

a) Seleccionar las características geométricas del tipo de unidad elegida: canaleta Parshall, plano inclinado (rampa), vertedero rectangular sin contracciones o triangular, dependiendo del caudal de diseño. La canaleta Parshall sólo se recomienda para caudales mayores de 200 l/s. Los vertederos rectangulares son recomendables para caudales menores a 100 l/s, y los triangulares para caudales menores a 50 l/s.

b) Comprobar si se cumplen las condiciones hidráulicas para que la mezcla sea adecuada: - Número de Froude de 4.5 a 9 (salto estable). En caso de canaleta Parshall, el número de Froude es de 2 a 3 (salto no estable).

- Gradiente de velocidad de 700 a 1,300 s⁻¹.

- Tiempo de retención instantáneo de menos de 0.1 a 7 s como máximo.

- Modificar la geometría de la unidad hasta que se consigan condiciones de mezcla apropiadas.

Los mezcladores del tipo de resalto hidráulico son ideales para aguas que mayormente coagulan por el mecanismo de adsorción.

En el caso de unidades del tipo de resalto hidráulico la aplicación del coagulante deberá distribuirse uniformemente a todo lo ancho del canal.

Floculación

Requisitos generales

En sistemas de más de 50 l/s de capacidad, los parámetros óptimos de diseño de la unidad, gradiente de velocidad (G) y tiempo de retención (T) deberán seleccionarse mediante simulaciones del proceso en el equipo de prueba de jarras.

Para cada tipo de agua deberá obtenerse la ecuación que relaciona los parámetros del proceso, que es de la forma $G_n \cdot T = K$, donde (n) y (K) son específicos para cada fuente y sus variaciones.

En sistemas de menos de 50 l/s de capacidad, se puede considerar un rango de gradientes de velocidad de 70 a 20 s⁻¹ y un tiempo de retención promedio de 20 minutos.

Los gradientes de velocidad deberán disponerse en sentido decreciente, para acompañar el crecimiento y formación del floculo.

En todos los casos deberá diseñarse un sistema de desagüe que permita vaciar completamente la unidad.

Criterios para los floculadores hidráulicos de pantallas

a) Pueden ser de flujo horizontal o vertical. Las unidades de flujo horizontal son apropiadas para sistemas de menos de 50 l/s de capacidad; en sistemas por encima de este límite se deberá usar exclusivamente unidades de flujo vertical.

b) Las pantallas deberán ser removibles y se podrá considerar materiales como: tabiques de concreto prefabricado, madera machihembrada, fibra de vidrio, planchas de asbesto cemento

corrugadas o planas, etc. En lugares de alto riesgo sísmico y en donde no exista garantía de adecuado nivel de operación y mantenimiento, deberá evitarse el uso de las planchas de asbesto cemento.

Sedimentación con Coagulación Previa

Requisitos

Sedimentadores de flujo horizontal

- a) Tasa superficial: la determinación de la tasa superficial deberá realizarse experimentalmente, simulando el proceso en el laboratorio.
- b) Las tasas superficiales varían entre 15 y 60 m³/(m².d), dependiendo del tamaño de las instalaciones, tipo de operación y tecnología adoptada.
- c) Se debe tener presente que las condiciones de diseño de los sedimentadores dependerán también del tipo de filtros proyectados, por ello, la sedimentación y filtración deben proyectarse como procesos complementarios.
- d) La velocidad media del flujo para el caudal máximo de diseño deberá ser inferior de 0.55 cm/s.
- e) Periodo de retención y profundidad: deberá estar comprendido entre 1½ y 5 horas y las profundidades entre 3 y 5 m. En los sedimentadores con dispositivos para la remoción continua de lodo se considerará útil toda la profundidad. En los sedimentadores sujetos a limpieza periódica, se considerará una parte de la profundidad total como espacio destinado a la acumulación normal de lodos. Se recomienda que el volumen para el almacenamiento de lodos sea 10 a 20% del volumen del sedimentador.
- f) Los sedimentadores serán de forma rectangular: - La relación largo-ancho deberá estar entre 2 a 1 y 5 a 1. - La relación largo-profundidad deberá estar entre 5 a 1 y 20 a 1.
- g) Se deberá adoptar un mínimo de dos unidades, de tal manera que cuando se suspenda de operación una, se pueda seguir operando con la otra. En el diseño se debe tener en cuenta que cuando una unidad sale de operación, los remanentes deben operar con la tasa de diseño seleccionada.
- h) Los conductos o canales de agua floculada deben asegurar una distribución uniforme del flujo a los diversos sedimentadores sin cortocircuitos hidráulicos. En una estructura de distribución se aceptará como máximo una desviación de 5% en el reparto de caudales.

