río Shullcas.	9
Figura 4: Laguna Chuspicocha	11
Figura 5: Laguna Lasuntay.....	11
Figura 6: Captación de agua de Chamisería.	13
Figura 7: Ubicación de la cuenca del río Shullcas	14
Figura 8: Planta de tratamiento de agua de Vilcacoto.	16
Figura 9: Anulación de cargas eléctricas en la superficie del coloide.....	29
Figura 10: Fuerzas de Van der Waals.	30
Figura 11: Reestabilización de la carga de partículas.	31
Figura 12: Atrapamiento de las Partículas en un Floc.	32
Figura 13: Efecto de puente de las partículas en suspensión.	33
Figura 14: Condiciones de Mezcla	38
Figura 15: Coagulación por adsorción	39
Figura 16: Coagulación por Barrido	40
Figura 17: Diagrama de Remoción de Turbiedad	41
Figura 18: Imagen de la Prueba de jarras.....	53
Figura 19: Regresión cuadrática de la dosis en la Prueba de jarras.	62
Figura 20: Dosis del coagulante sulfato de aluminio según la turbidez en la planta SEDAM	64
Figura 21: Niveles de pH en el punto de entrada y de salida de la planta	66
Figura 22: Niveles de la turbidez en el río Shullcas, al ingreso del decantador y en la salida de la planta SEDAM – Huancayo.....	68
Figura 23: Niveles de color en el punto de entrada y de salida de la planta SEDAM – Huancayo .	70
Figura 24: Niveles de conductividad en el punto de entrada y de salida de la planta SEDAM - Huancayo	72
Figura 25: Niveles de solidos totales disueltos en el punto de entrada y de salida de la planta SEDAM – Huancayo	73
Figura 26: Grafica de normalidad de los datos obtenidos con la prueba de jarras.	79
Figura 27: Gráfica de dispersión del modelo en contraste con la Prueba de Jarras	81

RESUMEN

La investigación se realizó en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo – Vilcacoto, donde se realizaron ensayos de tratamiento de agua con el coagulante sulfato de aluminio TIPO A; con el fin de determinar la dosis óptima requerida para la remoción de la turbidez en diferentes muestras de agua recogidas durante un periodo de 335 días. Se analizó diferentes parámetros fisicoquímicos como el color, pH, conductividad eléctrica, turbidez y sólidos totales disueltos; con el que se obtuvo una base de datos confiable y, finalmente, se plasmó un modelo matemático que simula la dosificación óptima en función de los parámetros fisicoquímicos estudiados. Para realizar esta fórmula de dosificación se tuvo que utilizar la estadística; en este caso, la correlación; el cual ayudó a elegir los parámetros que conforman el modelo matemático presentado.

El método que se utilizó para realizar los tratamientos y determinar la dosis óptima es el test de prueba de jarras. Se calculó las dosis de acuerdo al nivel de turbidez del agua, los cuales fueron añadidos a cada jarra.

Los resultados obtenidos después de los tratamientos fueron óptimos en cuanto a la remoción de los parámetros fisicoquímicos como la turbidez, el color y los sólidos totales disueltos; es por ello, que se comparó los resultados de calidad de agua de salida de la planta con los límites máximos permisibles de agua para consumo humano.

ABSTRACT

The research was carried out at the SEDAM Huancayo - Vilcacoto drinking water treatment plant, where water treatment trials were carried out with the aluminum sulphate coagulant TYPE A; In order to determine the optimum dose required for removal of turbidity in different water samples collected over a period of 335 days. Different physicochemical parameters such as color, pH, electrical conductivity, turbidity and total dissolved solids were analyzed; With which a reliable database was obtained and, finally, a mathematical model was simulated that simulates the optimum dosage in function of the physicochemical parameters studied. To perform this dosage formula had to use statistics; In this case, the correlation; Which helped to choose the parameters that make up the presented mathematical model.

The method used to perform the treatments and to determine the optimal dose is the test of pitch test. The doses were calculated according to the turbidity level of the water, which were added to each jar.

The results obtained after the treatments were optimal in terms of removal of the physicochemical parameters such as turbidity, color and total dissolved solids; It is for this reason that the results of the output water quality of the plant were compared with the maximum permissible limits of water for human consumption.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, en muchas ciudades podemos notar la ineficiencia que tienen las empresas prestadoras de servicios (EPS) para tratar las aguas; sean de consumo humano o para otro fin. Es por ello que se utilizan diferentes métodos para el tratamiento del agua; algunos, más eficientes que otros; pero más costosos.

Las pequeñas ciudades sufren más con respecto a la calidad de agua para consumo humano; ya que sin darse cuenta, están bebiendo agua que contiene una alta concentración de sólidos totales disueltos, coliformes y turbidez; esto, por tener un bajo presupuesto para tratar el agua. De igual manera; algunas ciudades medianas o grandes que sí disponen de presupuesto para realizar un tratamiento; no hacen un buen uso de éste, debido a que carecen de información o no realizan un manejo técnico apropiado.

Es por ello que la investigación plantea el siguiente problema: ¿Cuál es la dosificación óptima del coagulante sulfato de aluminio tipo A en función a la turbidez del agua en la planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo? Con el cual se busca solucionar el problema planteado, obteniendo información de los parámetros del agua en la planta de tratamiento SEDAM Huancayo – Vilcacoto, donde se podrá observar el comportamiento de éstos y la relación que existe con el coagulante sulfato de aluminio tipo A, para así concluir con un modelo matemático de dosificación óptima del coagulante.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. CARACTERIZACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

Las aguas superficiales del río Shullcas son tomadas empleando la bocatoma y el canal de conducción de la Empresa SEDAM. Posteriormente llevadas hasta la Planta de Tratamiento de Vilcacoto donde se realiza el proceso de potabilización del agua. El agua entregada por la planta de tratamiento a la ciudad para el uso doméstico debe sufrir un proceso que garantice su inocuidad y que haga cumplir la normatividad vigente que se rige por el decreto supremo N° 031 2010 – SA. DIGESA; donde se establecen las normas técnicas de calidad del agua potable.

En la planta de tratamiento de SEDAM Huancayo no se maneja una alternativa en casos de contingencia para la dosis óptima de coagulante en el tratamiento del agua porque en ocasiones no se puede realizar todas las pruebas a falta de tiempo. Por tal motivo, causa una sobredosificación en el agua y como consecuencia una pérdida económica. Por otro lado; al dosificar menos de lo necesario, no se obtiene un buen proceso de coagulación y parámetros fisicoquímicos como la turbiedad y el color, no son removidos adecuadamente; es por ello que se plantea el presente proyecto con el fin de determinar la dosis óptima de coagulante Sulfato de Aluminio granulado TIPO A.

Los tratamientos para la purificación de agua superficial son de suma importancia para la sociedad; ya que de estos depende la calidad del agua para consumo humano, doméstico y usos de diferente índole. Si los tratamientos se aplican de

manera correcta, cada comunidad podría satisfacer un requerimiento esencial para la vida. Las grandes ciudades dependen de abastecimiento superficial y en la mayoría de los casos sus fuentes son corrientes, lagos o embalses (**Guerrero 1979**) En el proceso de potabilización de las aguas, la clarificación es una de las etapas más importantes; ya que permite la remoción de materiales de naturaleza coloidal en suspensión tales como arcilla, limo y lodos. Para lograr la clarificación del agua, es necesaria la utilización de agentes coagulantes así como coadyuvantes de coagulación, que permiten eliminar un porcentaje significativo de las partículas en suspensión (típicamente entre 80 y 90 %); este proceso es conocido como coagulación-floculación. Los agentes convencionales utilizados en la coagulación-floculación son sales metálicas tales como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico y el sulfato ferroso. Actualmente, el coagulante más utilizado es el sulfato de aluminio multihidratado (**CEPIS 1983**). Este compuesto al disociarse en agua, sufre una serie de reacciones con los iones alcalinos presentes en el agua, formando iones complejos, polímeros e hidróxido de aluminio insoluble, que pueden ser adsorbidos por las partículas coloidales suspendidas en el agua produciendo la desestabilización de las cargas y favoreciendo la sedimentación de las mismas (**Martínez et al. 2003**). Para determinar la dosis óptima de los agentes químicos empleados en el proceso de coagulación-floculación se utiliza un procedimiento de laboratorio conocido como la Prueba de jarras, con esta se determina la dosis de agente más efectiva y económica para una intensidad y duración de mezclado particular, y en ella se utiliza una serie de mezcladores rotacionales de escala laboratorio a fin de conseguir el mezclado uniforme de varias muestras simultáneamente, para que sea posible ajustar hasta igualar los gradientes de velocidad a escala de planta para floculación y mezclado rápido. Debido a que la disociación del agente coagulante produce una serie de reacciones en equilibrio químico, su desempeño depende del pH. En el caso del sulfato de aluminio, la formación óptima de flóculos ocurre en un intervalo de pH entre 6.0 y 8.0 (**Schulz y Okun 1998**).

Desde el punto de vista ambiental, se ha reportado que en análisis realizados a muestras de aguas potabilizadoras se han encontrado trazas de sulfato de aluminio, lo que indica que el control en cuanto a la adición de esta sustancia no es apropiado, representando así un riesgo potencial para la salud humana (**Martínez et al. 2003**). (**Bratby 2006**) y (**Colbert 2007**) mencionan que existe una preocupación creciente de la relación entre el aluminio residual y efectos

neurológicos adversos, principalmente manifestado en la enfermedad del Alzheimer.

884 millones de personas siguen sin tener acceso a agua potable en todo el mundo. Las consecuencias relacionadas con el consumo de agua no potable provocan cada año más víctimas mortales en todo el mundo que cualquier tipo de violencia, incluida la guerra, es el dato demoledor difundido por la ONU con motivo de la celebración del Día Mundial del Agua, una jornada instaurada en 1993. Este año, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), quiere destacar la importancia del acceso a un agua de calidad, focalizando sus esfuerzos en concienciar a ciudadanos, pero sobre todo a gobiernos y centros de poder para que se comprometan activamente en la defensa del agua de calidad mediante la lucha contra la contaminación, el reciclaje de aguas y la recuperación de recursos hídricos.

En total, se estima que en todo el mundo sigue habiendo 884 millones de personas sin acceso al agua potable, según la ONU, un bien fundamental que repercute en la sanidad, la seguridad y la calidad de vida, especialmente de menores y mujeres. Por ejemplo, las enfermedades que se propagan por el agua causan cada año la muerte a más de 1,5 millones de niños o, lo que es lo mismo, cada 15 segundos muere un niño por una enfermedad causada por la falta de acceso a agua segura para beber, el saneamiento deficiente o la falta de higiene.

Con respecto al saneamiento en el Perú según **(Alayo Orbegoso 2016)** Más del 30% de población rural no tiene agua potable. Los gobiernos en el siglo XX priorizaron el suministro en zonas urbanas. El 28 de julio de 1923, el presidente Augusto B. Leguía se dirigió ante el Congreso para dar el acostumbrado balance de su gestión. En su discurso, publicado en las páginas de El Comercio, Leguía destacó las obras de saneamiento que dijo había priorizado en los últimos tres años. Casi un siglo después, el agua todavía no llega a todos los peruanos. A través de un comunicado, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento explicó a El Comercio que se debe revisar el actual modelo de gestión, debido a que “funciona de manera deficiente, genera desperdicio de agua, sobrecostos, corrupción y no permite cumplir los objetivos de manera adecuada”.

En la ciudad de Huancayo (**«Más de 5 mil pobladores beben agua no apta para consumo humano» 2016**), el personal de salud halló bacterias en el agua que perjudica la salud de la población. Más de 5 mil 800 personas consumen agua

turbia y llena de bacterias, esto ocurre en el distrito de Pariahuanca, provincia de Huancayo. Hasta allí llegó el personal de la Red de Salud Valle del Mantaro que luego de analizar el agua que la población toma, recomendó a la Municipalidad Distrital de Pariahuanca que tome acciones en el caso y se proyecte una limpieza de las tuberías y la cloración del agua bajo soporte técnico para el consumo humano. Conforme a los resultados de laboratorio, el coordinador de Salud Ambiental, Ing. Antonio Huamán, junto a los representantes de la Dirección Regional de Salud y la Defensoría del Pueblo, tomaron las muestras del agua en los anexos de Llacsapirca, Santiago de Lampa, Suntol, Antarpa Chico, Antarpa Grande, donde se observó reservorios en mal estado, redes de tuberías con agua turbulenta que supera los límites permitidos para consumo humano.

La información que caracteriza la presente investigación corresponde al marco de la Ley de Aguas y el marco normativo de los recursos hídricos, desde la óptica andina, nacional y regional. Así mismo, se ha realizado el diagnóstico del recurso hídrico para la ciudad de Huancayo, donde se indica la capacidad de procesamiento que tienen las plantas.

Marco Normativo de Recursos Hídricos.

- **Marco Normativo Andino**

Según **(MINAM 2015)** el marco normativo andino utiliza la Estrategia Andina para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos. El objetivo de la estrategia andina es promover acciones conjuntas para el desarrollo, la sostenibilidad y el fortalecimiento de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en los Países Miembros de la Comunidad Andina. Así se confirma que el agua es un recurso de carácter vital y estratégico para la integración.

- **Marco Normativo Nacional**

El Marco Normativo Nacional es utilizada por la Autoridad Nacional del Agua – ANA 2008, la cual está encargada de elaborar la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos y el Plan Nacional de Recursos Hídricos, ejerciendo potestad sancionadora en la materia de su competencia aplicando sanciones de amonestación, multa, inmovilización, clausura o suspensión por las infracciones de acuerdo al procedimiento que se apruebe; para tal efecto, ejerciendo en caso

corresponda la facultad coactiva (Decreto Legislativo N° 997- Primera Disposición Complementaria Final).

Según **(MINAM 2015)** dentro de este marco normativo tenemos:

- **Sistema Nacional de Recursos Hídricos 2008.-** Se ha creado según el Decreto Legislativo N° 1081, teniendo como objetivos en la integración del Estado en la gestión integrada y multisectorial de los recursos hídricos, asegurando su aprovechamiento sostenible, la conservación de los recursos hídricos.
- **Aprovechamiento eficiente de los Recursos Hídricos.-** según el Decreto Legislativo N° 1083, tiene como objetivo promover el aprovechamiento eficiente del agua, la conservación de fuentes naturales, el oportuno y adecuado mantenimiento de la infraestructura hidráulica, incentivando una cultura del uso eficiente de agua.
- **Política y Estrategia de Recursos Hídricos.-** El objeto de la política y estrategia nacional de recursos hídricos del Perú es precisar el marco de referencia dentro del cual debe interactuar el sector público y privado en la gestión de los recursos hídricos del Perú; que permita pasar de un manejo sectorial y desarticulado, hacia una gestión integrada con intervenciones debidamente institucionalizadas, mecanismos de gestión coherentes y coordinados en el marco del proceso de regionalización y descentralización.
- **Ley de Recursos Hídricos: Ley N° 29338 (2009).-** Esta Ley regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable. Y tiene como finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a esta.
- **Lineamientos generales para la creación de Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca.-** El objetivo de los lineamientos es orientar las acciones y procedimientos necesarios para la creación de los Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca, de conformidad con las normas,

principios y objetivos de la Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento. Su alcance servirá de referencia en el proceso de conformación de los Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca, a los gobiernos regionales, gobiernos locales, universidades, entre otros organismos.

- **Marco Normativo Regional**

El Marco Normativo Regional, comprende:

- **Estrategia Regional de Recursos Hídricos de Junín (2010).**- El objetivo de la estrategia es precisar el marco de referencia dentro del cual debe interactuar el sector público y privado en la gestión de los recursos hídricos en la región Junín; que permita pasar de un manejo sectorial y desarticulado, hacia una gestión integrada con intervenciones debidamente institucionalizadas, mecanismos de gestión coherentes y coordinados en el marco del proceso de regionalización y descentralización **(MINAM 2015)**

1.1.2. DIAGNÓSTICO DEL RECURSO HÍDRICO.

(MINAM 2015) Siendo el agua un recurso finito y vulnerable, esencial para el sostenimiento de la vida, el desarrollo económico y la preservación del medio ambiente; su aprovechamiento debe estar enmarcado en una gestión integrada, con la participación de los usuarios y de la sociedad en su conjunto.

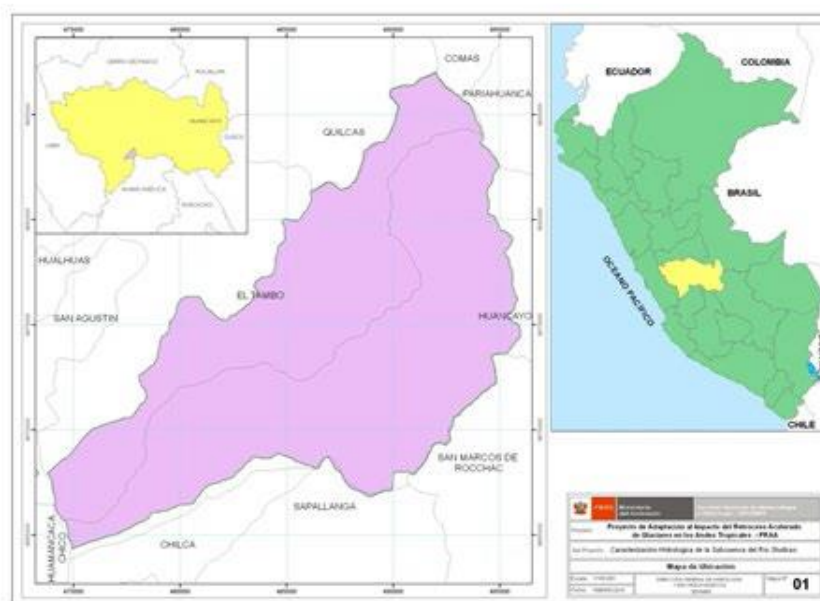
El Estado tiene el propósito de mejorar la oferta de agua a través del mejoramiento de la eficiencia del uso y de la gestión integrada en las cuencas hidrográficas para lo cual es necesario realizar el diagnóstico de los problemas existentes en la actualidad.

Los recursos hídricos que utiliza la ciudad de Huancayo, son provenientes de la subcuenca del río Shullcas, manantiales y los recursos hídricos subterráneos de la zona.

Según **(MINAM 2015)** la subcuenca del río Shullcas tiene las siguientes características generales:

A. Ubicación geográfica.- La subcuenca del río Shullcas, políticamente se encuentra ubicada en el ámbito de los distritos de Huancayo, Chilca, Huancán y El Tambo, Provincia de Huancayo, Región Junín. Es uno de los afluentes del río Mantaro en su margen izquierda y delimitado entre las coordenadas geográficas 11° 52' 13" a 12° 07' 00" de Latitud Sur y entre los meridianos 75° 01' 57" a 75° 14' 37" de Longitud Oeste (Ver Figura 1).

Figura 1: Ubicación de la Sub cuenca del río Shullcas.



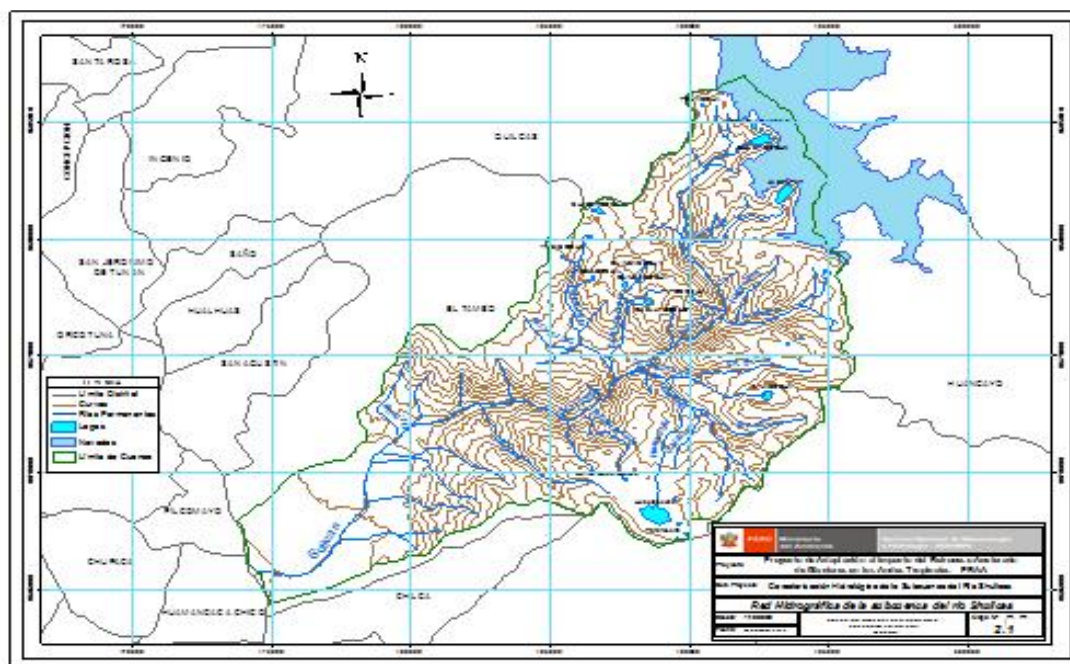
Fuente: (SUNASS 2014)

La subcuenca del río Shullcas, asociada al nevado Huaytapallana, se encuentra ubicada en la margen izquierda del río Mantaro, abarcando los distritos de Huancayo y El Tambo; incluyendo a los anexos de Uñas, Vilcacoto, Cullpa Alta, Cullpa Baja, Cochas Chico, Cochas Grande, Incho, Aza y Acopalca.

El río Shullcas es de régimen nivo-lacustre, es decir es alimentado por los desagües de las lagunas Chuspicocha y Lasuntay, y esta a su vez por la fusión del hielo glaciar del Nevado Huaytapallana, de allí que el caudal es permanente.

En la figura 3 se muestra la red hidrográfica del río Shullcas

Figura 3: Mapa de la red hidrográfica de la subcuenca del río Shullcas.



Fuente: SENAMHI 2011

Demanda de agua

La localidad de Huancayo se abastece de fuentes de agua superficial y subterránea. El río Shullcas representa la principal fuente de abastecimiento de agua para el consumo humano de la Ciudad. Su caudal promedio en épocas de avenida alcanza los 5 metros cúbicos por segundo y en estiaje su caudal baja hasta 1,5 metros cúbicos por segundo.

Dentro del ámbito geográfico de esta subcuenca del río Shullcas, se identifican 43 lagunas, todas emplazadas sobre los 4,000 m.s.n.m, de los cuales la mayor longitud son: Lasuntay con 33 hectáreas y Chuspicocha con 22,5 hectáreas aproximadamente.