Filtros Lentos de Arena

Requisitos generales

La turbiedad del agua cruda, sedimentada o prefiltrada del afluente deberá ser inferior a 50 UNT, se podrán aceptar picos de turbiedad no mayores de 100 UNT por pocas horas (no más de 4 horas).

Lecho filtrante

a) La grava se colocará en tres capas, la primera de 15 cm, con tamaños de 19 a 50 mm, seguida de dos capas de 5 cm de espesor cada una, con tamaños de 9.5 mm a 19 mm y de 3 mm a 9.5 mm, respectivamente. No debe colocarse grava en zonas cercanas a las paredes o a las columnas.

b) El espesor de la arena deberá ser de 80 a 100 cm. El valor mínimo considerado, después de raspados sucesivos durante la operación de limpieza, será de 50 cm.

c) El tamaño efectivo de la arena debe estar entre 0.2 a 0.3 mm, y el coeficiente de uniformidad no mayor de 3.

Caja de filtro

a) Los filtros podrán ser circulares o rectangulares y el área máxima deberá ser de 50 m² cuando la limpieza se efectúe en forma manual. Las paredes verticales o inclinadas y el acabado en el tramo en el que se localiza el lecho filtrante, debe ser rugoso para evitar cortocircuitos.

b) El sistema de drenaje, podrá ser:

b.1. Drenes formados por un colector principal y un número adecuado de ramales laterales. La pérdida de carga máxima en este sistema no deberá ser mayor que el 10% de la pérdida de carga en la arena, cuando ésta se encuentra con su altura mínima (50 cm) y limpia. Este sistema es apropiado para unidades de sección circular.

b.2 Canales formados por ladrillos colocados de canto y asentados con mortero, cubiertos encima con otros ladrillos colocados de plano (apoyados en su mayor superficie) y separados con ranuras de 2 cm, que drenan hacia un colector central. Con este tipo de drenaje se consigue una recolección uniforme del flujo en toda la sección y la pérdida de carga es prácticamente nula. Es apropiado para unidades de sección rectangular y cuadrada.

La altura máxima de agua en la caja de filtro deberá ser de 0.80 a 1.0 m. 5.6.2.11.

La estructura de salida deberá estar conformada por:

a) Un vertedero de salida de agua filtrada, ubicado a 0.10 m por encima del nivel del lecho filtrante para evitar que la película biológica quede sin la protección de una capa de agua. Este vertedero descargará hacia una cámara de recepción de agua filtrada.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general



el método de Coagulación – Floculación será m efectivo frente método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar) para la remoción de arsénico en agua de consumo humano en la ciudad de Calca.

2.3.2. Hipótesis Específicas





1. La eficacia en remoción del método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar) será menor frente al método de Coagulación - Floculación para la remoción de arsénico en agua de consumo humano en la ciudad de Calca.
2. La eficiencia remoción del método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar) será menor frente al método de Coagulación - Floculación para la remoción de arsénico en agua de consumo humano en la ciudad de Calca.

2.4. Definición de variables

2.4.1. Variables dependientes

-  Efectividad del método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar).
-  Efectividad del método Coagulación – Floculación

2.4.2. Variables intermitentes

-  Eficacia remoción del método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar).
-  Eficacia remoción del método Coagulación – Floculación.
-  Eficiencia remoción del método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar).
-  Eficiencia remoción del método Coagulación – Floculación.

2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables

Tipo de Variable	Denominación de la Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Variable dependiente Y1	Efectividad del método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar). Efectividad del método Coagulación – Floculación.	Eficacia Eficiencia	Porcentaje de remoción Tiempo de remoción Costo de implementación	Análisis de laboratorio. Estimación de tiempo. Presupuesto por método.
Variable intermitente X1	Eficacia remoción del método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar). Eficacia remoción del método Coagulación – Floculación.	Eficacia remoción del método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar). Eficacia remoción del método Coagulación – Floculación	Contenido inicial y final de As.	Ensayos de laboratorio.
Variable intermitente X2	Eficiencia remoción del método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar). Eficiencia remoción del método Coagulación – Floculación.	Eficiencia remoción del método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar). Eficiencia remoción del método Coagulación – Floculación.	Horas, minutos o segundos	Pruebas experimentales Costo total del método.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Enfoque de la investigación

Hernández, Fernández, & Baptista, 2014 sostienen que: El enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

La investigación realizada según el enfoque es CUANTITATIVA porque las recolecciones de datos se fundamentan en la medición de las variables o conceptos contenidos en la hipótesis respecto al método RAOS y al método de Coagulación – Floculación para la remoción del arsénico en agua potable.

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas. (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014)

El nivel de la investigación es DESCRIPTIVO, ya que se determinará el grado de remoción más efectivo según los dos métodos a ser analizados.

3.1.3. Método de investigación

El método de investigación es HIPOTÉTICO DEDUCTIVO, ya que observaremos y analizaremos cual es el método más efectivo para la remoción del arsénico en el agua potable, y así poder probar la certeza de la hipótesis. (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014)