El almacenamiento de las aguas se realiza en 10 lagunas, cuyas características son de origen glacial y pluvial, encontrándose dentro de las coordenadas UTM 8'668,000 al 8'687,000 norte y del 483,000 al 496,000, este en el flanco oeste de la Cordillera Oriental, que en total pueden almacenar hasta 5,8 millones de metros cúbicos. (MINAM 2015)

Diagnóstico situacional del centro de operaciones de SEDAM Huancayo

Según **(SUNASS 2014)** SEDAM HUANCAYO S.A. administra actualmente los sistemas de agua potable de las localidades de Huancayo, Viques-Huacrapuquio y Orcotuna; esta última pertenece a la provincia de Concepción. Cada sistema es independiente en abastecimiento de agua potable y recolección de desagües. En la Administración de Viques-Huacrapuquio no se administra el servicio de alcantarillado sanitario, el cual está a cargo de las municipalidades distritales de Viques y Huacrapuquio. El centro de operaciones se encuentra en la sede central de la empresa. Los sistemas de Viques y Orcotuna tienen su centro de operaciones en las estaciones de bombeo de agua.

Según **(SUNASS 2014)** los sistemas por tipo de servicio y por localidad se detallan a continuación:

1.1.3. SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE HUANCAYO

A. Fuentes de agua

La ciudad de Huancayo utiliza los recursos hídricos superficiales provenientes del río Shullcas, manantiales y los recursos hídricos subterráneos de la zona.

- **Fuente superficial:**

El río Shullcas representa la principal fuente de abastecimiento de agua para el consumo humano de la ciudad de Huancayo, su caudal promedio en épocas de avenida alcanza los 5 metros cúbicos y en estiaje su caudal disminuye hasta 1.5 metros cúbicos. Dentro de esta subcuenca del río Shullcas, se identifican 43 lagunas, todas emplazadas sobre los 4000 msnm; sin embargo, en época de sequía, la cuenca es regulada con 10 lagunas que pueden almacenar hasta 6.9

millones de metros cúbicos. El personal de SEDAM Huancayo S.A. realiza el control del almacenamiento, y el mantenimiento de los canales de conducción a las lagunas y el camino de acceso a la zona. En la figura 4 se muestra la laguna en Chuspicocha.

Figura 4: Laguna Chuspicocha



Laguna de Chuspicocha



Compuerta y canal de salida de laguna.

Fuente: (SUNASS 2014)

En la figura 5 se muestra la laguna Lasuntay, el cual se puede observar cómo se captura el agua para su tratamiento.

Figura 5: Laguna Lasuntay.



Laguna Lasuntay



Apertura de Válvulas Laguna Lasuntay

Fuente: (SUNASS 2014)

En la tabla N° 1: se muestra las características de las lagunas de almacenamiento que tiene la empresa SEDAM Huancayo S.A.

Tabla 1: Características de las lagunas de almacenamiento

FUENTES	FECHA DE CONSTRUCCION	UBICACIÓN	DATOS DE DISEÑO				
			TIPO DE DIQUE	ALTURA DE DIQUE (ml)	AREA PROMEDIO (m2)	VOLUMEN TOTAL POR ALMACENAR (m3)	
GLACIAL	LAZO HUNTAY	COTA 4 800 msnm	ARTEZANAL	5	108,000	540,000	
		Ubic. Nevado Huaytap.					
	CHUSPICOCHA	1 994-2005-2008		COTA 4 800 msnm	8	62,857	502,857
				Ubic. Nevado Huaytap.			
	CHICO CHUSPICOCHA	2005		COTA 4 870 msnm	1.5	18,342	27,513
				Ubic. Nevado Huaytap.			
DURAZNUYOC	2005-2009	COTA 4 950 msnm	4	143,373	573,492		
		Ubic. Nevado Huaytap.					
SUB TOTAL GLACIALES					332,572	1,643,862	
PLUVIALES	HUACRACOCHA	COTA 4 500 msnm	DEFINITIVA	6.34	717,629	4,549,768	
		Ubic. Anexo Acopalca.					
	YANACOCHA	2 002		COTA 4 580 msnm	5.65	118,000	666,700
				Ubic. Anexo Acopalca.			
	QUELLACOCHA	2 000		COTA 4 550 msnm	3	43,761	131,283
				Ubic. Anexo Acopalca.			
	QUIMSACOCHA	2 000		COTA 4 500 msnm	3	36,286	108,857
				Ubic. Anexo Acopalca.			
	PATOCOCHA	2005		COTA 4 580 msnm	1.39	41,000	56,990
Ubic. Anexo Acopalca.							
LLACSACOCHA	2005	COTA 4 450 msnm	1.75	62,000	108,500		
		Ubic. Anexo Acopalca.					
SUB TOTAL PLUVIALES					1,018,676	5,622,098	
TOTAL						7,265,960	

Fuente: (SUNASS 2014).

- **Fuente subterránea**

La empresa SEDAM S.A utiliza las aguas subterráneas de la cuenca del valle del río Shullcas, de las cuales extrae el recurso hídrico mediante pozos profundos adecuadamente equipados.

B. Captaciones de agua cruda

- **Captaciones superficiales**

La principal captación de agua superficial por parte de la empresa SEDAM Huancayo S.A corresponde a Chamiseria, de la cual se capta entre 350 a 500 litros por segundo, los que representa el 85 por ciento de las aguas superficiales. Esta estructura requiere ampliación y mejoramiento dado que no satisface las necesidades de EPS. En la figura 6 se muestra la captación del agua.

Figura 6: Captación de agua de Chamisería.



Captación Chamisería



Captación Chamisería

Fuente: SEDAM Huancayo

- **Captaciones subterráneas**

La ciudad de Huancayo cuenta actualmente con 14 pozos tubulares profundos y un manantial de media ladera (Aguas de las vírgenes) desde el cual alimenta la red de servicio, previa desinfección y bombeo.

La mayoría de los pozos están ubicados en el distrito de El Tambo y alimentan directamente a la red del servicio; debido a ello, la continuidad del servicio en la zona de El Tambo está relacionada con el sistema de bombeo de agua.

Planta de tratamiento de agua potable de Vilcacoto

La Planta de tratamiento de agua de Vilcacoto está ubicada en el anexo de Vilcacoto, del distrito de Huancayo, con un área de 7,902.73 metros cuadrados de material predominante de concreto armado. En el lugar existen 2 plantas de tratamiento: la antigua (I), de 60 años de antigüedad, y la planta nueva (II), operándose desde el año 2008. Así mismo, cuenta con un laboratorio donde se realizan trabajos de análisis físico, químico y microbiológico del agua, un almacén de insumos químicos, un sistema de dosificación de insumos químicos y servicios higiénicos. **(SUNASS 2014)**

Las aguas que se captan para su tratamiento en la planta de Vilcacoto, provienen del nevado del Huaytapallana, en el cual se originan las lagunas de Lasuntay, Chuspicocha, Chico Chuspi, Duraznoyoc, Carhuacocha y Cochagrande, Yanaucsha y otras de origen pluvial como el Huacracocha y Yanacocha que dan

paso a una vertiente que origina el río Shullcas de donde se capta el agua para su tratamiento.

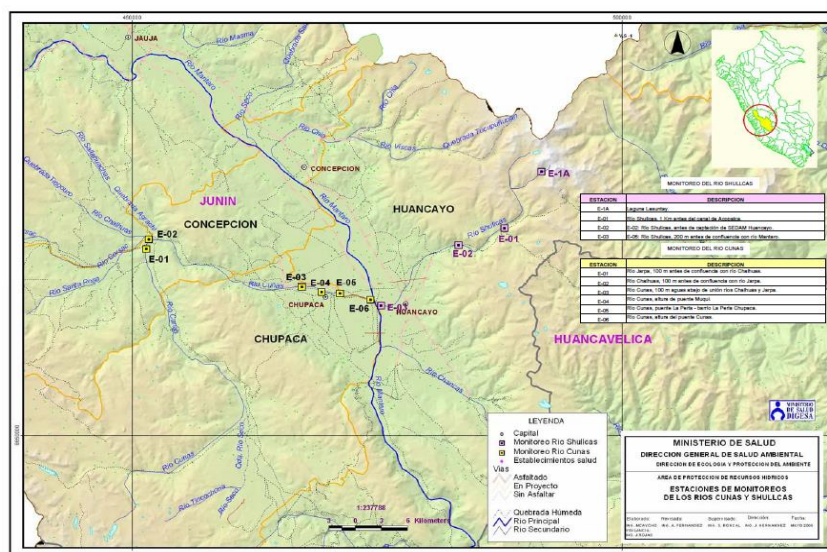
- **Planta de tratamiento de agua N°1 (planta antigua).**

La planta de tratamiento de agua N° 1 es del tipo convencional. En sus inicios (1950) tuvo una capacidad nominal de 110 litros por segundo, posteriormente fueron construidas 03 unidades de floculación verticales cuya capacidad de diseño es de 450 litros por segundo y en el año 1995 se construyeron 7 filtros rápidos de tasa declinante de autolavado mutuo. La planta ya cumplió su vida útil y debería reemplazarse. Actualmente sólo puede tratar entre 120 - 150 litros por segundo (según las condiciones de la calidad de agua captada).

- **Planta de tratamiento de agua N°2 (planta nueva)**

La planta nueva es de tecnología tipo CEPIS, y opera desde el mes de agosto del 2008, con una capacidad de diseño de 500 l/s y a la fecha trabaja óptimamente de 350 a 400 litros por segundo dependiendo de las características del agua captada. La planta requiere ser evaluada para alcanzar su capacidad nominal de diseño. (SUNASS 2014)

Figura 7: Ubicación de la cuenca del río Shullcas



Fuente: Ministerio de Salud DIGESA. 2008

Planta de Tratamiento de agua potable de Vilcacoto.

Según (**SUNASS 2014**) la Planta de tratamiento de agua potable de Vilcacoto, está ubicada en la localidad de Huancayo, compuesta a su vez por 2 plantas de tratamiento ubicadas en dicho lugar: la PTAP N° 1 (planta antigua), con una capacidad nominal de tratamiento de 120 – 150 litros por segundo; y la PTAP N° 2 (planta nueva), que opera desde el 2008 y con una capacidad de diseño de 500 litros por segundo. El balance de agua se puede observar en la tabla N° 2.

Tabla 2: Balance Oferta – Demanda en Tratamiento de Agua (litros por segundo).

Año	Huancayo		
	Oferta	Demanda	Balance* (+/-)
Año 0	680	754	-74
Año 1	680	706	-26
Año 2	680	656	+ 24
Año 3	680	555	+ 125
Año 4	680	494	+ 186
Año 5	680	453	+ 227

Fuente: (SUNASS 2014)

* (+) Refiere a excedente en la capacidad de producción y (-) refiere a déficit en la capacidad de producción.

Elaboración: SUNASS

En la figura 08 se muestra la Planta de tratamiento de agua potable de Vilcacoto que tiene una capacidad de procesamiento de 500 litros por segundo.

Figura 8: Planta de tratamiento de agua de Vilcacoto.



Fuente: (SUNASS 2014)

1.1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.4.1. Problema general

¿Cuál es la dosificación óptima del coagulante sulfato de aluminio tipo A en función a la turbidez del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo?

1.1.4.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A en el pH del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo?
- ¿Cuál es la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A en la conductividad del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo?
- ¿Cuál es la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A en los sólidos totales disueltos del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo?

- ¿Cuál es la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A en el color del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la dosificación óptima del coagulante sulfato de aluminio tipo A en función a la turbidez del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A en el pH del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo.
- Determinar la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A en la conductividad del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo.
- Determinar la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A en los sólidos totales disueltos del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo.
- Determinar la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A en el color del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo.

1.3. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN

Siendo el agua uno de los elementos más importantes para el logro de algunos indicadores de desarrollo como la nutrición, salud y educación es importante articular acciones para su mejor tratamiento; solucionando así los problemas de la población y sectores más pobres del país. Otro de los roles importantes es que cumple con la

competitividad del país y tiene como propósito la mejora de la calidad de vida de la población.

En el año 2004, la cobertura del Perú en agua potable y saneamiento fueron de 76 y 57 por ciento respectivamente; siendo este índice muy debajo del promedio de los países de América Latina que son 89 y 74 por ciento (**Marmanillo 2012**). Por otro lado, el sector todavía no ha asignado un costo al recurso hídrico, a pesar de reconocer que el agua tiene un valor social, económico y ambiental.

Según (**González, Martín y Figueroa 2000**) se han realizado muchos estudios en el tratamiento de agua potable para consumo humano, como por ejemplo en el Centro de Consulta del Agua (IMTA, México), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS – Perú) e Internacional Water and Sanitation Centre (IRC, Holanda), donde se han generado métodos de tratamiento de agua en base a la tecnología. Según los estudios, para el tratamiento de agua, esta debe de ser sometida a su potabilización, en el cual el agua no debe de contener contaminantes químicos o agentes químicos o agentes infecciosos que afecten a la salud humana. Las aguas subterráneas son originadas por infiltración de la lluvia hasta los acuíferos después de fluir a través del subsuelo. Durante la infiltración, el agua puede cargar muchas impurezas tales como partículas orgánicas e inorgánicas, detritus de plantas y animales, microorganismos, pesticidas, fertilizantes, etc. Por otro lado, las sales disueltas, causantes de problemas como dureza y salinidad, no se remueven e incluso, se pueden incrementar considerablemente por la disolución de minerales del subsuelo. Por tal motivo el agua puede contener una variedad de impurezas solubles e insolubles; entre estas últimas se destacan las partículas coloidales, las sustancias húmicas y los microorganismos en general; estas partículas son las encargadas de formar la turbiedad y el color. Para que estas sustancias puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación-floculación (**Barrenechea Martel 2006**). El proceso de coagulación-floculación consiste en que las partículas coloidales presentes en el agua se aglomeren formando pequeños gránulos con un peso específico superior al del agua llamados floc. La carga eléctrica de la superficie de las partículas coloidales es el factor que contribuye, en la mayor medida, a su estabilidad a largo plazo, ya que las partículas que tendrán tendencia a formar aglomerados son repelidas mutuamente por sus cargas eléctricas (**Steel y Terence 1991**); en la coagulación ocurre la desestabilización de estas partículas suspendidas, o sea la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas, mientras que en el proceso de floculación ocurre el transporte de ellas dentro del líquido para que las partículas, ya

desestabilizadas, choquen unas con otras para formar coágulos mayores; de esta forma las partículas sedimentan y ocurre la remoción de los materiales en suspensión, lo que permite que el agua alcance las características físicas y organolépticas idóneas para ser llamada potable (Arboleda Valencia 2000). El principal objetivo de la potabilización del agua, es la protección de la salud pública, eliminando o reduciendo a una concentración mínima los componentes peligrosos y demás contaminantes del agua. Las plantas potabilizadoras de agua deben garantizar su calidad para que esta pueda ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a su salud.

1.4. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.4.1. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La dosificación óptima del coagulante sulfato de aluminio tipo A es eficiente en función a la turbidez del agua en la planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo.

1.4.2. HIPÓTESIS SECUNDARIAS

- La dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A influye de manera directa en el pH del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo.
- La dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A influye de manera directa en la conductividad del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo.
- La dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A influye de manera directa en los sólidos totales disueltos del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo.
- La dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A influye de manera directa en el color del agua en la planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo.

1.5. SISTEMA DE VARIABLES

1.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Dosificación óptima del coagulante Sulfato de aluminio

Indicador: Partes por millón de Sulfato de Aluminio (ppm)

1.5.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

Variable	Indicador
Turbidez	Unidades nefelométricas de turbidez (NTU)
Ph	El opuesto del logaritmo en base 10 o el logaritmo negativo, de la actividad de los iones hidrógeno.
Color	Unidades de color verdadero (UCV)
Conductividad	Micro Siemens por cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Total de sólidos disueltos	mg/L

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

(Miguel y Flórez 2010) En este artículo se realizó un estudio del proceso de clarificación en sistemas de tratamiento de aguas industriales usando un coagulante inorgánico polimerizado (hidroxicloruro de aluminio). Inicialmente, se establecen los elementos conceptuales más importantes de las etapas del proceso de clarificación (coagulación, floculación y sedimentación). Luego, se señalan los principales coagulantes convencionales utilizados en el tratamiento de aguas y se abordan los policloruros de aluminio (PAC's) como integrantes de una nueva generación de coagulantes alternativos cuyo uso se ha incrementado en las últimas décadas dado su mejor desempeño respecto a los coagulantes convencionales; se especifican los aspectos técnicos y operativos que se deben considerar al momento de implementar un proceso de clarificación de aguas usando un PAC como coagulante. Finalmente, se presentan datos comparativos de condiciones operacionales reales de un proceso de clarificación de aguas, producto de un trabajo previo, donde se reemplazó un coagulante convencional (sulfato de aluminio) por hidroxicloruro de aluminio, donde se corrobora el mejor desempeño del proceso luego del reemplazo.

Con participación de **(López López et al. 2008)** se realizó un estudio comparativo a nivel de laboratorio entre un proceso fisicoquímico y uno biológico para el tratamiento de agua residual de matadero (rastros) municipal. Para el proceso fisicoquímico de coagulación-floculación se utilizó sulfato de aluminio como coagulante y un polímero aniónico como auxiliar de la floculación. La mayor eficiencia de remoción alcanzada de demanda química de oxígeno (DQO) fue del 94% con una dosis de 250mg·l⁻¹ de sulfato de

aluminio y una dosis de polímero de $5\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ a un $\text{pH}=4$. Por otro lado, el proceso biológico se desarrolló en un sistema anaerobio/aerobio (An/Ar) secuencial, compuesto por un filtro anaerobio (FA) y un reactor aerobio por lotes (SBR). El FA operó con cargas orgánicas (CO) en un intervalo $3,7\text{-}16,5\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$, las eficiencias de remoción de DQO variaron entre 50 y 81% y fueron inversamente proporcionales al valor de la CO. La degradación de la materia orgánica (MO) en el SBR mostró una cinética de pseudo primer orden con respecto a la concentración de MO. La remoción de la DQO por el proceso biológico (FA+SBR) fue del 97% para un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 20h para el FA y de 9h de aireación para el SBR.

Según **(Vargas Camareno y Romero Esquivel 2006)** el proceso de tratamiento de aguas tanto potables como residuales se basa en un tratamiento químico inicial a base de coagulantes y floculantes para remover la mayoría de contaminantes. Estas sustancias químicas utilizadas son, principalmente, sulfato de aluminio y otros polímeros industriales importados de países desarrollados. Por otra parte, el país cuenta con residuos industriales y otros productos naturales que poseen cualidades similares a los productos importados utilizados actualmente en el país. El Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), a través del Centro de Investigación en Protección Ambiental, pretende encontrar materiales alternativos y de bajo costo para utilizarlos como coagulantes y floculantes.

Según **(Morante 2002)** el fundamento de la operación coagulación – floculación radica en que las partículas que se hallan en suspensión en el agua tienen un carácter eléctrico que las hace recolectora de iones de carga opuesta, formando agregados más grandes llamados “flocs”, los cuales por su mayor peso sedimentarán por gravedad. Los iones necesarios para la coagulación en un proceso químico son aportados por compuestos como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico, que entran en disociación en solución, provocando el efecto deseado de la coalescencia de las partículas. Por otra parte en un proceso electroquímico, los iones son aportados por el metal de los electrodos entre los cuales se aplica una diferencia de potencial, ocasionando un reacomodamiento de cargas lo que provoca la unión y/o aglomeración de partículas para su posterior sedimentación. Las partículas suspendidas en el agua presentan un grado elevado de estabilidad debido a su carga, que generalmente es negativa; lo que se consigue con la electrocoagulación es, por medio de una corriente eléctrica, generar una buena cantidad de iones de carga contraria (positiva) que producen la neutralización (desestabilización) de esas partículas; la materia desestabilizada se agrega para formar partículas de mayor peso, lo que hace más fácil su eliminación por cualquier método de separación, como por ejemplo la filtración.

2.2. BASES TEÓRICAS

En el presente trabajo de Investigación se han utilizado los conceptos claves que son los elementos necesarios que ayudarán en el fundamento teórico para la formulación del modelo.

2.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

La Planta de Tratamiento de agua potable de la empresa SEDAM HUANCAYO, es de tipo hidráulico convencional con filtración rápida, ubicada en la cota promedio de 3425 msnm. El sistema de tratamiento ha sido dimensionado para un caudal de 500 L/s. Como primera etapa se ha proyectado exclusivamente la planta con sus principales procesos: mezcla rápida, floculación, decantación y filtración.

Las infraestructuras que comprenden el sistema de Tratamiento "PLANTA NUEVA-VILCACOTO" son las siguientes:

- Captación
- Canal de conducción
- Canal de mezcla rápida
- Floculador
- Canal de distribución de agua floculada a los decantadores
- Decantadores de placas
 - Canales de distribución de agua floculada
 - Zona de decantación de placas
 - Sistema de recolección de agua decantada
 - Sistema de almacenamiento y extracción hidráulica de lodos
- Batería de filtros rápidos de tasa declinante y lavado mutuo
- Cámara de contacto de cloro

2.2.2. 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 (**Arboleda Valencia 2000**).

- **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 **(Romero Rojas 2002)**.

- **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 ion 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. La 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. **(Romero Rojas 2002)**

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. **(Romero Rojas 2002)**

- **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, magnesio, hierro, 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. **(Romero Rojas 2002)**

- **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 **(Arboleda Valencia 2000)**.

- **La conductividad**

El agua pura se comporta como aislante eléctrico; siendo, las sustancias en ella disueltas, las que proporcionan al agua la capacidad de conducir la corriente eléctrica. Se determina mediante electrometría con un electrodo conductimétrico,

expresándose el resultado en microsiemens cm⁻¹ ($\mu\text{S cm}^{-1}$). Es una medida indirecta de la cantidad de sólidos disueltos estando relacionados ambos mediante la expresión empírica. **(Aznar Jiménez, Antonio Alonso Barba 2000)**

- **Sólidos**

El agua puede contener tanto partículas en suspensión como compuestos solubilizados, definiéndose la suma de ambos como Sólidos Totales (ST). La determinación de ST se realiza evaporando un volumen conocido de muestra y secando el residuo en estufa a 105 °C hasta pesada constante; indicándose el resultado en mg/L. Esta medida nos permite conocer el contenido total de sustancias no volátiles presentes en el agua; además del contenido en sólidos totales, conviene conocer que parte de estos sólidos se encuentra disuelta (SD) y que otra es sedimentable (Ss). **(Aznar Jiménez, Antonio Alonso Barba 2000)**

Los Ss se determinan por decantación a partir de un volumen de muestra de un litro dejado en reposo en un recipiente cónico (cono Imhoff) durante una hora, expresándose el volumen sedimentado en el fondo del cono en mg/L. Los Ss nos dan una idea de la cantidad de lodos que se producirán en la decantación primaria. Los sólidos disueltos se determinan gravimétricamente mediante filtración a vacío o presión, con filtros de fibra de vidrio de borosilicato de diámetro de poro de 0,45 μm , de un volumen conocido de agua bruta, denominándose Sólidos en Suspensión (SS) el residuo seco retenido en los mismos expresado como mg/L. Al residuo del filtrado secado a 105 °C se le denomina Sólidos disueltos (SD). **(Aznar Jiménez, Antonio Alonso Barba 2000).**

- **Tratamientos para la potabilización del agua**

Para lograr la potabilización del 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 **(Rodríguez Muñoz, Garcia Roque y Muñoz Martínez 2002).**

2.2.3. COAGULACIÓN

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

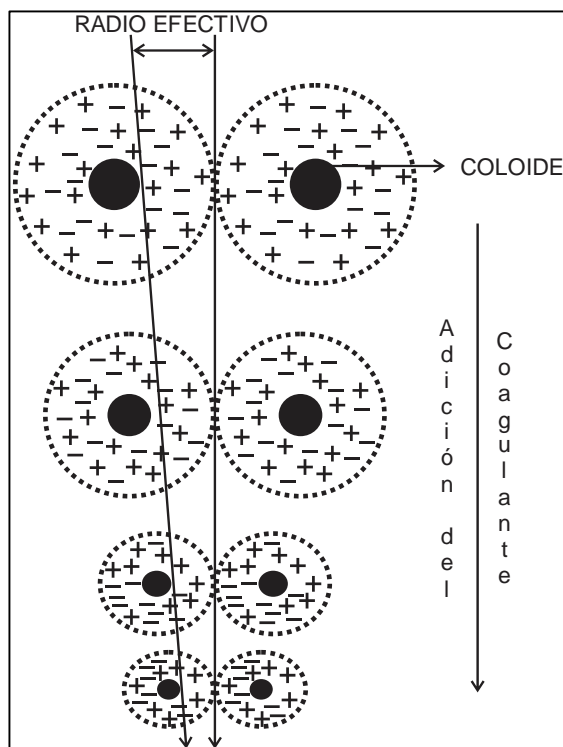
En la figura 9. se muestra cómo las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas de la superficie del coloide permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

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

Según **(Andía Cárdenas 2000)** el proceso de coagulación mal realizado puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua, y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto, se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada. Los Coloides son suspensiones estables, por lo que es imposible su sedimentación natural, son sustancias responsables de la turbiedad y del color del agua.