3.2. Diseño de la investigación

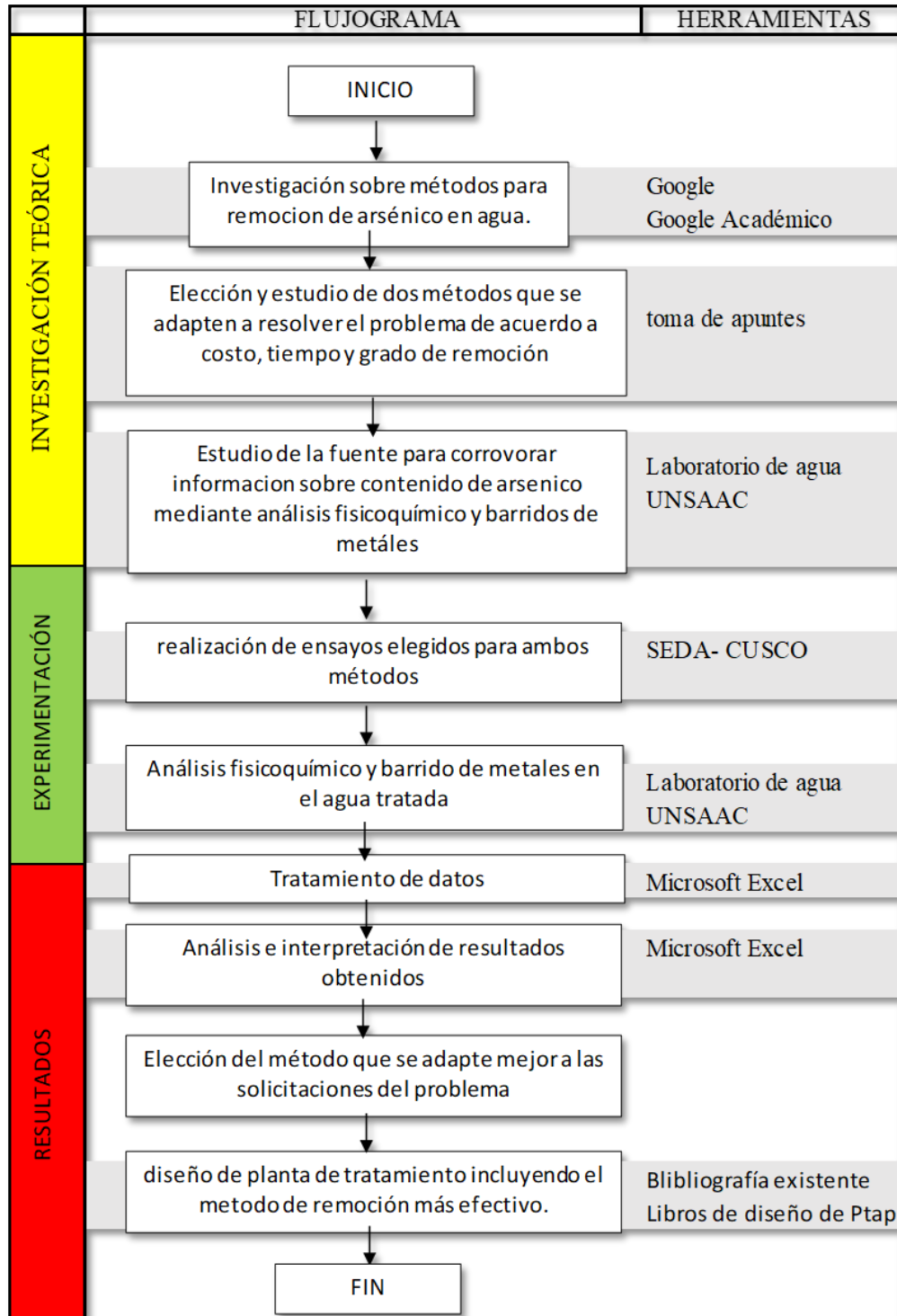
3.2.1. Diseño metodológico

El tipo de diseño es EXPERIMENTAL ya con este tipo de diseño se pretende realizar una serie de acciones y después mediante la observación ver los efectos que produjo. “un experimento se lleva a cabo para analizar si una o más variables independientes afectan a una o más variables dependientes y porque lo hacen” (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014)

3.2.2. Diseño de ingeniería

El siguiente apéndice muestra el flujograma que permitió representar visualmente los pasos y acciones que involucran el proceso de análisis de gabinete y recopilación de datos.

TABLA 5 Flujograma



FUENTE: Elaboración propia

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

3.3.1.1. Descripción de la población

La población está compuesta por el sector 2, que comprende 9 fuentes de captación en actividad administradas por la Empresa Municipal Prestadora de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado (EMSAPA CALCA S.A.) creado por la Municipalidad de Calca el 11 de abril de 1991 para la administración de los servicios de agua potable y alcantarillado en la provincia de Calca.

Estas fuentes se encuentran ubicadas en el sector de Accha Baja a 15 minutos de la Ciudad de Calca, las cuales son manantiales de tipo ladera.

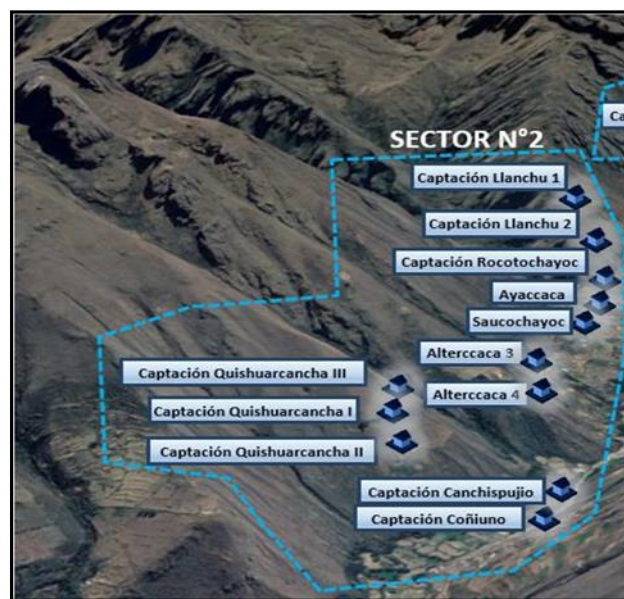


FIGURA 39: Vista del sector 2 de captaciones de manantiales.
FUENTE: Gerencia de Regulación Tarifaria - SUNASS

SECTOR	CAPTACION	CAUDAL MÁXIMO (L/S)	CAUDAL MÍNIMO (L/S)
2	LLANCHU 1	0.1	0.1
	LLANCHU 2	0.5	0.1
	ROCOTOCHAYOC	0.5	0.1
	AYACCACA	14	9
	ALTARCCACCA 3 Y 4	0.4	9.4
	QUISHUARCANCHA I	12	0
	QUISHUARCANCHA II	12	8
	QUISHUARCANCHA III	4	1
	CANCHISPUJIO	4	2
	COÑIUNO	4	6
SAUCOCHAYOC	1.1	0	

FIGURA 40: Caudales del sector 2 de captaciones de manantiales.
FUENTE: Propia

3.3.1.2. Cuantificación de la población

La población de esta investigación está conformada por 9 captaciones de tipo manantial de ladera, como se visualiza en la siguiente tabla.