Los sistemas coloidales presentan una superficie de contacto inmensa entre la fase sólida y la fase líquida, por ejemplo 1 cubo de un centímetro cubico, tiene una superficie total de seis centímetros cuadrados; si está dividido en pequeños cubos elementales, la superficie total de todos aquellos es mucho más grande.

Figura 9: Anulación de cargas eléctricas en la superficie del coloide.



Fuente: (Andía Cárdenas 2000)

Según (Lorenzo Acosta 2006) las 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. MECANISMO DE LA COAGULACIÓN

Según (Andía Cárdenas 2000) el mecanismo de coagulación se puede obtener por procedimientos fisicoquímicos siguientes:

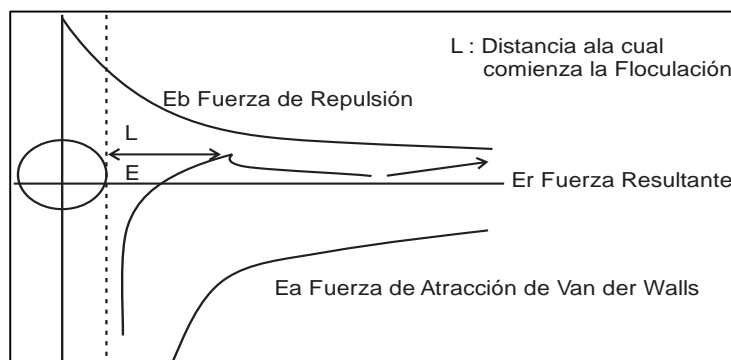
- Compresión de la doble capa.
- Adsorción y neutralización de cargas.
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- Adsorción y puente.

A. Compresión de la Doble Capa

Como indican los investigadores, se define cuando se aproximan dos partículas semejantes y sus capas difusas interactúan generando una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se consigue sólo con los iones del coagulante.

Por otro lado, existe un potencial de atracción o fuerzas de atracción E_a , entre las partículas llamadas fuerzas de Van der Waals (Ver figura 10), que dependen de los átomos que constituyen las partículas y de la densidad de estos últimos. Contrariamente a las fuerzas de repulsión, las fuerzas de Van der Waals no son afectados por las características de la solución.

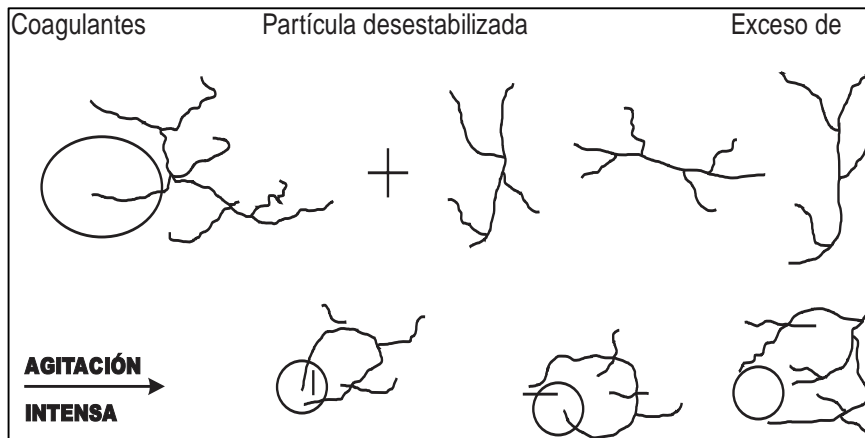
Figura 10: Fuerzas de Van der Waals.



Fuente: (Andía Cárdenas 2000)

Si la distancia que separa a las partículas es superior a "L", entonces las partículas, no se atraen. "E" es la energía que los mantiene separados.

Figura 11: Reestabilización de la carga de partículas.



Fuente: (Andía Cárdenas 2000)

B. Absorción y Neutralización de Cargas

Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide.

Después de la teoría de la doble capa, la coagulación es considerada como la anulación del potencial obtenido por adición de productos de coagulación - floculación, en la que la fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es suficiente, requiriéndose una energía complementaria necesaria; por ejemplo realizar la agitación mecánica o hidráulica.

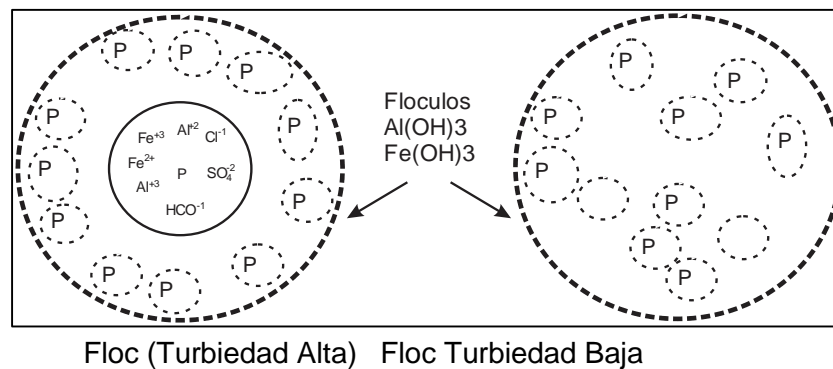
Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce la reestabilización de la carga de la partícula, esto se puede explicar debido a que el exceso de coagulantes es absorbido en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original.

C. Atrapamiento de partículas dentro de un precipitado

Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un floc, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, generalmente sales

de metales trivalente como el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, o Cloruro Férrico $FeCl_3$, el floc está formado de moléculas de $Al(OH)_3$ o de $Fe(OH)_3$. La presencia de ciertos aniones y partículas coloidales acelera la formación del precipitado. Estas partículas coloidales forman los anillos durante el proceso de formación del floc; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerido. En términos generales se puede afirmar que una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante. En la figura N° 12 se muestra el proceso de atrapamiento de partículas dentro de un floc.

Figura 12: Atrapamiento de las Partículas en un Floc.



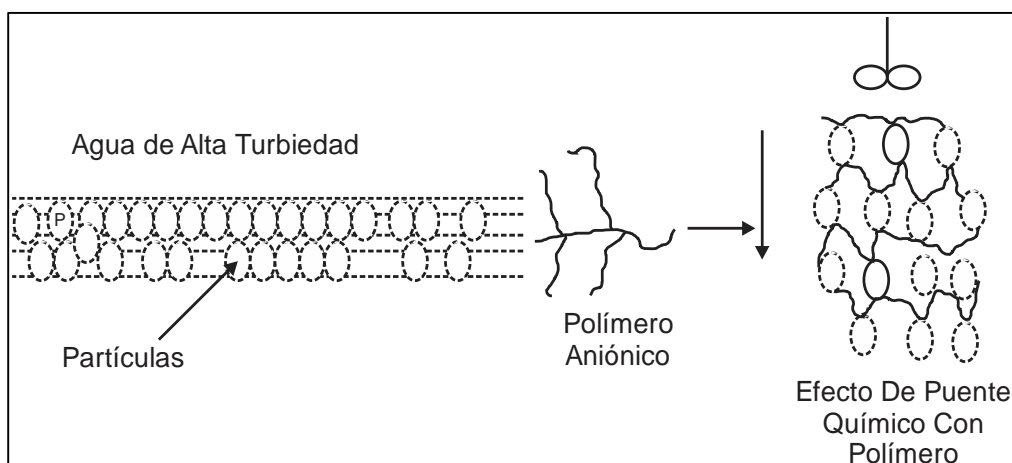
Fuente: (Andía Cárdenas 2000).

D. Adsorción y puente

Una de las formas de ahorrar costos en el tratamiento de agua, es utilizando un polímero aniónico, cuando las partículas están cargadas negativamente. Este fenómeno es explicado por la **Teoría del Puente**, en el cual las moléculas de los polímeros muy largos contienen grupos químicos que podrían absorber las partículas coloidales. Sin embargo, la molécula del polímero puede absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros lugares son libres para poder absorber otras partículas.

Por eso se dice que las moléculas de los polímeros forman el **puente** entre las partículas de los coloidales, esto podría ocasionar una reestabilización de la suspensión, por una excesiva carga en los polímeros. (ver figura 13)

Figura 13: Efecto de puente de las partículas en suspensión.



Fuente: (Andía Cárdenas 2000)

E. Coagulantes utilizados

Los coagulantes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los elementos químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso muy absorbente; constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando.

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son:

- Sulfato de Aluminio.
- Aluminato de Sodio.
- Cloruro de Aluminio.
- Cloruro Férrico.
- Sulfato Férrico.
- Sulfato Ferroso.
- Polielectrolitos (Como ayudantes de floculación).

Siendo los más utilizados las sales de Aluminio y de Hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales

reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados.

2.2.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN

Según (Andía Cárdenas 2000) los factores que influyen en el proceso de coagulación con la finalidad de optimizar son:

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

La interrelación entre cada uno de ellos permite predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes que se debe de adicionar al agua.

- **Influencia del pH.**

El *pH* es una medida de la actividad del ion hidrógeno en una solución, y se expresa matemáticamente mediante la siguiente relación:

$$pH = -\log\{H_3O^+\}$$

El *pH* es la variable más importante que se debe considerar en el momento de la coagulación, porque para cada tipo de agua existe un rango de *pH* óptimo; en el cual, la coagulación tiene lugar rápidamente; ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua.

El rango de *pH* está en función al tipo de coagulante que es utilizado y a la naturaleza del agua que se quiera tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de *pH* óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dosis requerida es alta.

Por ejemplo, para sales de aluminio el rango de *pH* para la coagulación es de 6,5 a 8,0 y para las sales de hierro, el rango de *pH* óptimo es de 5,5 a 8,5 unidades.

- **Influencia de las sales disueltas**

Las sales contenidas en el agua ejercen influencias sobre la coagulación y floculación:

- Modificación del rango de *pH* óptimo.
- Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.
- Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

- **Influencia de la temperatura del agua**

La variación de un grado centígrado de temperatura en el agua genera variaciones en su densidad; si fueran diferentes grados de temperatura afectaría a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que, la coagulación se hace más lenta a temperaturas elevadas. Sin embargo, la disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

- **Influencia de la dosis del coagulante**

La cantidad de coagulante a utilizar influye directamente en la eficiencia de la coagulación, así:

- La poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, generando escasa formación de los microflóculos; por lo tanto, la turbiedad residual es elevada.

- La alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduciendo a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños; cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas; por lo tanto, la turbiedad residual es elevada.
- La selección del coagulante y la cantidad óptima de su aplicación; se determina mediante los ensayos de Pruebas de jarra.
- La selección del coagulante y la dosis juegan un rol muy importante sobre:
 - La buena o mala calidad del agua clarificada.
 - El buen o mal funcionamiento de los decantadores.

- **Influencia de mezcla**

El grado de agitación que se realiza en la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; la formación de turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y en la otra parte tenga poco o casi nada; por lo que, la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar la mezcla correcta entre el agua y el coagulante y que se haya producido la reacción química de neutralización de las cargas correspondiente.

En el transcurso de la coagulación y floculación, se produce mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa; la mezcla es enérgica y de corta duración (60 segundos como máximo) llamado mezcla rápida. Esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y, en la segunda etapa; la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microfloculos.

La mezcla rápida se efectúa por la inyección de productos químicos dentro de la zona de turbulencia fuerte, si se produjera una inadecuada mezcla rápida, esto conllevaría a un incremento de productos químicos.

Tipos de mezcla

Los tipos de mezclas que se podrían generar se describen a continuación:

- **Mezcladores mecánicos:** En este tipo de mezcladores mecánicos se tiene a los retromezcladores más conocidos como los agitadores.
- **Mezcladores hidráulicos:** En este tipo de mezcladores se tiene los de Resalto hidráulico entre ellos tenemos: Canaleta Parshall y Vertedero rectangular.
- **En línea:** Los mezcladores de línea son los difusores que son las tuberías y canales; así mismo, se tienen los inyectores, etc.

- **Influencia de la turbiedad**

La turbiedad es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido. Esta mide el efecto de la dispersión de las partículas que se presentan al paso de la luz y está en función del número, tamaño y forma de partículas.

La turbiedad del agua superficial, se debe en gran parte a las partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0,2 a 5 micrómetros. La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo. Esta variación de la concentración de las partículas permite hacer las siguientes predicciones:

- Si para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, esta corresponde a la dosis óptima.
- Si la turbiedad aumenta, se debe adicionar una cierta cantidad de coagulante debido a la probabilidad de colisión entre las partículas que es muy elevada; por lo que, facilita la coagulación con mayor rapidez. Muy por lo contrario, cuando la turbiedad es baja, la coagulación se realiza muy lenta; por lo que, la cantidad del coagulante debe ser igual o mayor que cuando la turbiedad es alta.
- Cuando la turbidez es muy alta, conviene realizar una pre sedimentación natural o forzada; en este caso se emplea un polímero

aniónico. (Por ejemplo, en la Planta de la Atarjea, se realiza un tratamiento con polímero aniónico en época de alta turbiedad).

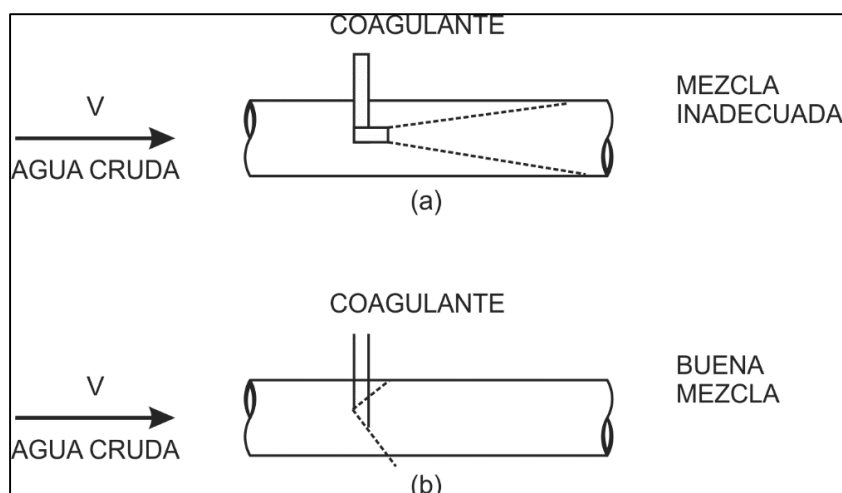
- Es siempre más fácil coagular aguas que tienen baja turbiedad, que aquellas que estén contaminadas por desagües domésticos industriales, porque requieren mayor cantidad de coagulante que los no contaminados.

2.2.6. CONDICIONES PARA UNA BUENA REACCIÓN DEL COAGULANTE

Según **(Andía Cárdenas 2000)** se considera una reacción adecuada entre el coagulante y el agua cuando se cumple las siguientes condiciones:

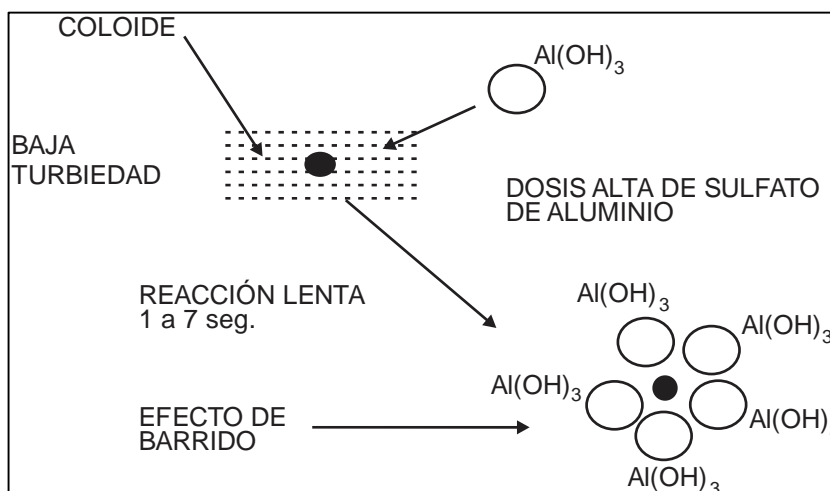
- a) La dosis del coagulante que se adicione al agua debe ser en forma constante y uniforme en la unidad de mezcla rápida; de tal manera que, el coagulante sea completamente dispersado y mezclado con el agua.
- b) El sistema de dosificación debe proporcionar un caudal constante y fácilmente regulable, tal como se muestra en la figura 14, en el que las condiciones de mezcla del coagulante con el agua caen en su totalidad a la masa de agua. Esta condición se obtiene por medio de los equipos de dosificación, tanto para los coagulantes en el estado sólido como en el estado líquido, los que deben de encontrarse calibrados y comprobados por medio de las pruebas de aforamiento.

Figura 14: Condiciones de Mezcla



Fuente: **(Andía Cárdenas 2000)**

Figura 16: Coagulación por Barrido



Fuente: (Andía Cárdenas 2000)

Tabla 3: Clasificación del Agua Según su Comportamiento en la coagulación.

Tipo de agua	Tipo de coagulación	Requerimiento
1. Baja concentración de cobijos, baja alcalinidad.	* Formación de precipitado. * Floc de barrido.	* Alta dosis de coagulantes. * Adición de alcalinidad o partículas, o ambas.
2. Baja concentración de coloides, alta alcalinidad.	* Formación de precipitado. * Floc de barrido.	* Alta dosis de coagulantes. * Adición de partículas.
3. Alta concentración de coloides, baja alcalinidad.	* Adsorción de polímeros metálicos positivos, en la superficie de los coloides. (a pH 4)	* Dosis de coagulantes incrementa con concentración, de partículas, adición de alcalinidad.
4. Alta concentración de coloides, alta alcalinidad.	* Adsorción de polímeros metálicos positivos y precipitaciones de hidróxidos (pH >7).	* Dosis de coagulante incrementa con concentración de partículas.

Fuente: (Andía Cárdenas 2000).

- **Remoción de turbiedad**

La aplicación de una dosis creciente del coagulante al agua presenta diferentes zonas de coagulación, como se puede observar en la figura 20, donde cada una de las zonas está definida:

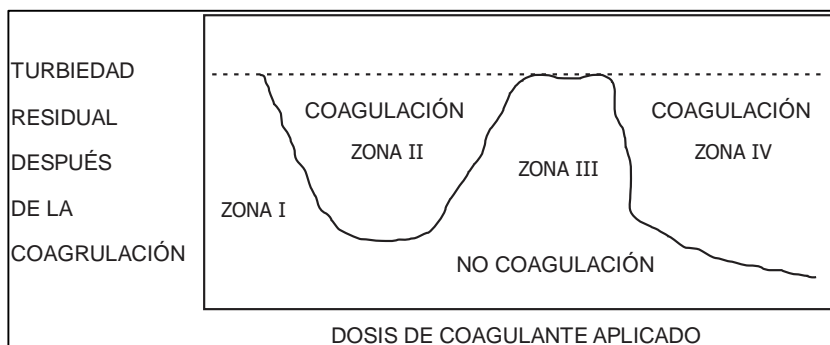
Zona 1.- La dosis de coagulante no es suficiente para desestabilizar las partículas y por lo tanto no se produce coagulación.

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

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

Zona 4.- Al aumentar aún más la dosis, hasta producir una supersaturación se produce de nuevo una rápida precipitación de los coagulantes que hace un efecto de barrido, arrastrando en su descenso las partículas que conforman la turbiedad. En la figura 17 se puede mostrar desde la zona I hasta la zona IV.

Figura 17: Diagrama de Remoción de Turbiedad



Fuente: (Andía Cárdenas 2000)

2.2.7. APLICACIÓN PRÁCTICA DE LOS COAGULANTES

A. Requisitos principales:

La aplicación de los coagulantes desde el punto de vista práctico en la operación de una planta de tratamiento de agua potable requiere tener en consideración los siguientes aspectos:

- Verificación del caudal de tratamiento.
- La dosificación de los productos químicos.
- El manejo de los equipos / aparatos de medida y los medios de medición.

B. Verificación del caudal de tratamiento

Para la verificación se debe de considerar dos aspectos fundamentales:

- Calibración del equipo de medición (caudalímetro; correntómetros; etc.)
- Ajuste de las curvas de calibración para el punto de medición y verificación de las curvas de medición para cada condición de flujo. (Andía Cárdenas 2000)

2.2.8. DOSIFICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS

A. Estados de presentación productos químicos

Productos Químicos Sólidos.- Deben ser utilizados después de haber sido puestos en solución y pueden ser aplicados de la siguiente manera:

- En continuo: la dosis es calibrada por medio de un dosificador en seco del tipo volumétrico, la disolución se debe realizar dentro de un tanque de nivel constante provisto de un agitador (aplicación de Sulfato de Aluminio Granular).
- Por lotes o Batch: el operador prepara puntualmente una solución o una suspensión de cierta cantidad de producto y luego realiza la dosificación
- Productos líquidos: son utilizados puros o diluidos por medio de equipos de bombeo o por sistemas de gravedad aplicación de Sulfato de Aluminio.

B. Aplicación de productos químicos

La aplicación de productos químicos en la planta requiere de las siguientes precauciones fundamentales:

- En la concentración de las soluciones, se deben tener en cuenta los límites de solubilidad y la naturaleza del agua de dilución. No realizar diluciones sin control; porque, podrían producirse hidrólisis antes de la aplicación, generando dificultad en la determinación del consumo real de los productos químicos.
- La dispersión, se debe realizar a través de un sistema de dispersión para evitar la formación de los aglomerados que son difíciles de disolverse.
- Debe haber la agitación necesaria, para conseguir la mezcla completa de los productos químicos. En el caso de los polielectrolitos es recomendable agitar 30 minutos más después de haber sido preparado; siendo éste, un requisito para el desarrollo completo de la cadena polimérica.

C. Medida de la concentración de una solución o suspensión

La utilización de un densímetro y el análisis de la curva correspondiente entre la densidad y la concentración de la solución estimada, nos permite conocer la concentración real en el momento de la medición. Por ejemplo, en cada recepción del Sulfato de Aluminio (solución) se mide la densidad de la solución.

D. Medida de caudal inyectado

Uno de los elementos importantes es la medición del caudal que se inyecta para el tratamiento de agua, donde se debe tener en consideración los siguientes aspectos:

- Si la aplicación del coagulante es por gravedad; la variación de la altura en el tanque de almacenamiento; así como, las pruebas de aforamiento, permiten conocer rápidamente el caudal del producto químico aplicado.
- Si la aplicación es realizada por medio del sistema de bombeo, se debe verificar las curvas de calibración de las bombas; verificando las condiciones

de concentración, viscosidad, presión para los cuales se pueden utilizar y deben ser verificados por las pruebas de aforamiento.

Los dispositivos de medición que permitieron realizar un mejor control de la dosificación son:

- Un rotámetro, que se utilizó para medir el volumen de agua de dilución.
- Un cronómetro y un recipiente graduado, que se utilizaron en las pruebas de aforamiento. La medida se realizó en la descarga inmediata de la bomba o en el punto de aplicación.

E. Distribución del coagulante en la unidad de mezcla rápida

La distribución de la solución debe ser uniforme en la mezcla del agua, al mismo tiempo, debe recibir igual cantidad del coagulante. (Andía Cárdenas 2000)

2.2.9. CALIDAD DE AGUA

A. Calidad física y química

La calidad física y química del agua está determinada por los parámetros físicos y químicos que están directamente relacionados con la naturaleza de la fuente de abastecimiento.

- **Características físicas:**

Las características físicas del agua que se debe de tener en consideración para evaluar la calidad del agua son:

- Color
- Sabor
- Olor
- Temperatura
- Turbiedad
- Conductividad
- Sólidos disueltos totales
- pH.

- **Características químicas:**

Las características químicas que se debe de evaluar al momento de medir la calidad del agua son:

- Alcalinidad
- Dureza
- Dureza total
- Dureza Cálcica
- Dureza Magnésica
- Sulfatos
- Nitratos
- Cloruros
- Metales

La calidad del agua es determinada por límites permisibles que según los estándares de calidad se pueden analizar con los parámetros físicos y químicos como se indica en la tabla 4.

Tabla 4: Límites máximos permisibles para el tratamiento de agua

Parámetros	Unidad	Límites máximos permisibles (*)	Fuente
Turbiedad	UNT	5	(1)
Ph	Unidad	6,5-8,5	(1)
Conductividad - 25°C	uS/cm	1500	(1)
Color-Platino/Cobalto	UCV	20	(1)
Total de solidos disueltos (TDS)	mg/L (ppm)	500	(2)

(*) Límite máximo permisible

Fuente: (SUNASS 2000)

B. Características microbiológicas y parasitológicas

SEDAM Huancayo en sus plantas de tratamiento de aguas crudas superficiales está regida bajo los parámetros de la clase II, que según la Ley General de Aguas son las indicadas para el consumo doméstico que pueden ser obtenidos por tratamientos combinados de mezcla, coagulación, sedimentación, filtración y cloración; los cuales son aprobados por el Ministerio de Salud.

Según la clasificación que indica en Ministerio de Salud; se considera con riesgo para la salud a los microorganismos patógenos que pueden estar presentes en aguas superficiales y cuyo consumo hídrico puede causar enfermedades; las cuales se podrán unir en los siguientes grupos: (ver tabla 5). **(Andía Cárdenas 2000)**

Tabla 5: Microorganismos patógenos

Bacterias	Escherichiacoli, salmonella y otros.
Virus	Enterovirus, rotavirus, adenovirus.
Protozoos	Giardia, cryptosporidium, entamoebahistolytica, balantidium.
Helmintos	Ascaris, trichuris, tenia.
Cianobacterias	Anabaena, microcystis.

Fuente: (DIGESA 2011)

Lo recomendable es que el agua que va a beber no contenga ningún microorganismo de este tipo para evitar la transmisión de enfermedades.

Indicadores microbiológicos de la calidad del agua

SEDAM Huancayo S.A, realiza análisis de Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes y Bacterias Heterotróficas en cada una de sus plantas de tratamiento de agua.

Estos análisis son útiles para evaluar la probabilidad de la existencia de agentes patógenos en el agua; su detección debe ser a bajo costo, de fácil análisis y, cuyos resultados se deben obtener en corto tiempo.

- **Grupo Coliforme**

En este grupo se tiene los siguientes géneros: Klebsiella, Escherichia, Entobacter, Citrobacter, Serratía.

- **Coliformes Termotolerantes (Fecales)**

En este grupo se tiene los coliformes termotolerantes que crecen a una temperatura de incubación de 44,5°C, esta temperatura inhibe el crecimiento de los coliformes no tolerantes.

- **Escherichia Coli**

Este principal indicador bacteriano presente en el agua, según estudios realizados han demostrado que Escherichia Coli está presente en las heces de los humanos y los animales de sangre caliente entre 10⁸ y 10⁹ unidades por cada gramo de heces.

2.2.10. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA POTABLE

Según **(Andía Cárdenas 2000)** son todos los elementos presentes en el agua; cuyo contenido se considera potencialmente bueno para la salud y que su consumo pueda ser adecuado al ser humano. Esta agua de consumo humano debe cumplir con las disposiciones legales nacionales; en caso de no existir normas, se consideran los parámetros de las normas internacionales. Los principales parámetros de calidad de agua y los Límites Máximos Permisibles (LMP) referenciales para el agua potable, se muestran en la tabla 6.

Tabla 6: Límites Máximos Permisibles Referenciales de los Parámetros de Calidad del Agua (SUNASS – 2000)

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP	OBS
Coliformes totales	UFC/100 MI	Ausencia	(1)
Conformes	UFC/100mL	Ausencia	(1)
Bacterias heterotróficas	UFC/ml	500	(1)
Turbiedad	UNT	5	(1)
Ph	Unidad	6,5-8,5	(1)
Conductividad - 25°C	uS/cm	1500	(3)
Color-Platino/Cobalto	UCV	20	(2)
Cloruros, Cl ⁻	mg/L	250	(2)
Sulfatos, SO ₄ ²⁻	mg/L	250	(2)
Sólidos totales	mg/L	1000	(3)
Dureza, CaCO ₃	mg/L	500	(3)
Nitratos, NO ₃	mg/L	50	(1)
Hierro (Fe)	mg/L	0,3 (0,5 total con Mn)	(2)
Manganeso (Mn)	mg/L	0,2 (0,5 total con Fe)	(2)
Aluminio (Al)	mg/L	0,2	(*)
Cobre (Cu)	mg/L	3,0	(2)
Plomo (Pb) (*)	mg/L	0,1	(2)
Cadmio (cd) (*)	mg/L	0,003	(*)
Arsénico (As) (*)	mg/L	0,1	(2)
Mercurio (Hg) (*)	mg/L	0,001	(*)
Cromo (Cr) (*)	mg/L	0,05	(1)
Fluor (F)	mg/L	2,0	(2)
Selenio (Se)	mg/L	0,05	(2)

Fuente: (SUNASS 2000)

Los parámetros que se consignan en la tabla, son los que se ha adaptado SUNASS según el oficio circular N° 677-2000/SUNASS-INF.

Nota:

(1) Valores recomendados por Organización Mundial de la Salud (1995).

(2) Valores de la norma nacional "Reglamento de requisitos oficiales físicos, químicos y bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas Potables" que fue aprobado por Resolución Suprema del 17 de diciembre de 1946.

(3) En el caso de parámetros de conductividad y dureza, considerando que son parámetros que afectan solamente la calidad estética del agua, tomar como

referencia los valores indicados, propuestos para la actualización de la norma de calidad de agua para consumo humano especialmente para aguas subterráneas.

(*) *Compuestos tóxicos.*

Los parámetros establecidos en la tabla N° 6, son los que fueron adoptados por SUNASS el año 2000 según el oficio circular N° 677 – 2000/ SUNASS – INF. Ello, por la carencia de los parámetros de control; ya que la data vigente del año 1946 no considera parámetros como: turbiedad, coliformes, pH, aluminio, nitratos, cadmio, mercurio, cromo, entre otros; para los cuales se ha tomado los valores guía que recomienda la Organización Mundial de la Salud, OMS.

Tabla 7: Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica DIGESA.

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. Amoníaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeso	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

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

Fuente: (DIGESA 2011)

Los parámetros establecidos en la tabla N° 7, son los que fueron adoptados por el Ministerio de Salud – Dirección General de Salud Ambiental según DS N° 031-2010-SA.

2.2.11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

- **Correlación de Pearson**

La cuantificación de la fuerza de la relación lineal entre dos variables cuantitativas, se estudia por medio del cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (1-3). Dicho coeficiente oscila entre -1 y $+1$. Un valor de -1 indica una relación lineal o línea recta positiva perfecta. Una correlación próxima a cero indica que no hay relación lineal entre las dos variables (**Fernández y Díaz 1997**).

El realizar la representación gráfica de los datos para demostrar la relación entre el valor del coeficiente de correlación y la forma de la gráfica es fundamental ya que existen relaciones no lineales.

Según (**Altman 1997**) el coeficiente de correlación posee las siguientes características:

- El valor del coeficiente de correlación es independiente de cualquier unidad usada para medir las variables.
- El valor del coeficiente de correlación se altera de forma importante ante la presencia de un valor extremo, como sucede con la desviación típica. Ante estas situaciones conviene realizar una transformación de datos que cambia la escala de medición y modera el efecto de valores extremos (como la transformación logarítmica).
- El coeficiente de correlación mide solo la relación con una línea recta. Dos variables pueden tener una relación curvilínea fuerte, a pesar de que su correlación sea pequeña. Por tanto, cuando analicemos las relaciones entre dos variables debemos representarlas gráficamente y posteriormente calcular el coeficiente de correlación.
- El coeficiente de correlación no se debe extrapolar más allá del rango de valores observado de las variables a estudio ya que la relación existente entre X e Y puede cambiar fuera de dicho rango.
- La correlación no implica causalidad. La causalidad es un juicio de valor que requiere más información que un simple valor cuantitativo de un coeficiente de correlación (**Fernández 1996**).

El coeficiente de correlación de Pearson (r) puede calcularse en cualquier grupo de datos, sin embargo la validez del test de hipótesis sobre la correlación entre las

variables requiere en sentido estricto (**Altman 1997**): a) que las dos variables procedan de una muestra aleatoria de individuos. b) que al menos una de las variables tenga una distribución normal en la población de la cual la muestra procede. Para el cálculo válido de un intervalo de confianza del coeficiente de correlación de ambas variables deben tener una distribución normal. Si los datos no tienen una distribución normal; una o ambas variables se pueden transformar (transformación logarítmica) o si no se calcularía un coeficiente de correlación no paramétrico (coeficiente de correlación de Spearman) que tiene el mismo significado que el coeficiente de correlación de Pearson y se calcula utilizando el rango de las observaciones.

- **Test de hipótesis de r**

Tras realizar el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (r) debemos determinar si dicho coeficiente es estadísticamente diferente de cero. Para dicho cálculo se aplica un test basado en la distribución de la t de student.

$$\text{Error estándar de } r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}$$

Si el valor del r calculado (en el ejemplo previo r = 0.885) supera al valor del error estándar multiplicado por la t de Student con n-2 grados de libertad, diremos que el coeficiente de correlación es significativo. El nivel de significación viene dado por la decisión que adoptemos al buscar el valor en la tabla de la t de Student. En el ejemplo previo con 20 niños, los grados de libertad son 18 y el valor de la tabla de la t de student para una seguridad del 95% es de 2.10 y para un 99% de seguridad el valor es 2.88

$$\text{Error estándar de } r = \sqrt{\frac{1-0.885^2}{20-2}} = 0.109$$

Como quiera que r = 0.885 > a 2.10 * 0.109 = 2.30 podemos asegurar que el coeficiente de correlación es significativo (p<0.05). Si aplicamos el valor obtenido en la tabla de la t de Student para una seguridad del 99% (t = 2.88) observamos que como r = 0.885 sigue siendo > 2.88 * 0.109 = 0.313 podemos a su vez asegurar que el coeficiente es significativo (p<0.001). Este proceso de

razonamiento es válido tanto para muestras pequeñas como para muestras grandes. En esta última situación podemos comprobar en la tabla de la t de student que para una seguridad del 95% el valor es 1.96 y para una seguridad del 99% el valor es 2.58.

- **Correlación de Spearman**

Según **(Díaz et al. 2014)** Correlación de Spearman en SPSS. El coeficiente de correlación de Spearman, al igual que el de Pearson, muestra una asociación entre variables. A diferencia del anterior; permite obtener un coeficiente de asociación entre variables que no se comportan normalmente entre variables ordinales. Se calcula en base a una serie de rangos asignados.

Tal como en Pearson, los valores van de - 1 a 1, siendo 0 el valor que indica no correlación y los signos indican correlación directa e inversa. Para calcular el coeficiente de Spearman seleccionaremos dos variables ordinales que nos permitan realizar el análisis a las que no les haremos ninguna prueba ya que no necesita cumplir supuestos.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

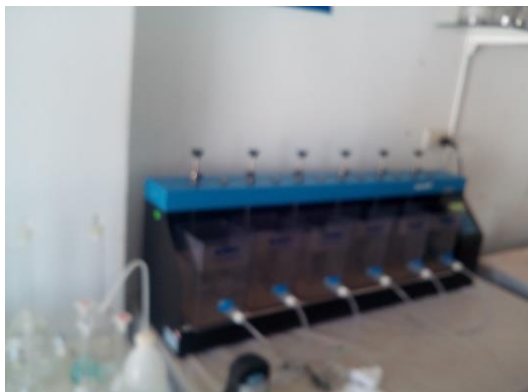
3.1. MÉTODO Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

El método que se realizó en esta investigación fue:

3.1.1. MÉTODO PRUEBA DE JARRAS

Según **(Bedoya Castrillón y De los Ángeles Giraldo 2012)** Este test se realiza en un equipo denominado Test de jarras, que consiste en un montaje de seis vasos precipitados con sus respectivos sistemas de agitación de velocidad regulable. Este aparato contiene seis agitadores para homogenizar el contenido de los seis vasos precipitados en los que se varían las condiciones de operación analizándose luego los resultados en cada caso, para concluir con los resultados de cuáles son los parámetros óptimos de depuración. En la figura 18. Se muestra el equipo de jarras utilizado.

Figura 18: Imagen de la Prueba de jarras



Fuente: Propia

Para la Prueba de jarras se ha seguido los siguientes pasos:

3.1.2. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA DE JARRAS

El Análisis mediante la Prueba de jarras utilizado en la presente investigación se realizó a diario durante 11 meses; en el cual, se determinaron los parámetros que influyen en la cinética de las reacciones químicas en el proceso de la coagulación.

Para realizar el experimento de la Prueba de jarras se realizó el siguiente procedimiento:

Primero.- Se realizaron procedimientos de medición y se consideró los parámetros siguientes:

- Determinar la temperatura de las muestras de agua potable en grados centígrados siguiendo el protocolo EPA 170.1 (termométrico).
- Determinar la turbiedad de las muestras de agua en NTU (unidades de turbidez nefelométricas) siguiendo el protocolo EPA Method 180.1 (nefelometría para muestras de agua potable)
- Determinar el color de muestras de agua potable en unidades de color verdadera (UCV) de acuerdo al protocolo EPA Method 110.2 (Colorimetría-Platino –Cobalto).
- Determinar el pH de la muestra de agua (logaritmo negativo de la actividad de iones hidrógeno) de acuerdo al protocolo EPA Method 150.1 (electrométrico).

Segundo.- Se realizó la Prueba de jarras. Estos resultados se utilizaron para la construcción del modelo matemático siguiendo el procedimiento presentado a continuación:

- Se determinó en el agua cruda el color, la turbiedad, el pH, la conductividad y los sólidos totales disueltos.
- Se llenó las jarras con 2000 mL de agua cruda utilizando la probeta para medir el volumen.

- Se seleccionó un rango de dosis a aplicar; colocando los volúmenes de solución de coagulante que se van a agregar en seis vasos pequeños. Se utilizó solución de coagulante al 1%.
- Se succionó el contenido de cada vaso con una jeringa hipodérmica y luego se retiró la aguja de la jeringa. Con su dosis completa se colocó junto a la jarra correspondiente.
- Se encendió el equipo y se seleccionó 200 rpm inyectando el contenido de cada jeringa en la jarra que le correspondía, cuidando que la solución se aplique profundamente y manteniendo a esta velocidad por 3 s (mezcla rápida).
- Se disminuyó la velocidad de rotación para conseguir gradientes de velocidad de 63, 50 y 30 S" con 7 minutos de retención para cada gradiente. (Floculación).
- Se suspendió la agitación retirando las jarras; colocando los tomadores de muestras; cebando el sifón y dejando sedimentar por 10 minutos (Sedimentación).
- Se descartó los primeros 5 ml y se tomó 30 ml de muestra.
- Se midió la turbiedad y el color.
- Se graficó los resultados en papel aritmético. Seleccionándose como dosis óptima aquella que produce la mayor remoción de turbiedad y/o color.

Procedimientos realizados para un buen manejo del equipo de jarras

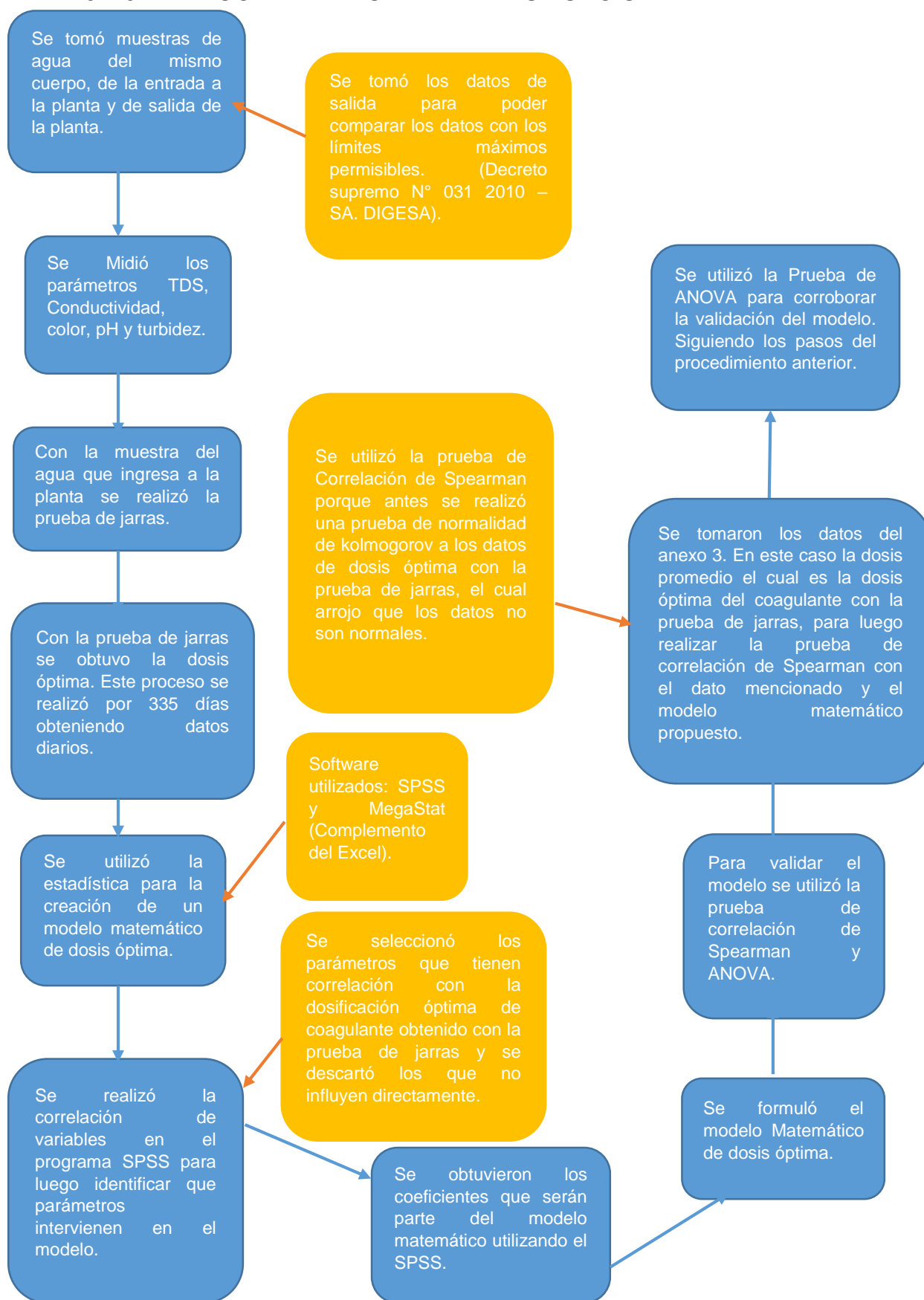
- Se verificó que todas las jarras estén centradas.
- Se controló que todas las paletas estén centradas.
- Se conectó el equipo.
- Se encendió las lámparas
- Se programó agitación rápida 0-200 rpm
- Se programó agitación lenta 0-25 rpm
- Conclusión de la prueba

- Se apagó el sistema de control
- Se desconectó el equipo y se dejó completamente limpio

Ejemplo Utilizando una Jarra de 2 Litros

A la 1era jarra se le agregó	1 mL =	5 mg/L
A la 2da jarra se le agregó	2 mL =	10 mg/L
A la 3era jarra se le agregó	3 mL =	15 mg/L
A la 4ta jarra se le agregó	4 mL =	20 mg/L
A la 5ta jarra se le agregó	5 mL =	25 mg/L
A la 6ta jarra se le agregó	6 mL =	30 mg/L

3.1.3. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN



3.1.4. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

A. Tipo de investigación

El tipo de investigación es básica, pura o sustantiva porque se realizó una serie de análisis con los datos recolectados en los cuales se planteó un modelo matemático para llegar al resultado esperado. En este tipo de investigación, el investigador se esfuerza por conocer y comprender los fenómenos sin preocuparse de la aplicación de los conocimientos adquiridos y también está dedicada a la búsqueda de nuevos conocimientos, en este caso el modelo matemático planteado **(Castro León 2016)**

B. Nivel de investigación

El nivel de investigación del proyecto de tesis es el nivel explicativo estos son estudios de alto nivel que generan teorías, leyes o enunciados totalmente novedosos. Tiene como propósito explicar las causas que origina un fenómeno, el estudio de sus relaciones para conocer su estructura y los aspectos que intervienen en la dinámica de aquéllos, en este caso se explicó el proceso de dosificación del coagulante, se analizaron parámetros fisicoquímicos del agua para ver la relación de las variables y obtener un resultado novedoso. **(Selltiz 1965)**

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es experimental con pre y post prueba; es decir, las muestras son tomadas de forma aleatoria, luego se caracterizará su turbiedad, pH, conductividad, TDS y color (pre prueba); posteriormente se aplicará la dosis de sulfato de aluminio (tratamiento); para finalmente, evaluar el nivel de turbidez (post prueba) en el producto. **(Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2006)**

3.2.1. TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

Experimental puro (n análisis) porque se manipula la variable independiente para observar sus cambios en la variable dependiente.**(Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2006)**

GE_i O₁ X O₂

GE_i: Grupo Experimental

O: observación al GE

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

- **Población.**- Para esta investigación se utilizó el agua que ingresa y que sale de la Planta de Tratamiento de agua potable SEDAM – Huancayo, por un tiempo de once meses.
- **Muestra.**- Se escogió una muestra aleatoria en dos turnos diarios por un tiempo de once meses obteniéndose 335 datos, uno por día.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica que se usó es la lista de chequeo y ficha de registros de parámetros. De entrada y salida.