TABLA 6 Fuentes de captaciones

SECTOR	CAPTACION	CAUDAL PROMEDIO (L/S)	CAUDAL ACUMULATIVO (L/S)
2	LLANCHU 1Y2	INACTIVO	INACTIVO
	ROCOTOCHAYOC	INACTIVO	INACTIVO
	AYACCACA	11.5	11.5
	ALTARCCACCA 3 Y 4	0.4	11.9
	QUISHUARCANCHA I, II, III	18.5	30.4
	CANCHISPUJIO	3	33.4
	COÑIUNO	4	37.4
	SAUCOCHAYOC	1.1	38.5

FUENTE: Elaboración propia.

3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la muestra

Para la muestra de la investigación se seleccionó la captación manantial de ladera AYACCACA, esta selección se realizó por ser esta captación la que presenta los niveles más altos en contenido de arsénico, que se demuestra con los estudios de los años 2017, 2018, 2019 en los que arroja contenidos de 0.05244 mg/L, 0.0572 mg/L y 0.053 mg/L proporcionados por la empresa prestadora del servicio EMSAPA CALCA S.A. respectivamente, cabe resaltar que el contenido máximo permitido de este metal en agua de consumo humano es de 0.01 mg/L. Para este trabajo de investigación se corroboró estos estudios con el análisis de contenido de arsénico mediante el método AS AGUAS ZEEMAN, donde se utilizó el equipo Horno de Grafito. Teniendo como resultado el promedio aritmético de las 3 lecturas de 0.05085 mg/L, realizado en el Laboratorio de Cromatografía y Espectrometría – en el Área Adsorción Atómica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.



*FIGURA 41: Captación Manantial de Ladera Ayaccaca.
FUENTE: Elaboración propia*

En las figuras 41 y 42 se muestra el contenido de arsénico del manante AYACCACA en los años 2017, 2019 y el realizado en septiembre del año mismo respectivamente, para corroborar que el contenido de arsénico represente el que muestras los estudios anteriores.

AGQ **INFORME DE ENSAYO**

Nº de Referencia: A-17/019519
 Descripción: MANANTE AYACCACCA
 Tipo Muestra: Agua de Manantial/Pozo
 Fecha Fin: 07/04/2017

RESULTADOS ANALITICOS				
Parámetro	Resultado	Incert	Unidades	CMA
Metales Totales				
Aluminio Total	0,009	± 13 %	mg/L	
Antimonio Total	< 0,00002	± 13 %	mg/L	
Arsénico Total	0,05244	± 13 %	mg/L	
Bario Total	0,0445	± 14 %	mg/L	
Borato Total	0,00000	± 13 %	mg/L	

*FIGURA 42 : Cantidad de arsénico en la Fuente en fecha 07/04/2017.
FUENTE: EMSAPA- CALCA.*

Parámetro	Resultado	Incert	Unidades	CMA
Formas Nitrogenadas/Fosforadas				
13 Fósforo Total	0,020	±18%	mg/L	
Aniones -				
3 Nitratos	4	±7,1%	mg/L	50
Metales Totales				
13 Aluminio Total	0,050	±11%	mg/L	
13 Antimonio Total	0,00021	±10%	mg/L	0,200
13 Arsénico Total	0,00525	±12%	mg/L	
13 Bario Total	0,2900	±7%	mg/L	0,01000

FIGURA 43 Cantidad de arsénico en la Fuente en fecha 03/01/2019
FUENTE: EMSAPA- CALCA.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

La muestra de la investigación está comprendida por la captación AYACCAYA, la cual presenta 0.05085 mg/L de arsénico información que se extrae del último análisis realizado en el Laboratorio de Cromatografía y Espectrometría – en el Área Adsorción Atómica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, donde notamos claramente que está excediendo el LMP de 0.01 mg/L. Se encuentra ubicada en el distrito de Accha Baja a 15 minutos de viaje en carro de la ciudad de Calca.