3.4.2. INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.2.1. Materiales y equipos

- Equipo de Prueba de jarras de 06 agitadores y con velocidad máxima de 200 rpm.
- Balanza digital
- pHmetro o papel indicador de precisión.
- **Turbidímetro.**- Utilizado para medir la turbiedad del agua, el cual mide la intensidad de luz que pasa a través de una muestra de agua. Este equipo como unidad de medida es NTU (Unidad de turbiedad)
- **Medidor de pH y TDS.** Equipo utilizado para la medición de la concentración de los iones de hidrogeno en solución (pH = log

(H⁺) y de sólidos totales disueltos. Para la medición de aguas naturales y tratadas en plantas de potabilización, se requiere de una precisión de 0.05 unidades.

- **Termómetro.** Equipo utilizado para medir la temperatura, en grados centígrados.
- **Colorímetro.** Equipo que mide el color (UCV).
- **Medidor de Conductividad.** Equipo utilizado para medir la conductividad eléctrica de las aguas.
- 01 Probeta de 1000 mL.
- 06 Jarras de vidrio de 2000 mL.
- 06 Tomadores de muestra
- 06 Ligas grandes (para colocar alrededor de las jarras)
- 12 Vasos de 50 mL
- 06 Jeringas hipodérmicas de 15 mL
- 01 Pipeta de 10 mL
- 01 Piceta de 500 mL
- Solución de sulfato de aluminio al 1%

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE EN LA PRUEBA DE JARRAS CON PH NEUTRO Y VARIABLES FÍSICAS CONSTANTES.

Se plantea el ensayo de la Prueba de jarras efectuado para una muestra con turbidez igual 173 NTU de ingreso en seis vasos con agitación rápida y lenta; tras el cual, se realiza el cálculo de la dosis óptima. Se observa en la tabla 08 que el exceso de la misma produce como resultado que la turbidez se vuelve a incrementar

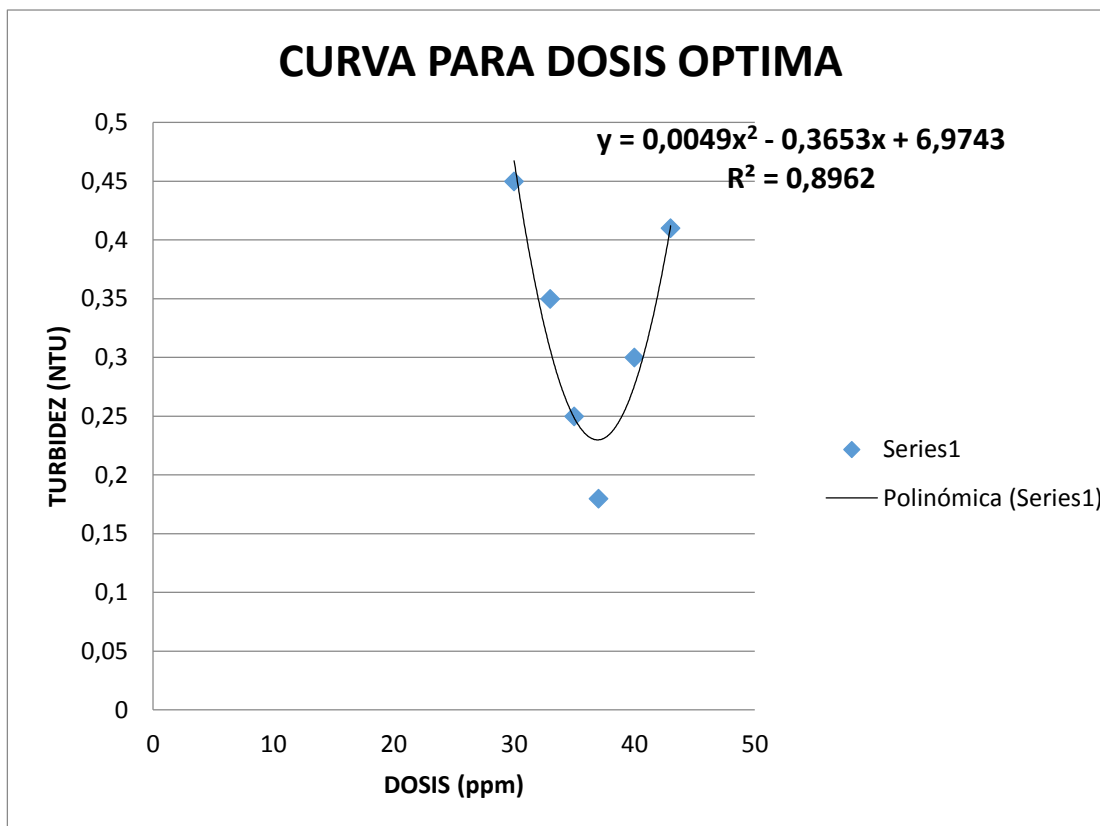
Tabla 8: Resultados de cálculo de dosis con la prueba de jarras con 6 vasos

SOLUCIÓN DE COAGULANTE (ml)	DOSIS DE COAGULANTE (ppm)	TURBIDEZ RESIDUAL (NTU)
6.0	30	0.45
6.5	33	0.35
7.0	35	0.25
7.5	37	0.18
8.0	40	0.30
8.5	43	0.41

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA DOSIS EN LA PRUEBA DE JARRAS POR REGRESIÓN CUADRÁTICA

Figura 19: Regresión cuadrática de la dosis en la Prueba de jarras.



Fuente: Elaboración propia

La figura 19 explica que el exceso o defecto de coagulante influye en la turbidez residual del agua tratada; motivo por lo cual, se debe considerar la dosis óptima para el tratamiento.

4.2. ANÁLISIS DE LA DOSIS ÓPTIMA EN DISTINTOS NIVELES DE TURBIEDAD CON OTRAS VARIABLES CONSTANTES

Se presentan resultados de distintas Pruebas de jarras a un pH neutro considerando asimismo las variables (TDS, conductividad, turbidez y color) con valores constantes.

4.2.1. RESULTADOS DE DOSIS ÓPTIMA DISTINTOS NIVELES DE TURBIDEZ DE INGRESO

En la tabla 09 se presenta la dosificación óptima del coagulante el cual es arrojado por la Prueba de jarras, los cuales fueron obtenidos con diferentes turbiedades.

Tabla 9: Dosificación de coagulante para turbidez residual mayor a 5 NTU

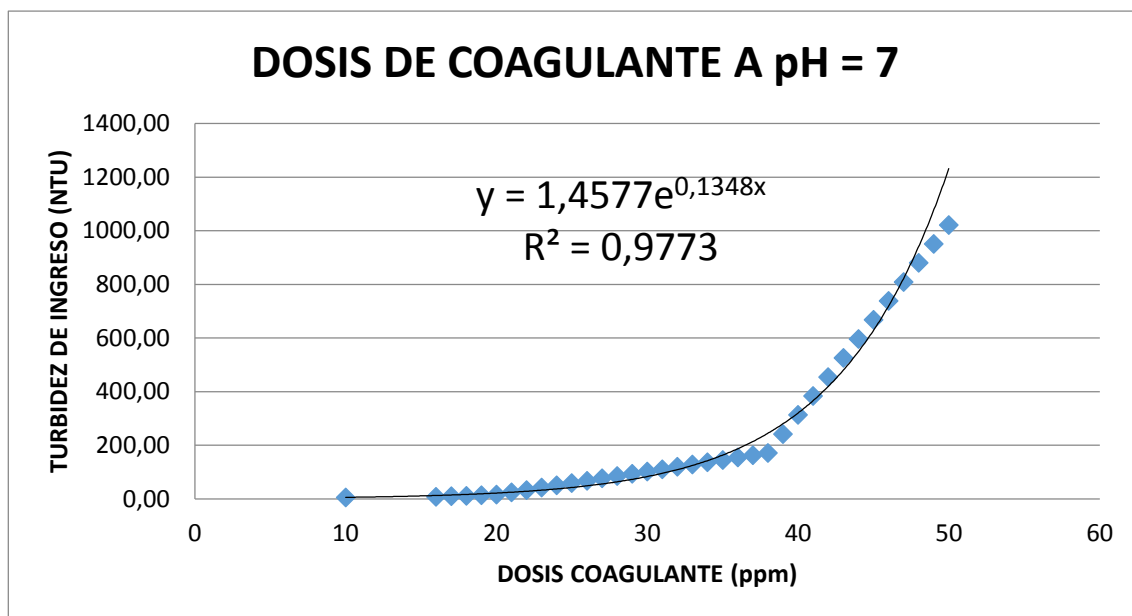
DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE (ppm)	TURBIEDAD DE INGRESO (NTU)
10	5.87
16	7.95
17	10.02
18	12.09
19	14.17
20	16.24
21	24.87
22	33.50
23	42.13
24	50.76
25	59.39
26	68.02
27	76.65
28	85.28
29	93.91
30	102.54
31	111.17
32	119.80
33	128.43
34	137.06
35	145.69
36	154.32
37	162.95
38	171.50
39	242.37

40	313.25
41	384.13
42	455.01
43	525.89
44	596.77
45	667.65
46	738.53
47	809.41
48	880.29
49	951.17
50	1022.00

Fuente: Elaboración propia.

A partir de ello podemos inferir el comportamiento exponencial en la curva de regresión respectiva con los datos de la tabla anterior. Esta ecuación exponencial se ajusta con un nivel de correlación de 0.988; el cual, es significativamente alto.

Figura 20: Dosis del coagulante sulfato de aluminio según la turbidez en la planta SEDAM



Fuente: Elaboración propia

4.3. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES FÍSICAS MÁS IMPORTANTES EN EL CÁLCULO DE LA DOSIS DE COAGULANTE

La dosis de coagulante sulfato de aluminio en ppm o mg/l no depende solo de la turbidez, que aun, cuando sea el más determinante; no es el único. Por ello, se hace un análisis de esta y otras variables físicas importantes que pueden influir en su cálculo. Se presenta los resúmenes del comportamiento de ellas con diferentes dosis calculadas en un periodo de 335 días (11 meses) y presentadas en el anexo 3; los cuales servirán para la construcción del modelo final.

4.3.1. CON RESPECTO AL PH

Se muestra el comportamiento promedio mensual del pH al ingreso y salida de la planta de tratamiento y medidos de acuerdo al protocolo del pH-metro. Estos resultan del análisis por muestreo aleatorio diario.

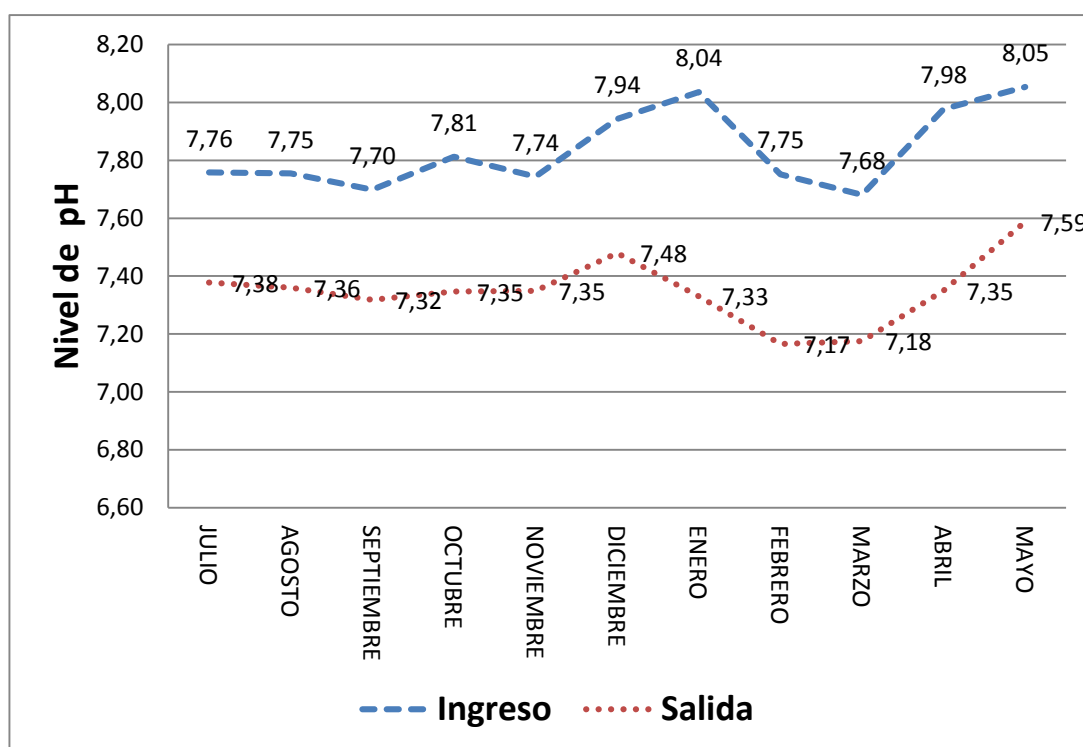
Tabla 10: Mediciones del nivel de pH promedio por mes en la planta de SEDAM-Huancayo

MES	pH	
	Ingreso	Salida
Julio	7.76	7.38
Agosto	7.75	7.36
Septiembre	7.70	7.32
Octubre	7.81	7.35
Noviembre	7.74	7.35
Diciembre	7.94	7.48
Enero	8.04	7.33
Febrero	7.75	7.17
Marzo	7.68	7.18
Abril	7.98	7.35
Mayo	8.05	7.59

Fuente: Elaboración propia.

Los datos que se muestran en la tabla 10, son los promedios mensuales de las mediciones de pH recolectados en la planta mediante el pH-metro. Los datos fueron recolectados por muestreo todos los días por un transcurso de 11 meses; los cuales se muestra en el anexo 03. Los puntos de medición fueron en el ingreso y en la salida de la planta SEDAM HUANCAYO.

Figura 21: Niveles de pH en el punto de entrada y de salida de la planta



Fuente: Elaboración propia.

Discusión

La figura 21. Muestra la gráfica del comportamiento de los datos promedios mensuales del nivel de pH en el punto de entrada y salida de la planta; en la cual, el agua ya pasó por diferentes procesos de tratamiento. Podemos observar que después del tratamiento disminuye ligeramente a pH neutro, manteniéndose en el límite permisible de calidad de agua para consumo humano.

4.3.2. CON RESPECTO A LA TURBIEDAD

Se muestran los resultados promedios mensuales del comportamiento de la turbidez al ingreso y después del tratamiento.

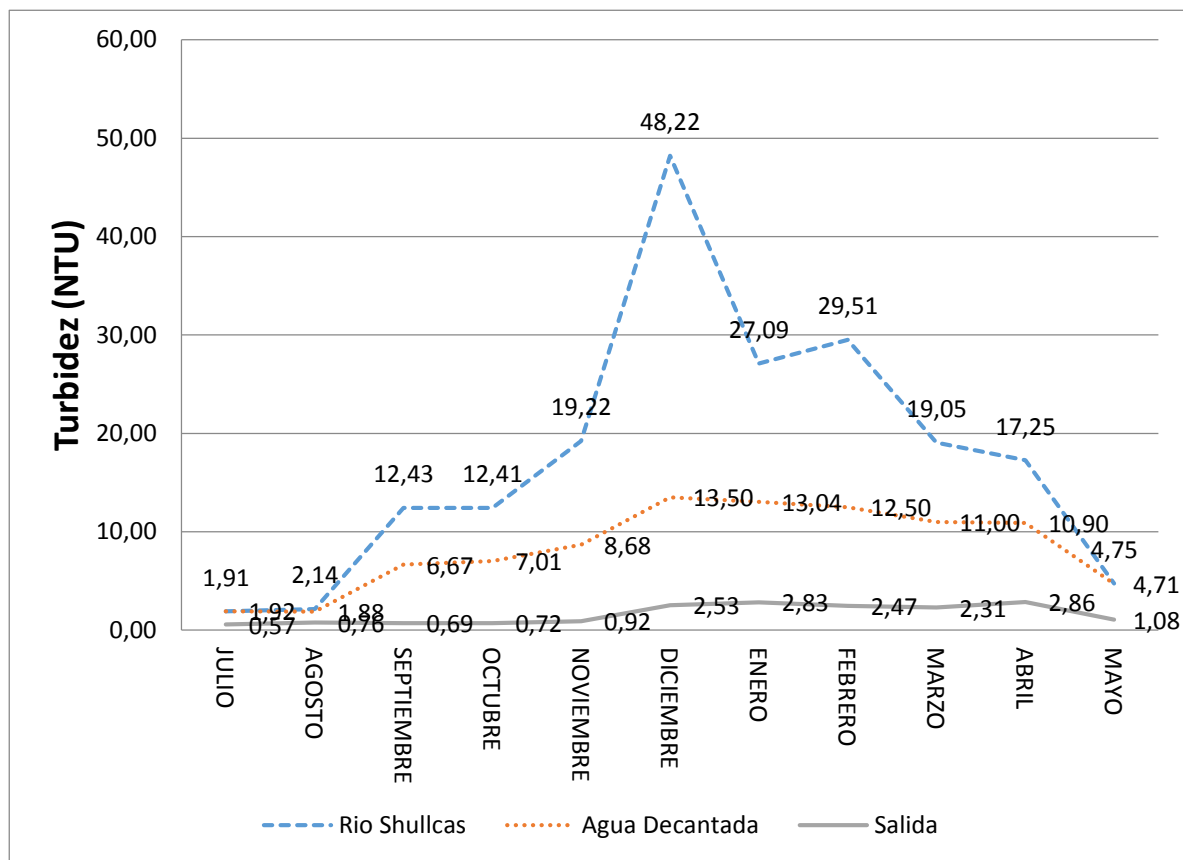
Tabla 11: Mediciones de la turbidez promedio mensual al ingreso y salida de la planta SEDAM - Huancayo

MES	TURBIEDAD (NTU)		
	Río Shullcas	Agua decantada	Salida
Julio	1.91	1.92	0.57
Agosto	2.14	1.88	0.76
Septiembre	12.43	6.67	0.69
Octubre	12.41	7.01	0.72
Noviembre	19.22	8.68	0.92
Diciembre	48.22	13.50	2.53
Enero	27.09	13.04	2.83
Febrero	29.51	12.50	2.47
Marzo	19.05	11.00	2.31
Abril	17.25	10.90	2.86
Mayo	4.75	4.71	1.08

Elaboración propia.

Los datos que se muestran en la tabla 11 son los promedios mensuales de las mediciones de la turbidez con muestreo aleatorio diario por un transcurso de 11 meses. Los puntos de medición son al ingreso (río Shullcas), después del desarenador y a la salida de la planta SEDAM Huancayo.

Figura 22: Niveles de la turbidez en el río Shullcas, al ingreso del decantador y en la salida de la planta SEDAM – Huancayo



Fuente: Elaboración propia.

Discusión

La figura 22. muestra la gráfica del comportamiento de los datos promedios mensuales de la turbidez en el río Shullcas; que desde los meses de octubre a marzo tienden a ser altos, debido a las precipitaciones pluviales. El desarenador permite reducir la turbidez. El tratamiento después de la coagulación, floculación y filtrado llega a valores menores a 5 UNT (Unidades nefelométricas de turbidez) que es el máximo, de acuerdo a las normas legales.

4.3.3. CON RESPECTO AL COLOR

Se muestran los resultados de color promedio mensual; medidos en unidades de color verdadero a escala Pt/Co (UCV) al ingreso de la dosificación y después del filtrado.

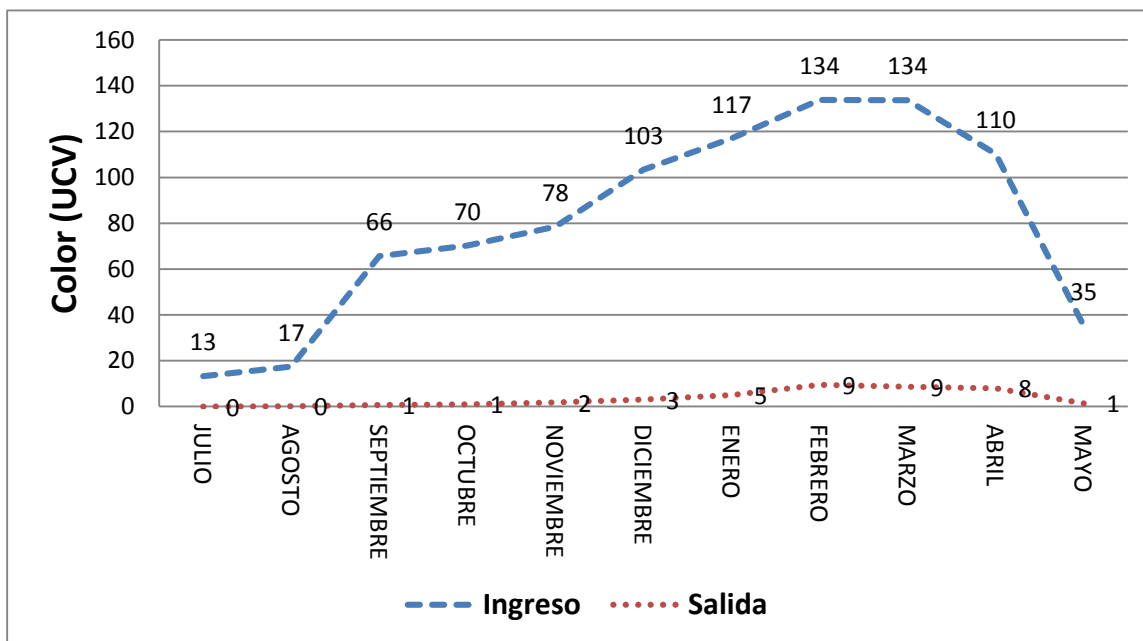
Tabla 12: Mediciones del color en la entrada y la salida del tratamiento en la planta SEDAM - Huancayo

MES	COLOR (UCV)	
	Ingreso	Salida
Julio	13	0
Agosto	17	0
Septiembre	66	1
Octubre	70	1
Noviembre	78	2
Diciembre	103	3
Enero	117	5
Febrero	134	9
Marzo	134	9
Abril	110	8
Mayo	35	1

Fuente: Elaboración propia.

Los datos que se muestran en la tabla 12 son los promedios mensuales de las mediciones del color; los cuales fueron realizados por muestreo aleatorio diario por el transcurso de 11 meses.

Figura 23: Niveles de color en el punto de entrada y de salida de la planta SEDAM – Huancayo



Fuente: Elaboración propia.

Discusión

La figura 23 muestra la gráfica del comportamiento de los datos promedios mensuales del nivel de color en el ingreso y salida de la planta, teniendo resultados por debajo del límite permisible 15 UCV que establece las normas legales.

4.3.4. CON RESPECTO A LA CONDUCTIVIDAD

Se muestra los resultados de color promedio mensual, medidos en micro siemens por centímetro ($\mu\text{S/cm}$) realizados en el ingreso y salida de la planta con muestreo aleatorio.

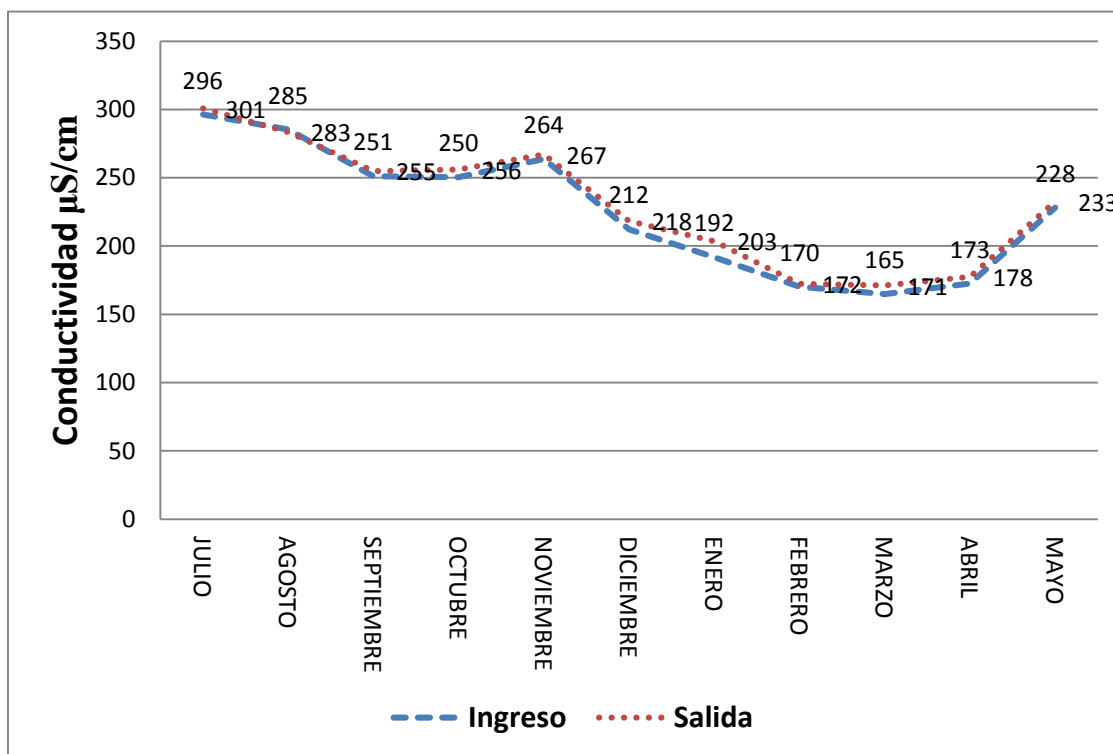
Tabla 13: Mediciones promedio mensual de la conductividad en el ingreso y en la salida de la planta SEDAM - Huancayo

MES	CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S/cm}$)	
	Ingreso	Salida
Julio	296	301
Agosto	285	283
Septiembre	251	255
Octubre	250	256
Noviembre	264	267
Diciembre	212	218
Enero	192	203
Febrero	170	172
Marzo	165	171
Abril	173	178
Mayo	228	233

Fuente: Elaboración propia.

Los datos que se muestran en la tabla 13 son los promedios mensuales de las mediciones de la conductividad recolectados en la planta todos los días por un transcurso de 11 meses. Los puntos de medición fueron al ingreso y en la salida del tratamiento en la planta SEDAM Huancayo.

Figura 24: Niveles de conductividad en el punto de entrada y de salida de la planta SEDAM - Huancayo



Elaboración propia

Discusión

La figura 24 muestra la gráfica del comportamiento de los datos promedios mensuales del nivel de la conductividad en el ingreso y salida de la planta; en el cual, el agua ya pasó por diferentes procesos de tratamiento. Se puede observar que la conductividad permanece igual; pues la coagulación precipita solo los coloides y no altera el contenido de sólidos disueltos; que es el que influye en la conductividad; sin embargo, este resultado es menor al límite permisible legal de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.3.5. CON RESPECTO AL TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS

Se muestra los resultados del total de sólidos disueltos en mg/L al ingreso y salida de la planta de tratamiento.

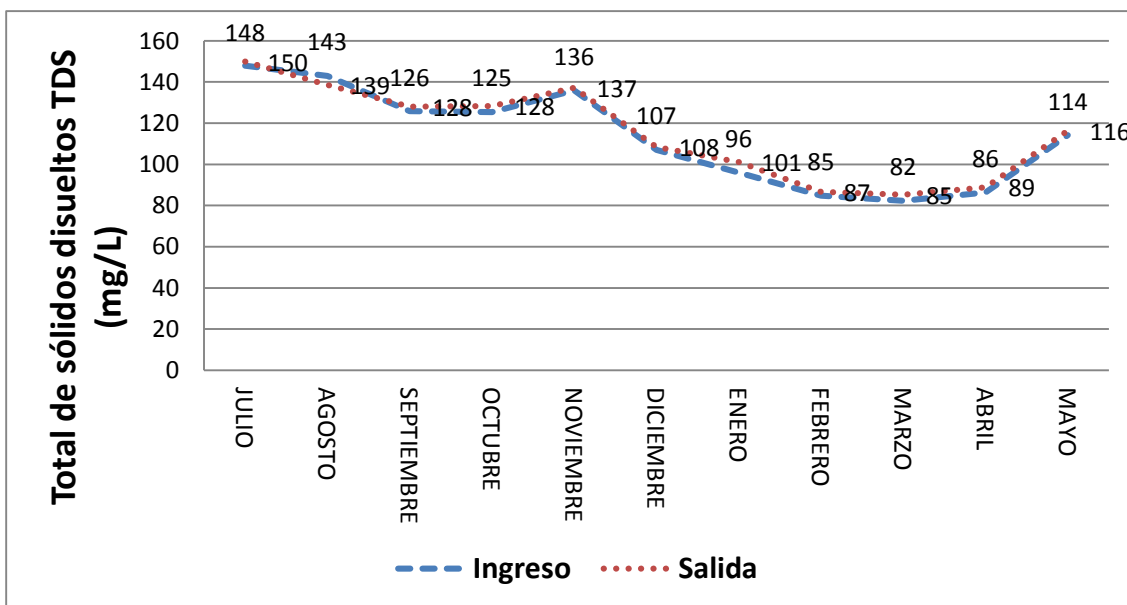
Tabla 14: Mediciones de sólidos totales disueltos en el ingreso y en la salida de la planta SEDAM - Huancayo

FECHA	Total de sólidos disueltos(mg/L)	
	Ingreso	Salida
Julio	148	150
Agosto	143	139
Septiembre	126	128
Octubre	125	128
Noviembre	136	137
Diciembre	107	108
Enero	96	101
Febrero	85	87
Marzo	82	85
Abril	86	89
Mayo	114	116

Fuente: Elaboración propia.

Los datos que se muestran en la tabla 14 son los promedios mensuales de las mediciones de los sólidos totales disueltos recolectados en la planta. Los datos fueron obtenidos todos los días por un transcurso de 11 meses.

Figura 25: Niveles de sólidos totales disueltos en el punto de entrada y de salida de la planta SEDAM – Huancayo



Fuente: Elaboración propia

Discusión

La figura 25 muestra la gráfica del comportamiento de los datos promedios mensuales de los sólidos totales disueltos en el ingreso y salida de la planta; en el cual, el agua ya pasó por diferentes procesos de tratamiento. Se puede observar que no existe diferencia significativa entre ambos datos; debido a que no todos los sólidos totales disueltos (TDS) son removidos por el coagulante. Estos datos cumplen con los límites máximos permisibles que indica la norma Peruana.

4.4. DESARROLLO DEL MODELO LINEAL MÚLTIPLE

Para desarrollar el modelo se utiliza los datos del anexo 3; en el cual, se tiene 335 pruebas con dosis calculadas con la prueba de jarras, a distintos valores de ingreso y salida de las constantes físicas analizadas.

4.4.1. VARIABLE INTERVINIENTES

Se considera como variables:

DEPENDIENTE: Dosis de coagulante de sulfato de aluminio (ppm).

INDEPENDIENTES: Variables de ingreso del agua (turbidez, color, PH, conductividad, total de sólidos disueltos).

4.4.2. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y COLINEALIDAD INTERVARIABLES

A continuación se presenta la matriz de correlación entre las variables dependientes e independientes del modelo a desarrollar con el software estadístico SPSS.

Tabla 15: Correlaciones entre variables

		Sulf. Al PPM	Ingreso Turbidez	Ingreso COLOR	Ingreso pH	Ingreso Conduct	Ingreso TDS
Sulf. Al PPM (dependiente)	Correlación	1	,665**	,712**	,151**	-,806**	-,785**
	Sig. (bilateral)		,000	,000	,005	,000	,000
	N	335	335	335	335	335	335
Agua Decantada NTU	Correlación	,665**	1	,557**	,219**	-,589**	-,578**
	Sig. (bilateral)	,000		,000	,000	,000	,000
	N	335	335	335	335	335	335
Ingreso COLOR	Correlación	,712**	,557**	1	,093	-,757**	-,743**
	Sig. (bilateral)	,000	,000		,090	,000	,000
	N	335	335	335	335	335	335
Ingreso pH	Correlación	,151**	,219**	,093	1	-,101	-,105
	Sig. (bilateral)	,005	,000	,090		,065	,055
	N	335	335	335	335	335	335
Ingreso Conduct	Correlación	-,806**	-,589**	-,757**	-,101	1	,989**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,065		,000
	N	335	335	335	335	335	335
Ingreso TDS	Correlación	-,785**	-,578**	-,743**	-,105	,989**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,055	,000	
	N	335	335	335	335	335	335

** . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

Fuente: Elaboración propia.

Prueba de hipótesis de correlación intervariables.

Para validar la existencia o ausencia de correlación se plantea las hipótesis de trabajo:

Nula H_0 : No existe correlación entre variables

Alternativa H_1 : Si existe correlación entre variable.

Se parte del principio que, si la probabilidad de la prueba (Sig) es menor o igual a la significancia de 0.05 (5%) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna; caso contrario, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alterna.

Haciendo la revisión de la matriz se puede observar que la variable dependiente sulfato de aluminio tiene correlación adecuada frente a todas las variables independientes. Todos los valores de probabilidad de la prueba (sig) son menores a la significancia $\alpha=0.05$; por lo que se rechaza la hipótesis nula y hay correlación significativa.

Con respecto a las otra variables independientes entre sí; podemos observar que solo existe colinealidad entre las variables color vs pH (Sig=0.09); ligeramente entre pH vs conductividad (Sig=0.065) y pH vs TDS (Sig=0.055). Por lo que se hace ajustes para tener un mejor modelo eliminando la variable pH que influye en la colinealidad del modelo que lo considera.

4.4.3. FORMULACIÓN DEL MODELO

El modelo lineal multivariable se desarrolló considerando la variable dependiente de dosis óptima de Sulfato de aluminio (coagulante) y las otras variables independientes con excepción del pH (eliminada por tener colinealidad). Fue desarrollada con el software SPSS y se presenta en la tabla 16.

Tabla 16: Resultados del modelo con coeficientes

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
1 (Constante)	28,119	1,557		18,056	,000
Turbidez (T)	0,237	,033	,262	7,103	,000
COLOR (C)	0,014	,004	,163	3,560	,000
Conduct (Co)	-0,112	,024	-,967	-4,677	,000
TDS (Td)	0,101	,046	,444	2,209	,028

a. Variable dependiente: Sulfato de Al (ppm)

De acuerdo a la tabla 16 se observa los coeficientes del modelo (B) y se deduce la siguiente ecuación:

$$Dosis (Al_2SO_4) = 28.119 + 0.237(T) + 0.014(C) - 0.112(Co) + 0.101(Td)$$

Dónde:

T : turbidez (NTU). El dato se toma del agua decantada.

C : Color (UCV)

Co : Conductividad (µS/cm)

Td : Sólidos Totales disueltos (TDS)

Prueba de hipótesis de los coeficientes del modelo.

Para validar la existencia o ausencia de correlación se plantea las hipótesis de trabajo:

Nula Ho: El coeficiente Ci no es válido en el modelo

Alternativa H1: El coeficiente Ci es válido en el modelo

Se parte del principio que; si la probabilidad de la prueba (Sig) es menor o igual a la significancia de 0.05 (5%) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa; caso contrario, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alternativa.

Podemos observar que los coeficientes mostrados en la tabla 16 son válidos para el modelo; pues tienen una probabilidad de la prueba (Sig) menor a la significancia $\alpha=0.05$; lo cual nos indica que son válidas en el modelo.

4.4.4. ANÁLISIS DE NORMALIDAD DE DATOS:

Para el análisis de normalidad se utilizó la Prueba de kolmogórov-Smirnov.

Tabla 17: Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		con_prueba_jarr as	con_el_modelo
N		335	335
Parámetros normales ^{a,b}	Media	17.2938	17.3833
	Desviación estándar	6.57413	5.55999
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,086	,088
	Positivo	,086	,075
	Negativo	-,058	-,088
Estadístico de prueba		,086	,088
Sig. asintótica (bilateral)		,000 ^c	,000 ^c

a. La distribución de prueba es normal.

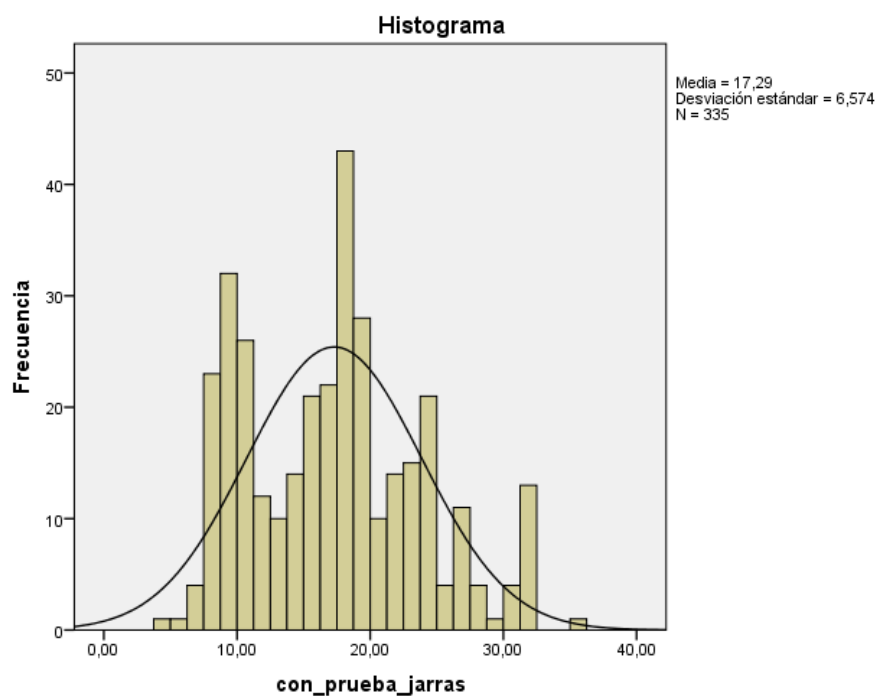
b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

Nula H_0 : La distribución es normal

Alternativa H_1 : La distribución no es normal

Figura 26: Grafica de normalidad de los datos obtenidos con la prueba de jarras.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que el valor (Sig.) es menor a la significancia de 0.05 (5%) entonces, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna; el cual nos menciona que la distribución no es normal.

En la gráfica 26. Se puede observar que no existe normalidad en los datos obtenidos con la prueba de jarras.

4.4.5. ANÁLISIS DEL MODELO POR REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE:

De acuerdo al modelo estadístico desarrollado con SPSS, se tiene el análisis de índice de correlación de Spearman es de 0.853 (85.3%); el cual nos indica que se puede hacer predicciones con el modelo.

Tabla 18: Análisis de Correlaciones

			con_prueba_jarras	con_el_modelo
Rho de Spearman	con_prueba_jarras	Coeficiente de correlación	1,000	,853
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	335	335
	con_el_modelo	Coeficiente de correlación	,853	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	335	335

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que el modelo presenta un adecuado Coeficiente de correlación de Spearman de 0.853 e índice de determinación $R^2=0.727$ (el 73% del cálculo de la dosis depende de las variables intervinientes y el 27% se debe a otros factores); ambas cercanas al uno, que es la perfecta.

4.4.6. CONTRASTACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO EN CONTRASTE CON LOS VALORES REALES

Se realizó el cálculo de dosis con el modelo propuesto, con los datos históricos de las variables independientes del modelo y se contrastó con el de la prueba de jarras; el cual arroja como resultado, una adecuada correlación. Estos datos históricos se encuentran en el anexo 03.

A. Análisis de correlación

Se desarrolla una prueba de correlación entre ambos grupos de datos teniendo los siguientes resultados en el software SPSS.

r^2	0.727	n	335
r	0.853	k	1

Podemos observar que el índice de correlación de Spearman está en 85.3% de dependencia, lo cual nos indica una adecuada correlación y valida el modelo propuesto.

En cuanto al planteamiento de Hipótesis con la Prueba de Spearman

Nula $H_0: \rho = 0$ (No hay correlación)

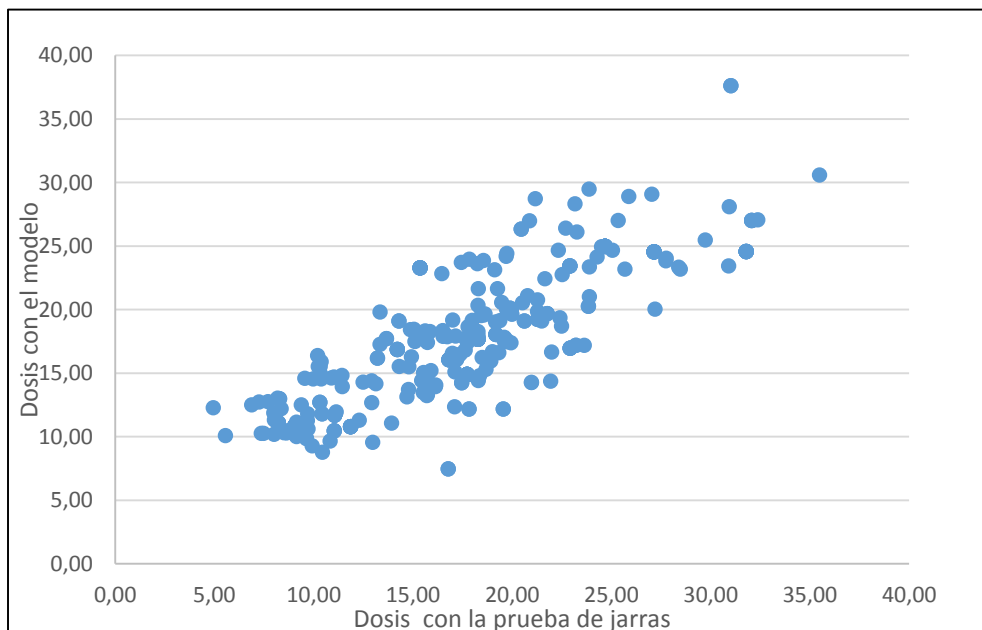
Alternativa $H_1: \rho \neq 0$ (Si hay correlación)

Se puede observar en la tabla 17. Que el valor (Sig) es menor al nivel de significancia (0.05); entonces, rechazamos la hipótesis nula y concluimos que sí existe correlación entre los datos de dosis obtenidas con la prueba de jarras por el transcurso de 335 días y los datos obtenidos con el modelo propuesto.

B. Validación del índice de correlación

Se desarrolla la validación del modelo con el análisis de varianza (ANOVA) producido con el software SPSS.

Figura 27: Gráfica de dispersión del modelo en contraste con la Prueba de Jarras



Fuente: Elaboración propia

Para validar la existencia o ausencia de correlación se plantea las hipótesis de trabajo:

Nula H_0 : No Existe Correlación significativa

Alternativa H_1 : Existe Correlación significativa

Se parte del principio que; si la probabilidad de la prueba (Sig) es menor o igual a la significancia de 0.05 (5%) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna; caso contrario, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alterna.

Tabla 19: ANOVA para validar la correlación

<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Sig-value</i>
Regression	7,439.1345	1	7,439.1345	858.57	3.34E-94
Residual	2,885.2922	333	8.6645		
Total	10,324.4267	334			

Como se observa el Sig es menor a la significancia; por lo cual, se rechazó la hipótesis nula; entonces, concluimos que existe correlación adecuada; por lo que validamos el modelo propuesto.

CONCLUSIONES

1. Al término de la investigación, se determinó la dosificación óptima del coagulante sulfato de aluminio tipo A mediante el modelo matemático planteado ($Dosis(Al_2SO_4) = 28.119 + 0.237(T) + 0.014(C) - 0.112(Co) + 0.101(Td)$), el cual arroja buenos resultados y es eficiente.
2. Se pudo construir tablas, gráficos y el modelo matemático de dosificación óptima gracias a los datos tomados en el transcurso de 335 días en 11 meses. Estos datos fueron tomados de forma diaria, en el que se relacionaron los parámetros fisicoquímicos estudiados; los cuales servirán como datos para otros estudios y para mejorar el proceso de dosificación en la planta SEDAM Huancayo. Se pudo validar el modelo matemático obtenido al existir correlación entre los datos de dosis obtenidas con la prueba de jarras por el transcurso de 335 días y los datos obtenidos con el modelo matemático propuesto en la investigación.
3. Se determinó que la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A con el pH del agua es indirecta; es por ello que no se considera dicho parámetro en el modelo matemático planteado.
4. Se determinó que la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A con la conductividad del agua es directa; es por ello que se considera dicho parámetro en el modelo matemático planteado.
5. Se determinó que la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A con los sólidos totales disueltos del agua es directa; es por ello que se considera dicho parámetro en el modelo matemático planteado.
6. Se determinó que la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A con el color del agua es directa; es por ello que se considera dicho parámetro en el modelo matemático planteado.
7. El sulfato de aluminio utilizado en la planta de tratamiento SEDAM Huancayo es un coagulante efectivo para el tratamiento de aguas para consumo humano; ya que en los resultados se presentaron buenos porcentajes de remoción de la turbidez y color; de igual manera, buenos resultados en cuanto a los sólidos totales disueltos, pH y conductividad.