TABLA 7 Contenido de arsénico en manantes

SECTOR	CAPTACION	CONTENIDO DE ARSENICO (MGR/L)
2	LLANCHU 1Y2	INACTIVO
	ROCOTOCHAYOC	INACTIVO
	AYACCACA	0.05085
	ALTARCCACCA 3 Y 4	SIN ESTUDIO
	QUISHUARCANCHA I, II, III	0.02335
	CANCHISPUJIO	0.00300
	COÑIUNO	0.00315
	SAUCOCHAYOC	SIN ESTUDIO

FUENTE: Elaboración propia.






3.3.2.3. Método de muestreo

El método de muestreo elegido es NO PROBABILÍSTICO, es decir no se utilizó formulas estadísticas para determinar la cantidad de la muestra, efectuando así mediante criterio

propio. Afirma Hernández, Fernández & Baptista, (2000) *“las muestras no probabilísticas o muestras dirigidas, deducen un procedimiento de selección informal y poco arbitrario. Aun así, se utilizan en muchas investigaciones y a partir de ella se hacen las inferencias sobre la población”*.




3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra

La muestra se evaluó mediante los Parámetros y Límites Máximos Permisibles expuestos por el Reglamento De La Calidad De Agua Para Consumo Humano – MINSA, que a su vez están regidos por la OMS.

-  Determinación de los Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica, como más importantes el pH, Turbidez, color.
-  Determinación de los Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos y orgánicos, en específico el arsénico.
-  Como también las Tecnologías de Remoción de Arsénico.
-  Procedimiento del método de Coagulación – Floculación mediante el equipo teste de jarras
-  Procedimiento del método de Remoción por Oxidación Solar (RAOS), mediante radiación solar.

3.3.3. Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión que se consideraron son:

-  El contenido de arsénico excedente al límite máximo permisible estipulado en las guías de calidad de agua para el consumo humano.
-  Los problemas de salud que se produce por el consumo de agua con altos contenidos de arsénico.
-  Siendo AYACCACA la segunda captación con un caudal promedio de 11.50 l/s y conteniendo 0.05085 mg/L de arsénico, lo cual excede los LMP y llegando a los domicilios sin ningún tratamiento para la remoción de arsénico.

3.4. Instrumentos

3.4.1. Instrumentos metodológicos

Para la recolección de datos se hizo uso de las diferentes herramientas que existen para desarrollar esta importante etapa de la investigación.

3.4.1.1. Entrevista

Mediante una primera entrevista personal en el anterior gerente ING. Mauro Corimanya Enríquez de la EPS EMSAPA-CALCA se obtuvo conocimiento de la real situación y problemas

por los que se encuentra atravesando la provincia de Calca con respecto a calidad y abastecimiento de agua, que en la fecha ya era un tanto precaria, para lo que solicitamos el estudio fisicoquímico, bacteriológico y barrido de metales que se realiza en las fuentes y red de distribución que muy gentilmente nos brindó esto con la finalidad de conocer si esta venía cumpliendo con los parámetros exigidos de calidad de agua.

En una segunda entrevista con el Lic. José Humberto Deza Iturri actual gerente de EPS EMSAPA-CALCA comprobamos que los problemas continuaban porque lo que solicitamos mediante el oficio N° 001 nos otorgue información sobre los estudios actuales, así como permiso para extraer muestras y corroborar la información que ya teníamos del primer informe que se nos facilitó, con lo que efectivamente se comprobó que determinadas fuentes no estaban cumpliendo con los LPM de contenido de arsénico en agua para consumo humano, lo que representa un problema muy delicado.

Así también, obtuvimos información sobre la naturaleza de las captaciones de las que se abastece la provincia de Calca encontrando así que se trata de 22 captaciones de tipo manantial de ladera en los sectores de Accha baja y Ttotora cuya explotación se realiza a desde el año 2012 a la fecha y se cuenta con el estudio detallado de 8.