8. En los ensayos experimentales que se realiza cotidianamente en la planta SEDAM Huancayo; se puede notar que; mientras más sea la turbidez, más coagulante se debe añadir, según se muestra en la tabla 9; esto debido a que en turbiedades menores; los sólidos totales en suspensión son pocas y requiere menos coagulante; mientras que en turbiedades mayores se requiere más coagulante para formar flocs.
9. Los resultados que se obtuvieron después de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A cumplen con los límites máximos permisibles que se encuentran en la tabla 6 Y 7 según SUNASS y DIGESA respectivamente.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda calibrar los equipos a utilizar en el proceso; también se debe realizar un mantenimiento de forma periódica por personal especializado. Esto, con el fin de obtener mediciones de mayor confiabilidad.
2. Es necesario realizar una inversión en investigación para la mejora de la eficiencia en la planta; dado que es primordial tener un buen control en la parte técnica considerando que el agua que sale de la planta, es para consumo humano y debe estar libre de impurezas.
3. Se recomienda que la planta SEDAM - Huancayo realice mediciones constantes para poder tener una base de datos actualizada. Estas mediciones se deben realizar a todos los parámetros del agua; ya que con esta data se podrá realizar estudios para una mejor eficiencia de la planta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAYO ORBEGOSO, A., 2016. Agua para pocos: el saneamiento pendiente en el Perú. *El Comercio Peru* [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2017]. Disponible en: http://elcomercio.pe/sociedad/peru/agua-pocos-saneamiento-pendiente-peru-noticia-1922345?ref=flujo_tags_518461&ft=nota_8&e=imagen.
- ALTMAN, D., 1997. *Practical statistics for medical research*. . Primera ed. S.I.: s.n.,
- ANDÍA CÁRDENAS, Y., 2000. Tratamiento de agua coagulación y floculación. *SEDAPAL*, vol. 1.
- ARBOLEDA VALENCIA, J., 2000. Teoría y práctica de la purificación del agua. , vol. 1.
- AZNAR JIMÉNEZ, ANTONIO ALONSO BARBA, Á., 2000. Determinación de los parámetros físico-químicos de la calidad de las aguas. , vol. 2, pp. 2 y 8.
- BARRENECHEA MARTEL, A., 2006. Coagulación. ,
- BEDOYA CASTRILLÓN, D. y DE LOS ÁNGELES GIRALDO, M., 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 Sanatana* [en línea]. S.I.: s.n. [Consulta: 19 febrero 2017]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3146/6281622H565.pdf?sequence=1>.
- BRATBY, J., 2006. *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment*. 2da Edició. S.I.: IWA Publishing.
- CASTRO LEÓN, E.Z., 2016. *Teoría y práctica de la investigación científica*. 1er Edición. Huancayo - Peru: s.n.
- CEPIS, 1983. Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua. . Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, pp. 623.
- COLBERT, D., 2007. *Los siete pilares de la salud*. S.I.: Casa Creación.
- DÍAZ, I., TORRES, F., LIZAMA, D.P. y BOCCARDO, G., 2014. Asociación entre variables (Pearson y Spearman en SPSS). ,
- DIGESA, 2011. Reglamento de la calidad de agua para consumo humano. *Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud*,
- El agua no potable causa cada año más víctimas que cualquier forma de violencia. *Diario de Navarra* [en línea], 2010. [Consulta: 2 febrero 2017]. Disponible en: http://www.economiasolidaria.org/noticias/el_agua_no_potable_causa_cada_ano_mas_victimitas_que_cualquier_forma_de_violencia.
- FERNÁNDEZ, P., 1996. Correlación frente a causalidad. , pp. 59-60.
- FERNÁNDEZ, P. y DÍAZ, P., 1997. Relación entre variables cuantitativas. [en línea], [Consulta: 19 febrero 2017]. Disponible en: http://www.fisterra.com/mbe/investiga/var_cuantitativas/var_cuantitativas2.pdf.
- GONZÁLEZ, A., MARTÍN, A. y FIGUEROA, R., 2000. Tecnologías de tratamiento y desinfección de agua para uso y consumo humano. ,
- GUERRERO, R., 1979. Manual de Tratamiento de aguas. . México: s.n., pp. 316.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C. y BAPTISTA LUCIO, P., 2006. *Metodología de la investigación*. 3ra Edició. México, DF: s.n.

- LÓPEZ LÓPEZ, A., DE LA BARRERA FRAIR, J., VALLEJO RODRÍGUEZ, R. y BARAHONA ARGUETA, C., 2008. Estudio comparativo entre un proceso fisicoquímico y uno biológico para tratar agua residual de rastro. , vol. 33, no. 7.
- LORENZO ACOSTA, Y., 2006. Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. , pp. 3,4.
- MARMANILLO, I., 2012. Agua potable y saneamiento. [en línea], pp. 326. [Consulta: 19 febrero 2017]. Disponible en: http://siteresources.worldbank.org/INTPERUINSPANISH/Resources/Cap.14._Agua_Potable_y_Saneamiento.pdf.
- MARTÍNEZ, D., MAGALY, C., ALTAMIRA, D., ELSA, C. y NOLA, F., 2003. eficiencia del cactus lefaria para su uso como coagulante en la clarificación de aguas. , pp. 26,27-33.
- Más de 5 mil pobladores beben agua no apta para consumo humano. *Diario correo* [en línea], 2016. [Consulta: 2 febrero 2017]. Disponible en: <http://diariocorreope.com/edicion/huancayo/huancayo-mas-de-5-mil-pobladores-beben-agua-no-apta-para-consumo-humano-712988/>.
- MIGUEL, J. y FLÓREZ, C., 2010. Clarificación de agua usando coagulantes polimerizados: caso del Hidroxicloruro de Aluminio IMERIZADOS: water clarification using polymerized coagulants: aluminum hydroxychloride case. , vol. 165, pp. 12-7353.
- MINAM, 2015. Plan de gestión integrados de recursos hídricos de la subcuenca del río Shullcas. , vol. 1.
- MORANTE, G., 2002. Electrocoagulación de aguas residuales. , vol. 34, no. 2.
- RODRIGUEZ MUÑOZ, S., GARCIA ROQUE, O. y MUÑOZ MARTINEZ, R., 2002. Una solución factible para la clarificación de aguas para consumo humano. Noticias técnicas de laboratorio. , pp. 21.
- ROMERO ROJAS, J.A., 2002. Calidad del Agua. , vol. 1, pp. 67, 69, 70, 71.
- SCHULZ, C.R. y OKUN, D.A., 1998. Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo. . México: s.n., pp. 390.
- SELLTIZ, C., 1965. *Métodos de investigación en relaciones sociales*. Madrid, España: s.n.
- STEEL, E. y TERENCE, J., 1991. *Abastecimiento de agua y alcantarillado*. Barcelona: s.n.
- SUNASS, 2000. Parámetros de calidad y límites máximos permisibles. ,
- SUNASS, 2014. Determinación de la fórmula tarifaria, estructura tarifaria y metas de gestión aplicable a la empresa prestadora deservicios de agua y alcantarillado SEDAM Huancayo S.A. , vol. 1.
- VARGAS CAMARENO, M. y ROMERO ESQUIVEL, L.G., 2006. Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, ISSN 0379-3962, ISSN-e 2215-3241, Vol. 19, N° 4, 2006, págs. 37-41, vol. 19, no. 4, pp. 37-41. ISSN 0379-3962..

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE
<p>Problema general:</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es la dosificación óptima del coagulante sulfato de aluminio tipo A en función a la turbidez del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo? <p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A en el pH del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo? ¿Cuál es la influencia de la dosificación del coagulante sulfato 	<p>Objetivo general:</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar la dosificación óptima del coagulante sulfato de aluminio tipo A en función a la turbidez del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo. <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A en el pH del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo. Determinar la influencia de la 	<p>Hipótesis de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> La dosificación óptima del coagulante sulfato de aluminio tipo A es eficiente en función a la turbidez del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo. 	<p>Variable independiente: Turbidez del agua</p> <p>Variable dependiente: Dosificación del coagulante Sulfato de aluminio</p>

<p>de aluminio tipo A en la conductividad del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo?</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A en los sólidos totales disueltos del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo? • ¿Cuál es la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A en el color del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo? 	<p>dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A en la conductividad del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A en los sólidos totales disueltos del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo. • Determinar la influencia de la dosificación del coagulante sulfato de aluminio tipo A en el color del agua en la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo. 		
--	--	--	--

ANEXO 2

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	Sub dimensión	INDICADOR
DEPENDIENTE Dosificación del coagulante Sulfato de aluminio	Es un procedimiento que permite obtener agua de buena calidad, fácilmente separable por decantación; los flóculos formados con diferentes dosis del sulfato de aluminio, dan como resultado valores de turbiedad deferentes. En el cual se determinan las variables físicas y químicas de los procesos de coagulación; floculación y sedimentación; tales como: selección del coagulante; selección del pH óptimo; gradientes y tiempos de mezcla rápida y floculación y correlación de las velocidades de sedimentación y la eficiencia de remoción. FUENTE: SEDAPAL	variables físicas y químicas	pH	0 - 14
			Conductividad	µS/cm
			TDS	Ppm
			COLOR	UCV
INDEPENDIENTE Turbidez del agua	Es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua.FUENTE: OMS (Organización Mundial para la Salud)	Presencia de partículas en suspensión	Unidades	Solidos Totales y Unidades Nefelométrica de turbidez (NTU).

ANEXO 3

FECHA	CONTROL DE PROCESOS											
	TURBIEDAD (NTU)			COLOR		pH		Conductividad (us)		TDS (ppm)		DOSIS PROMEDIO (ppm)
	Rio Shullcas	Agua Decantada	Salida	Ingreso	Salida	Ingreso	Salida	Ingreso	Salida	Ingreso	Salida	Sulf. Al PPM
	Rio Shullcas NTU	Agua Decantada NTU	Salida NTU	Ingreso COLOR	Salida COLOR	Ingreso pH	Salida pH	Ingreso Conduct	Salida conduct	Ingreso TDS	Salida TDS	Sulf. Al PPM
01-Jul	1.64	1.73	0.67	11	0	7.70	7.40	286	291	143	145	8.21
02-Jul	2.14	2.50	0.78	13	0	7.70	7.30	290	291	145	146	13.92
03-Jul	1.93	2.02	0.77	12	0	7.80	7.35	284	286	142	143	12.29
04-Jul	1.90	2.17	0.80	18	0	7.90	7.50	296	300	149	150	11.85
05-Jul	2.63	2.48	0.72	9	0	7.70	7.40	299	300	149	150	9.15
06-Jul	1.89	2.56	0.68	11	0	7.70	7.40	302	300	151	150	8.63
07-Jul	2.63	2.48	0.72	9	0	7.70	7.40	299	300	149	150	9.15
08-Jul	1.64	1.73	0.67	11	0	7.70	7.40	286	291	143	145	8.21

09-Jul	1.90	2.17	0.80	18	0	7.90	7.50	296	300	149	150	11.85
10-Jul	1.57	1.73	0.66	16	0	7.80	7.40	295	303	148	151	9.72
11-Jul	1.50	1.58	0.37	9	0	7.70	7.50	310	313	155	157	12.97
12-Jul	5.48	1.40	0.63	12	0	7.70	7.50	309	313	155	157	10.82
13-Jul	1.38	1.44	0.41	13	0	7.80	7.40	306	316	158	158	8.49
14-Jul	2.63	2.48	0.72	9	0	7.70	7.40	299	300	149	150	9.15
15-Jul	2.63	2.48	0.72	9	0	7.70	7.40	299	300	149	150	9.15
16-Jul	1.35	1.25	0.34	12	0	7.80	7.10	303	312	152	157	9.12
17-Jul	1.30	1.37	0.28	12	0	7.70	7.30	299	306	149	154	7.47
18-Jul	1.37	1.65	0.30	14	0	7.70	7.30	316	316	158	158	9.92
19-Jul	2.63	2.48	0.72	9	0	7.70	7.40	299	300	149	150	9.15
20-Jul	1.89	2.56	0.68	11	0	7.70	7.40	302	300	151	150	8.63
21-Jul	1.48	1.86	0.41	21	0	7.90	7.30	286	299	143	150	9.67
22-Jul	1.24	1.49	0.43	15	0	7.90	7.30	290	302	145	151	9.06
23-Jul	1.90	2.17	0.80	18	0	7.90	7.50	296	300	149	150	11.85
24-Jul	1.58	1.73	0.55	17	0	7.70	7.20	296	304	148	152	9.25
25-Jul	1.53	1.68	0.37	13	0	8.00	7.35	297	308	132	138	10.44
26-Jul	1.64	1.79	0.37	20	0	7.70	7.40	299	300	150	150	8.36
27-Jul	1.59	1.78	0.34	14	0	7.70	7.40	297	300	149	150	8.77
28-Jul	1.24	1.49	0.43	15	0	7.90	7.30	290	302	145	151	9.06
29-Jul	1.64	1.73	0.67	11	0	7.70	7.40	286	291	143	145	8.21

30-Jul	1.64	1.73	0.67	11	0	7.70	7.40	286	291	143	145	8.21
31-Jul	1.53	1.76	0.31	19	0	7.60	7.40	289	290	145	145	8.17
01-Ago	1.47	1.73	0.28	10	0	7.70	7.30	291	298	146	149	9.35
02-Ago	1.90	2.17	0.80	18	0	7.90	7.50	296	300	149	150	11.85
03-Ago	1.24	1.49	0.43	15	0	7.90	7.30	290	302	145	151	9.06
04-Ago	1.64	1.73	0.67	11	0	7.70	7.40	286	291	143	145	8.21
05-Ago	1.48	1.47	0.37	18	0	7.80	7.40	299	310	150	155	8.46
06-Ago	1.47	1.48	0.32	17	0	7.80	7.48	299	302	150	152	9.42
07-Ago	1.66	1.70	0.38	21	0	7.60	7.20	303	305	152	153	9.01
08-Ago	1.87	1.78	0.33	10	1	7.70	7.25	296	306	148	154	9.12
09-Ago	1.24	1.49	0.43	15	0	7.90	7.30	290	302	145	151	9.06
10-Ago	1.90	2.17	0.80	18	0	7.90	7.50	296	300	149	150	11.85
11-Ago	1.24	1.49	0.43	15	0	7.90	7.30	290	302	145	151	9.06
12-Ago	1.24	1.49	0.43	15	0	7.90	7.30	290	302	145	151	9.06
13-Ago	1.68	1.69	0.39	12	0	7.85	7.40	264	276	132	139	9.37
14-Ago	1.57	1.65	0.40	19	0	7.85	7.40	261	271	131	136	7.24
15-Ago	1.79	1.77	0.40	20	0	7.90	7.30	266	278	133	139	6.87
16-Ago	1.76	2.08	0.37	19	0	7.70	7.40	270	274	135	137	4.94
17-Ago	1.64	1.73	0.67	11	0	7.70	7.40	286	291	143	145	8.21
18-Ago	1.24	1.49	0.43	15	0	7.90	7.30	290	302	145	151	9.06
19-Ago	1.24	1.49	0.43	15	0	7.90	7.30	290	302	145	151	9.06

20-Ago	1.58	1.82	0.36	16	0	7.70	7.30	304	308	152	154	5.55
21-Ago	1.84	1.65	0.40	18	0	7.70	7.40	302	306	151	153	8.00
22-Ago	2.01	1.64	0.33	24	0	7.60	7.30	303	306	152	153	7.36
23-Ago	5.80	0.66	67	5	0	7.40	7.30	255	124	128	10.32	10.31
24-Ago	1.64	1.73	0.67	11	0	7.70	7.40	286	291	143	145	8.21
25-Ago	5.10	5.07	0.48	39	0	7.80	7.40	279	283	140	142	7.69
26-Ago	2.93	2.86	0.69	46	0	7.70	7.30	281	285	141	143	8.35
27-Ago	2.75	2.71	0.42	36	2	7.90	7.60	284	284	142	142	9.69
28-Ago	5.80	0.66	67	5	0	7.40	7.30	255	124	128	10.32	10.30
29-Ago	3.64	3.17	0.50	17	0	7.80	7.30	281	285	141	143	7.99
30-Ago	1.64	1.73	0.67	11	0	7.70	7.40	286	291	143	145	8.21
31-Ago	2.37	2.41	0.40	21	2	7.50	7.35	281	286	141	146	11.04
01-Set	1.64	1.73	0.67	11	0	7.70	7.40	286	291	143	145	8.21
02-Set	1.24	1.49	0.43	15	0	7.90	7.30	290	302	145	151	9.06
03-Set	3.86	3.27	0.52	28	0	7.70	7.40	282	284	141	142	11.13
04-Set	5.89	4.83	0.61	61	1	7.70	7.30	264	268	132	134	11.44
05-Set	4.27	4.16	0.56	39	0	7.80	7.40	271	279	136	140	8.19
06-Set	4.87	4.16	0.48	54	0	7.75	7.50	272	278	136	139	14.70
07-Set	1.24	1.49	0.43	15	0	7.90	7.30	290	302	145	151	9.06
08-Set	2.37	2.41	0.40	21	2	7.50	7.35	281	286	141	146	11.04
09-Set	2.37	2.41	0.40	21	2	7.50	7.35	281	286	141	146	11.04

10-Set	6.09	5.80	0.66	67	5	7.70	7.40	245	255	124	128	10.32
11-Set	33.88	5.05	0.61	52	1	7.60	7.30	257	258	129	129	12.49
12-Set	6.14	4.85	0.62	62	0	7.40	7.20	253	257	127	129	10.89
13-Set	5.75	4.91	0.60	57	0	7.70	7.50	249	254	125	127	11.41
14-Set	2.37	2.41	0.40	21	2	7.50	7.35	281	286	141	146	11.04
15-Set	8.42	8.12	0.83	96	1	8.10	7.35	244	251	122	126	10.19
16-Set	7.25	6.17	0.80	68	1	7.80	7.50	245	249	123	125	10.22
17-Set	7.73	6.49	0.74	78	5	8.00	7.35	242	247	121	124	10.36
18-Set	9.31	7.75	0.77	93	1	7.80	7.50	235	237	118	119	14.22
19-Set	9.68	7.09	0.73	73	0	7.60	7.30	238	235	119	118	13.21
20-Set	9.68	7.09	0.73	73	0	7.60	7.30	238	235	119	118	13.21
21-Set	9.31	7.75	0.77	93	1	7.80	7.50	235	237	118	119	14.22
22-Set	47.00	16.83	1.09	115	0	7.70	7.10	229	231	115	116	21.76
23-Set	46.92	16.83	1.09	115	0	7.70	7.10	229	231	115	116	21.76
24-Set	9.04	6.69	0.58	102	0	7.50	7.10	237	244	119	122	19.33
25-Set	9.96	7.67	0.80	87	0	7.60	7.30	223	234	112	117	15.10
26-Set	9.57	7.48	0.84	65	0	7.60	7.40	236	237	118	119	14.91
27-Set	18.59	8.87	0.81	87	0	7.70	7.20	224	222	112	111	18.28
28-Set	46.92	16.83	1.09	115	0	7.70	7.10	229	231	115	116	21.76
29-Set	23.08	10.63	0.94	100	0	7.70	7.20	224	222	112	111	18.28
30-Set	18.59	8.87	0.81	87	0	7.70	7.20	224	222	112	111	18.28

01-Oct	9.35	6.77	0.70	95	3	7.80	7.20	216	223	108	112	19.60
02-Oct	8.81	6.51	0.70	83	0	7.50	7.40	213	223	107	112	18.09
03-Oct	10.12	7.19	0.80	71	0	7.70	7.30	213	225	107	113	15.26
04-Oct	9.23	6.75	0.73	90	3	7.80	7.20	216	223	108	112	19.60
05-Oct	45.96	9.92	0.76	111	4	7.80	7.40	242	249	122	125	23.21
06-Oct	11.92	8.64	0.92	51	0	7.90	7.50	271	277	136	139	20.97
07-Oct	8.58	5.53	0.57	80	0	7.70	7.20	226	230	113	115	21.99
08-Oct	14.41	7.05	0.63	101	2	7.80	7.10	228	236	114	118	23.62
09-Oct	13.66	9.92	0.76	111	4	7.80	7.40	242	249	122	125	23.21
10-Oct	12.52	8.64	0.92	51	0	7.90	7.50	271	277	136	139	20.97
11-Oct	6.20	5.98	0.98	50	2	8.10	7.60	258	270	129	135	21.93
12-Oct	4.70	4.86	0.80	42	0	7.80	7.50	257	261	129	131	16.14
13-Oct	9.31	7.75	0.77	93	1	7.80	7.50	235	237	118	119	14.22
14-Oct	18.59	8.87	0.81	87	0	7.70	7.20	224	222	112	111	18.28
15-Oct	9.31	7.75	0.77	93	1	7.80	7.50	235	237	118	119	14.22
16-Oct	4.74	4.69	0.98	30	0	8.15	7.40	267	273	134	137	15.70
17-Oct	5.42	5.21	0.73	43	0	8.00	7.40	287	294	144	147	17.09
18-Oct	5.15	5.10	0.90	46	0	8.00	7.40	268	275	134	138	15.52
19-Oct	4.84	4.07	0.54	50	0	7.90	7.30	279	281	140	141	12.92
20-Oct	18.59	8.87	0.81	87	0	7.70	7.20	224	222	112	111	18.28
21-Oct	2.37	2.41	0.40	21	2	7.50	7.35	281	286	141	146	11.04

22-Oct	5.63	4.86	0.55	37	0	8.00	7.45	287	294	144	148	17.82
23-Oct	7.86	5.69	0.56	55	0	7.83	7.43	260	267	130	134	17.45
24-Oct	10.17	7.46	0.53	72	0	7.85	7.40	241	247	121	124	17.20
25-Oct	8.38	6.10	0.67	85	3	7.80	7.20	216	223	108	112	19.60
26-Oct	18.59	8.87	0.81	87	0	7.70	7.20	224	222	112	111	18.28
27-Oct	61.21	16.37	0.94	59	3	7.80	7.40	241	245	121	123	19.18
28-Oct	11.54	6.70	0.68	63	0	7.80	7.20	237	239	119	120	16.81
29-Oct	13.41	8.48	0.63	138	3	7.70	7.27	246	257	124	129	22.91
30-Oct	8.34	5.35	0.43	62	0	7.55	7.20	295	302	148	151	19.54
31-Oct	5.65	5.07	0.49	38	0	8.00	7.45	365	373	183	187	16.78
01-Nov	13.23	7.59	0.53	120	0	7.70	7.20	224	222	112	111	18.28
02-Nov	76.60	15.87	0.83	160	0	7.70	7.20	224	222	112	111	18.28
03-Nov	9.31	7.75	0.77	93	1	7.80	7.50	235	237	118	119	14.22
04-Nov	7.38	8.16	0.88	120	0	7.70	7.20	224	222	112	111	18.28
05-Nov	68.34	9.89	1.13	123	0	7.73	7.23	280	295	157	148	19.00
06-Nov	21.83	14.85	2.15	134	7	7.40	7.00	218	199	109	100	19.89
07-Nov	7.80	8.83	1.41	78	0	7.60	7.20	266	273	183	186	19.95
08-Nov	61.21	16.37	0.94	59	3	7.80	7.40	241	245	121	123	19.18
09-Nov	11.54	6.70	0.68	63	0	7.80	7.20	237	239	119	120	16.81
10-Nov	13.41	8.48	0.63	138	3	7.70	7.27	246	257	124	129	22.91
11-Nov	8.34	5.35	0.43	62	0	7.55	7.20	295	302	148	151	19.54