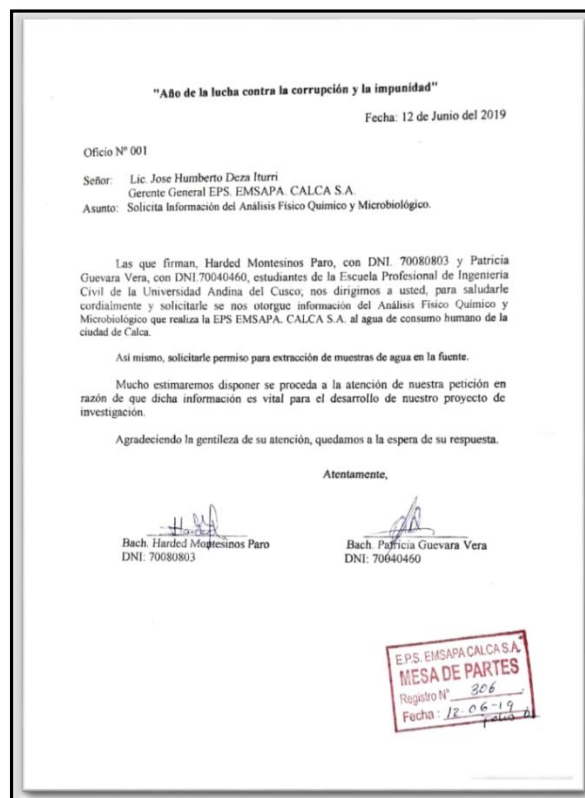


FIGURA 44: Oficio de petición n° 001

FUENTE: Elaboración propia

3.4.1.2. Observación experimental

Después de coordinar con el gerente de la EPS se visitó algunas de las captaciones, para luego extraer muestras y llevarlas al laboratorio de la Universidad San Antonio Abad del Cusco, realizando el ensayo respectivo y con esto corroborar los datos existentes en los estudios.

PERÚ Ministerio de Salud Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria "Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

Cuadro 04: Información de fuentes de captación

Componente	Nombre	Coordenadas UTM		Tipo de captación	Año de inicio de operaciones	Caudal promedio l/s
		Este	Norte			
Captación	Ttotora 1	184732	8534293	Manantial de Ladera	2012	28.40
	Ttotora II 2	184585	8533742	Manantial de Ladera	2012	1.05
	Ttotora III 3	184584	8533771	Manantial de Ladera	2012	1.26
	Ttotora IV 4	184426	8533495	Manantial de Ladera	2012	1.00
	Ttotora V 5	184920	8533809	Manantial de Ladera	2016	2.02
	Ayaccaca 6	182170	8529752	Manantial de Ladera	2012	7.56
	Altarcaca 01 7	181901	8529419	Manantial de Ladera	2012	0.22
	Altarcaca 02 8	181909	8529424	Manantial de Ladera	2012	0.10
	Altarcaca 03 9	181904	8529417	Manantial de Ladera	2012	0.18
	Altarcaca 04 10	181894	8529401	Manantial de Ladera	2012	0.11
	Quishuarcancha 01 11	181756	8529303	Manantial de Ladera	2012	2.15
	Quishuarcancha 02 12	181745	8529318	Manantial de Ladera	2012	3.48
	Quishuarcancha 03 13	181749	8529294	Manantial de Ladera	2012	2.20
	Quishuarcancha 04 14	181744	8529304	Manantial de Ladera	2012	4.11
	Saucochayoc 15	182001	8529406	Manantial de Ladera	2012	1.08
	Cruzpata 16	181913	8529015	Manantial de Ladera	2012	0.80
	Canchispujio 17	181610	8528337	Manantial de Ladera	2012	4.00
	Ccoñunu 18	181384	8528029	Manantial de Ladera	2012	12.79
	Chuspitacana I 19	184046	8532580	Manantial de Ladera	2016	4.20
	Chuspitacana II 20	184296	8532929	Manantial de Ladera	2016	3.46
	Chuspitacana III 21	184394	8532108	Manantial de Ladera	2016	1.65
	Chuspitacana IV 22	184307	8533117	Manantial de Ladera	2016	0.52

Fuente: PCC Calca - Folio 58-59

La línea de Conducción fue instalada el año 2012, tiene una longitud de 8.35 km, y es de PVC C-10, además tiene en su recorrido 12 cámaras rompe presión de acuerdo al diseño del proyecto.

En el siguiente cuadro el administrado presenta ubicación de cámaras rompe presión.

FIGURA 45: Información de fuentes de captación
FUENTE: EMSAPA – CALCA

3.4.1.3. Cuadros comparativos fuentes & calidad

TABLA 8 Estándares de Calidad de las fuentes de agua

D.S.N°015-2015-MINAM CATEGORIA 1, Subcategoría A1				Manantial	Verificando
Ítem	Parámetro	Und.	ECA	Ayaccaca	Normativa Vigente
INORGÁNICOS					
1	Aluminio	mg/l	0.9	0.009	Cumple
2	Antimonio	mg/l	0.02	0.00002	Cumple
3	Arsénico	mg/l	0.01	0.05244	No cumple
4	Bario	mg/l	0.7	0.0445	Cumple
5	Berilio	mg/l	0.012	0.0003	Cumple
6	Boro	mg/l	2.4	0.259	Cumple
7	Cadmio	mg/l	0.003	0.00001	Cumple
8	Cobre	mg/l	2	0.0003	Cumple
9	Cromo Total	mg/l	0.05	0.001	Cumple
10	Hierro	mg/l	0.3	0.03	Cumple
11	Manganeso	mg/l	0.4	0.0023	Cumple
12	Mercurio	mg/l	0.001	0.00007	Cumple
13	Plomo	mg/l	0.01	0.00006	Cumple
14	Selenio	mg/l	0.04	0.00004	Cumple
15	Uranio	mg/l	0.02	0.00006	Cumple
16	Zinc	mg/l	3	0.002	Cumple

FUENTE: EMSAPA – CALCA

TABLA 9 Estándares de Calidad de las fuentes de agua

D.S.N°015-2015-MINAM CATEGORIA 1, Subcategoría A1				Manantial		Verificando
Ítem	Parámetro	Und.	ECA	Canchispujio	Quishuarcancha I	Normativa
INORGÁNICOS						
1	Aluminio	mg/l	0.9	0.008	0.002	Cumple
2	Antimonio	mg/l	0.02	0.00002	0.00002	Cumple
3	Arsénico	mg/l	0.01	0.003	0.02335	Cumple
4	Bario	mg/l	0.7	1.2076	0.1749	Cumple
5	Berilio	mg/l	0.012	0.00001	0.0001	Cumple
6	Boro	mg/l	2.4	0.015	0.224	Cumple
7	Cadmio	mg/l	0.003	0.00001	0.00001	Cumple
8	Cobre	mg/l	2	0.0003	0.0003	Cumple
9	Cromo Total	mg/l	0.05	0.001	0.001	Cumple
10	Hierro	mg/l	0.3	0.03	0.03	Cumple
11	Manganeso	mg/l	0.4	0.00033	0.00406	Cumple
12	Mercurio	mg/l	0.001	0.00007	0.00007	Cumple
13	Plomo	mg/l	0.01	0.00227	0.00097	Cumple
14	Selenio	mg/l	0.04	0.00004	0.00004	Cumple
15	Uranio	mg/l	0.02	0.00005	0.00007	Cumple
16	Zinc	mg/l	3	0.015	0.005	Cumple

FUENTE: PROPIA: EMSAPA – CALCA

TABLA 10 Estándares de Calidad de las fuentes de agua

D.S.N°015-2015-MINAM CATEGORIA 1, Subcategoría A1				Manantial	Verificando
Ítem	Parámetro	Und.	ECA	Ccoñiuno	Normativa
INORGÁNICOS					
1	Aluminio	mg/l	0.9	0.441	Cumple
2	Antimonio	mg/l	0.02	0.00002	Cumple
3	Arsénico	mg/l	0.01	0.00315	Cumple
4	Berilio	mg/l	0.012	0.00005	Cumple
5	Boro	mg/l	2.4	0.011	Cumple
6	Cadmio	mg/l	0.003	0.00001	Cumple
7	Cobre	mg/l	2	0.0005	Cumple
8	Cromo Total	mg/l	0.05	0.001	Cumple
9	Hierro	mg/l	0.3	0.29	Cumple
10	Manganeso	mg/l	0.4	0.04104	Cumple
11	Mercurio	mg/l	0.001	0.00007	Cumple
12	Plomo	mg/l	0.01	0.00004	