12-Nov	5.65	5.07	0.49	38	0	8.00	7.45	365	373	183	187	16.78
13-Nov	5.63	4.86	0.55	37	0	8.00	7.45	287	294	144	148	17.82
14-Nov	7.86	5.69	0.56	55	0	7.83	7.43	260	267	130	134	17.45
15-Nov	10.17	7.46	0.53	72	0	7.85	7.40	241	247	121	124	17.20
16-Nov	13.41	8.48	0.63	138	3	7.70	7.27	246	257	124	129	22.91
17-Nov	5.56	5.10	1.11	40	1	7.85	7.70	316	322	158	161	11.04
18-Nov	61.21	16.37	0.94	59	3	7.80	7.40	241	245	121	123	19.18
19-Nov	11.54	6.70	0.68	63	0	7.80	7.20	237	239	119	120	16.81
20-Nov	13.41	8.48	0.63	138	3	7.70	7.27	246	257	124	129	22.91
21-Nov	5.56	5.10	1.11	40	1	7.85	7.70	316	322	158	161	11.04
22-Nov	7.65	6.40	1.20	37	1	7.76	7.62	330	336	165	168	9.63
23-Nov	10.04	9.14	1.34	65	6	7.93	7.78	296	298	148	149	8.28
24-Nov	2.37	2.41	0.40	21	2	7.50	7.35	281	286	141	146	11.04
25-Nov	12.82	10.27	1.41	49	9	8.15	7.69	317	313	159	157	10.41
26-Nov	2.37	2.41	0.40	21	2	7.50	7.35	281	286	141	146	11.04
27-Nov	21.83	14.85	2.15	134	7	7.40	7.00	218	199	109	100	19.89
28-Nov	7.80	8.83	1.41	78	0	7.60	7.20	266	273	183	186	19.95
29-Nov	61.21	16.37	0.94	59	3	7.80	7.40	241	245	121	123	19.18
30-Nov	11.54	6.70	0.68	63	0	7.80	7.20	237	239	119	120	16.81
01-Dic	6.83	7.12	1.01	38	3	7.77	7.86	312	318	156	159	9.12
02-Dic	6.48	8.15	1.24	41	3	7.90	7.81	314	322	157	161	8.02

03-Dic	1.90	2.17	0.80	18	0	7.90	7.50	296	300	149	150	11.85
04-Dic	1.90	2.17	0.80	18	0	7.90	7.50	296	300	149	150	11.85
05-Dic	5.56	5.10	1.11	40	1	7.85	7.70	316	322	158	161	11.04
06-Dic	7.65	6.40	1.20	37	1	7.76	7.62	330	336	165	168	9.63
07-Dic	10.04	9.14	1.34	65	6	7.93	7.78	296	298	148	149	8.28
08-Dic	2.37	2.41	0.40	21	2	7.50	7.35	281	286	141	146	11.04
09-Dic	12.82	10.27	1.41	49	9	8.15	7.69	317	313	159	157	10.41
10-Dic	1.90	2.17	0.80	18	0	7.90	7.50	296	300	149	150	11.85
11-Dic	38.65	15.49	33.68	183	8	7.83	7.40	159	168	79	84	31.79
12-Dic	126.40	16.02	3.59	109	5	7.80	7.40	163	170	81	85	30.90
13-Dic	167.78	32.61	3.08	120	4	7.90	7.44	170	196	85	98	32.37
14-Dic	31.91	24.33	3.52	141	1	8.39	7.71	184	187	92	94	27.15
15-Dic	83.08	15.49	33.68	183	0	7.83	7.40	159	168	79	84	31.79
16-Dic	78.37	23.52	3.83	123	3	8.09	7.38	137	137	69	70	32.06
17-Dic	43.64	20.46	3.77	201	6	7.75	7.42	125	132	62	66	30.93
18-Dic	38.65	15.49	33.68	183	2	7.83	7.40	159	168	79	84	31.79
19-Dic	126.40	15.49	33.68	183	2	7.83	7.40	159	168	79	84	31.79
20-Dic	235.53	17.06	3.46	135	2	7.80	7.40	144	156	75	78	29.72
21-Dic	30.99	18.39	3.57	101	2	7.90	7.30	160	168	80	84	27.76
22-Dic	117.85	24.33	3.52	141	1	8.39	7.71	184	187	92	94	27.15
23-Dic	73.12	24.33	3.52	141	1	8.39	7.71	184	187	92	94	27.15

24-Dic	13.45	15.49	33.68	183	0	7.83	7.40	159	168	79	84	31.79
25-Dic	54.62	23.52	3.83	123	17	8.09	7.38	137	137	69	70	32.06
26-Dic	46.05	15.49	33.68	183	2	7.83	7.40	159	168	79	84	31.79
27-Dic	18.59	8.87	0.81	87	0	7.70	7.20	224	222	112	111	18.28
28-Dic	51.06	9.49	2.08	65	7	7.70	7.10	198	201	99	101	14.29
29-Dic	29.23	9.39	1.92	67	2	8.20	7.10	198	205	99	104	20.62
30-Dic	10.79	9.46	2.24	68.00	2	8.20	7.20	186	191	93	68	21.28
31-Dic	21.27	24.33	3.52	141	1	8.39	7.71	184	187	92	94	27.15
01-Ene	86.33	15.96	2.95	89	8	7.70	6.90	170	170	86	85	22.52
02-Ene	16.53	17.11	3.33	81	7	7.80	6.90	164	156	82	78	25.68
03-Ene	9.97	24.33	3.52	141	1	8.39	7.71	184	187	92	94	27.15
04-Ene	9.78	15.49	33.68	183	0	7.83	7.40	159	168	79	84	31.79
05-Ene	15.51	23.52	3.83	123	17	8.09	7.38	137	137	69	70	32.06
06-Ene	43.66	24.33	3.52	141	1	8.39	7.71	184	187	92	94	27.15
07-Ene	28.83	38.24	0.85	40	2	8.10	7.70	235	241	117	120	15.35
08-Ene	14.95	3.13	0.80	39	10	8.00	7.55	236	244	118	122	17.72
09-Ene	225.09	18.01	2.34	103	19	7.80	6.90	174	175	87	88	28.46
10-Ene	19.51	16.66	3.00	128	12	7.60	6.80	163	167	82	84	27.74
11-Ene	11.34	11.39	2.54	100	10	7.60	6.80	186	191	93	68	21.28
12-Ene	9.41	9.49	2.08	65	7	7.70	7.10	198	201	99	101	14.29
13-Ene	17.31	9.39	1.92	67	2	8.20	7.10	198	205	99	104	20.62

14-Ene	8.65	38.24	0.85	40	2	8.10	7.70	235	241	117	120	15.35
15-Ene	5.24	3.13	0.80	39	1	8.00	7.55	236	244	118	122	17.72
16-Ene	8.11	5.87	1.22	86	1	8.00	7.40	227	231	114	116	17.62
17-Ene	4.26	3.13	0.80	39	1	8.00	7.55	236	244	118	122	17.72
18-Ene	3.94	4.72	1.12	30	0	8.20	7.40	231	237	116	119	14.79
19-Ene	4.45	4.40	1.19	38	4	8.20	7.30	234	244	117	122	18.68
20-Ene	4.63	5.67	1.17	53	8	8.10	7.30	222	230	111	115	16.98
21-Ene	18.59	8.87	0.81	87	0	7.70	7.20	224	222	112	111	18.28
22-Ene	15.54	5.47	1.21	37	1	8.10	7.40	225	230	113	115	18.63
23-Ene	16.41	9.94	1.39	84	0	8.00	7.10	200	204	100	102	22.41
24-Ene	6.61	6.68	1.53	52	0	8.10	7.60	208	206	104	103	19.70
25-Ene	4.38	5.47	1.21	37	1	8.10	7.40	225	230	113	115	18.63
26-Ene	17.06	10.65	1.34	64	8	8.20	7.50	201	201	101	101	21.27
27-Ene	82.72	17.74	1.79	616	9	8.20	7.40	54	181	27	91	31.02
28-Ene	13.87	7.11	1.57	167	5	8.50	7.50	205	209	103	105	18.58
29-Ene	17.06	10.65	1.34	64	8	8.20	7.50	201	201	101	101	21.27
30-Ene	82.72	17.74	1.79	616	9	8.20	7.40	54	181	27	91	31.02
31-Ene	17.20	11.70	2.11	179	2	8.00	7.10	142	143	71	71	25.04
01-Feb	8.59	9.09	1.62	94	6	7.60	7.30	183	188	93	94	19.47
02-Feb	10.35	8.80	2.09	132	12	7.90	7.30	178	178	89	89	20.77
03-Feb	41.97	8.70	1.93	66	10	8.10	7.30	180	185	90	92	27.20

04-Feb	38.14	20.67	2.57	144	12	7.90	7.50	136	132	65	66	20.45
05-Feb	22.23	24.33	3.52	141	1	8.39	7.71	184	187	92	94	27.15
06-Feb	14.10	11.27	2.64	124	15	8.00	7.40	150	149	75	75	28.38
07-Feb	38.14	20.67	2.57	144	12	7.90	7.50	136	132	65	66	20.45
08-Feb	57.87	19.57	2.47	253	12	8.30	7.30	111	138	56	62	23.88
09-Feb	26.54	15.71	2.57	203	5	7.33	6.85	135	145	68	72	22.69
10-Feb	25.14	13.58	3.02	204	13	6.65	6.60	154	158	77	79	22.32
11-Feb	19.89	3.13	0.80	39	10	8.00	7.55	236	244	118	122	17.72
12-Feb	18.68	14.21	2.84	178	15	8.20	7.40	146	150	73	75	24.68
13-Feb	42.16	20.99	3.05	230	13	8.80	7.50	152	162	76	81	20.86
14-Feb	20.76	12.09	3.11	157	14	8.00	7.20	164	167	82	83	19.12
15-Feb	8.27	7.91	1.68	95	10	7.05	6.75	184	189	92	94	19.71
16-Feb	7.09	6.56	1.93	91	1	7.35	7.20	196	192	99	97	19.16
17-Feb	7.62	7.14	1.77	71	8	6.80	6.70	191	196	96	98	21.49
18-Feb	27.48	3.13	0.80	39	7	8.00	7.55	236	244	118	122	17.72
19-Feb	16.91	3.13	0.80	39	6	8.00	7.55	236	244	118	122	17.72
20-Feb	12.94	24.33	3.52	141	1	8.39	7.71	184	187	92	94	27.15
21-Feb	21.34	9.24	2.49	110	5	7.40	6.70	182	177	88	86	23.83
22-Feb	22.65	11.42	5.79	116	10	7.25	6.65	186	145	93	95	23.88
23-Feb	39.82	14.24	2.82	146	4	7.20	6.60	164	166	82	83	22.90
24-Feb	85.42	14.21	2.84	178	15	8.20	7.40	146	150	73	75	24.68

25-Feb	23.68	11.11	2.17	154	12	7.35	6.60	143	144	72	72	24.27
26-Feb	38.01	11.37	2.51	171	11	7.40	6.70	143	148	71	74	19.73
27-Feb	19.25	14.21	2.84	178	15	8.20	7.40	146	150	73	75	24.68
28-Feb	111.25	9.24	2.49	110	10	7.40	6.70	182	177	88	86	23.83
01-Mar	24.38	18.17	2.51	178	9	7.50	6.70	143	140	71	70	23.26
02-Mar	33.76	16.02	3.18	339	10	7.50	6.65	136	149	68	74	23.16
03-Mar	27.33	14.21	2.84	178	15	8.20	7.40	146	150	73	75	24.68
04-Mar	54.47	14.21	2.84	178	15	8.20	7.40	146	150	73	75	24.68
05-Mar	20.59	14.91	2.75	226	10	7.35	6.70	127	134	63	67	25.34
06-Mar	29.20	19.64	3.06	215	9	7.40	6.65	110	124	55	61	27.03
07-Mar	20.18	14.55	2.64	298	10	7.55	6.70	111	131	56	65	25.86
08-Mar	23.91	14.24	2.82	146	12	7.20	6.60	164	166	82	83	22.90
09-Mar	58.13	14.21	2.84	178	15	8.20	7.40	146	150	73	75	24.68
10-Mar	35.35	12.19	3.35	208	12	7.45	6.70	166	159	70	75	21.64
11-Mar	14.60	11.64	3.26	161	9	7.50	6.70	152	158	77	79	18.55
12-Mar	28.81	11.98	3.03	130	10	7.50	7.05	162	160	82	80	16.46
13-Mar	28.05	14.21	2.84	178	15	8.20	7.40	146	150	73	75	24.68
14-Mar	11.15	14.21	2.84	178	15	8.20	7.40	146	150	73	75	24.68
15-Mar	20.91	13.35	2.44	119	14	7.50	7.00	150	165	74	82	17.43
16-Mar	23.71	14.24	2.82	146	12	7.20	6.60	164	166	82	83	22.90
17-Mar	9.62	9.54	2.61	74	9	7.45	6.85	160	163	80	81	18.29

18-Mar	18.59	8.87	0.81	87	12	7.70	7.20	224	222	112	111	18.28
19-Mar	8.64	6.71	1.93	165	3	8.50	7.70	150	190	84	95	18.24
20-Mar	28.99	14.00	2.22	153	4	8.40	7.90	194	187	97	94	19.26
21-Mar	8.05	8.35	1.70	69	1	8.10	7.90	195	224	98	112	17.99
22-Mar	5.28	5.64	1.44	64	6	6.10	6.90	183	188	93	94	17.00
23-Mar	5.30	5.62	1.49	54	5	7.30	6.65	193	194	97	97	15.61
24-Mar	4.66	5.54	1.40	43	7	7.00	7.70	191	198	96	96	16.50
25-Mar	4.22	4.82	1.28	24	6	8.30	7.80	198	202	99	101	15.72
26-Mar	4.88	5.46	1.20	28	2	7.60	7.30	194	198	97	99	16.73
27-Mar	4.23	4.82	1.69	41	3	7.00	7.70	189	190	95	95	15.86
28-Mar	4.81	5.42	1.60	30	0	8.30	7.80	194	201	97	101	16.51
29-Mar	3.49	4.20	1.46	39	2	7.80	7.30	191	196	96	98	16.67
30-Mar	21.57	5.92	1.81	44	1	7.70	7.30	192	200	92	100	17.15
31-Mar	3.62	14.21	2.84	178	15	8.20	7.40	146	150	73	75	24.68
01-Abr	2.86	3.65	0.63	41	0	7.90	7.30	192	190	96	95	13.67
02-Abr	2.74	3.27	0.70	23	1	7.90	7.35	195	201	98	101	13.34
03-Abr	27.91	24.33	3.52	141	1	8.39	7.71	184	187	92	94	27.15
04-Abr	15.22	15.49	33.68	183	0	7.83	7.40	159	168	79	84	31.79
05-Abr	7.32	23.52	3.83	123	17	8.09	7.38	137	137	69	70	32.06
06-Abr	9.33	14.21	2.84	178	15	8.20	7.40	146	150	73	75	24.68
07-Abr	54.00	8.78	1.87	23	0	8.20	7.71	192	195	96	97	22.48

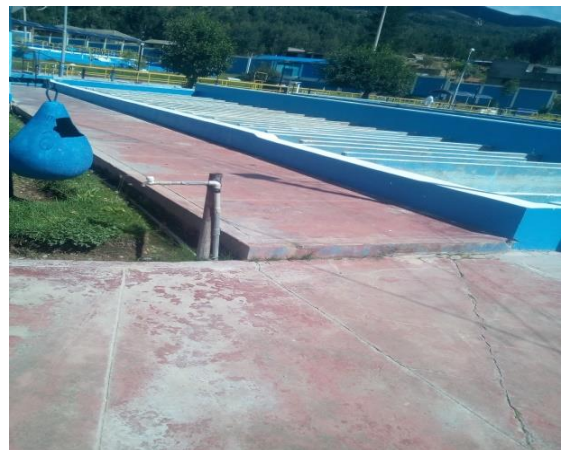
08-Abr	3.59	4.95	0.90	69	0	8.90	7.40	170	175	85	87	13.34
09-Abr	2.86	3.65	0.63	41	0	7.90	7.30	192	190	96	95	13.67
10-Abr	6.19	4.29	0.80	69	0	7.80	7.40	190	198	95	99	14.87
11-Abr	10.01	5.57	1.00	37	1	7.80	7.40	198	193	99	92	17.64
12-Abr	46.90	11.80	1.07	145	15	7.70	7.20	145	149	66	75	23.88
13-Abr	137.43	17.17	1.57	310	15	7.90	7.30	97	97	49	49	35.49
14-Abr	25.61	14.24	2.82	146	14	7.20	6.60	164	166	82	83	22.90
15-Abr	26.10	14.21	2.84	178	15	8.20	7.40	146	150	73	75	24.68
16-Abr	13.62	10.76	1.98	180	15	8.20	7.45	150	162	75	86	17.85
17-Abr	36.25	15.88	2.51	390	12	8.20	7.20	140	174	70	87	21.15
18-Abr	13.56	11.77	1.97	138	15	8.00	7.40	141	145	70	72	19.69
19-Abr	9.04	14.10	2.84	178	15	8.20	7.40	146	150	73	75	24.50
20-Abr	6.10	14.21	2.84	178	15	8.20	7.30	146	150	73	75	24.68
21-Abr	4.54	5.74	1.71	54	12	7.80	7.40	189	194	100	97	19.37
22-Abr	10.85	5.64	1.56	58	11	7.80	7.40	193	195	97	97	15.04
23-Abr	8.74	8.07	1.88	78	12	7.70	7.20	172	178	86	89	20.52
24-Abr	4.64	6.32	1.83	70	10	7.90	7.30	180	184	90	92	18.44
25-Abr	9.38	7.18	1.51	56	12	7.20	6.60	179	187	90	94	19.99
26-Abr	5.46	6.73	1.85	72	8	8.20	7.40	180	175	90	88	18.64
27-Abr	4.31	5.50	1.75	43	2	8.20	7.45	185	194	93	97	17.78
28-Abr	5.43	38.24	0.85	40	3	8.10	7.70	235	241	117	120	15.35

29-Abr	4.05	3.13	0.80	39	3	8.00	7.55	236	244	118	122	17.72
30-Abr	3.58	4.67	1.30	25	0	7.70	7.50	198	209	99	105	19.93
01-May	3.29	4.40	1.42	19	5	8.00	7.70	196	205	99	100	19.76
02-May	4.05	5.88	1.21	13	0	8.00	7.60	199	188	99	95	17.75
03-May	4.48	38.24	0.85	40	0	8.10	7.70	235	241	117	120	15.35
04-May	3.02	3.13	0.80	39	2	8.00	7.55	236	244	118	122	17.72
05-May	2.73	3.53	1.27	14	0	7.70	7.50	207	221	104	110	17.38
06-May	2.57	3.73	1.30	17	3	8.10	7.55	216	225	108	115	18.93
07-May	2.51	2.85	1.10	18	1	7.80	7.40	226	226	113	113	15.90
08-May	2.32	3.76	1.17	17	0	7.60	7.50	223	226	112	115	14.31
09-May	2.19	2.64	0.90	18	0	8.05	7.60	226	230	112	115	10.32
10-May	2.26	2.48	0.79	9	0	8.00	7.50	230	235	115	118	11.01
11-May	2.03	2.35	0.67	13	0	8.05	7.85	230	233	114	117	9.54
12-May	2.17	2.40	0.75	9	0	8.30	7.70	233	238	117	118	9.97
13-May	1.93	2.43	0.63	9	0	8.30	7.70	233	236	117	118	10.37
14-May	1.70	2.47	0.82	12	0	8.30	7.75	236	244	119	122	12.92
15-May	1.87	38.24	0.85	40	1	8.10	7.70	235	241	117	120	15.35
16-May	1.90	3.13	0.80	39	0	8.00	7.55	236	244	118	122	17.72
17-May	1.83	2.65	0.86	20	0	8.40	7.53	238	244	119	122	18.29
18-May	11.54	14.21	2.84	178	15	8.20	7.40	146	150	73	75	24.68
19-May	4.39	4.87	1.06	14	0	8.20	7.60	238	239	118	119	18.35

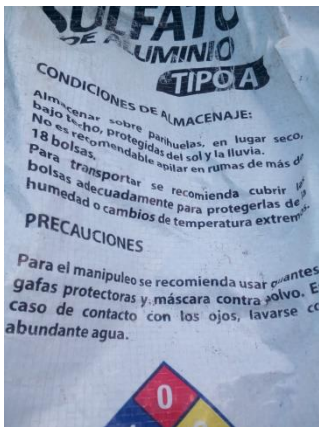
20-May	3.05	4.12	0.79	19	0	7.80	7.70	232	232	116	116	17.11
21-May	4.23	3.39	0.79	18	0	8.15	7.65	239	237	119	119	15.44
22-May	3.37	3.30	0.88	19	0	7.90	7.40	245	249	121	124	16.14
23-May	3.00	14.21	2.84	178	15	8.20	7.40	146	150	73	75	24.68
24-May	2.91	3.35	0.64	18	0	7.90	7.60	244	248	122	124	13.12
25-May	28.58	7.54	1.02	101	0	8.10	7.55	246	252	123	127	18.49
26-May	21.74	8.42	1.31	25	0	8.10	7.60	253	255	128	127	15.53
27-May	3.40	4.30	1.18	10	0	8.40	7.60	261	262	131	130	15.73
28-May	3.43	4.38	0.90	31	1	7.90	7.55	259	265	130	133	14.77
29-May	7.69	5.25	1.31	55	0	7.90	7.55	258	265	129	133	15.80
30-May	3.72	38.24	0.85	40	0	8.10	7.70	235	241	117	120	15.35
31-May	3.22	3.13	0.80	39	2	8.00	7.55	236	244	118	122	17.72

ANEXO 4

PLANTA DE AGUA POTABLE SEDAM HUANCAYO - VILCACOTO



SULFATO DE ALUMINIO TIPO A EN LA PLANTA SEDAM HUANCAYO - VILCACOTO



INYECTANDO EL COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO EN LA NUEVA PLANTA SEDAM



GENERACIÓN DE FLOCS EN LA NUEVA PLANTA SEDAM HUANCAYO



EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA Y DOSIFICACIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO EN LA PLANTA SEDAM HUANCAYO



LABORATORIO DE LA PLANTA SEDAM HUANCAYO – VILCACOTO



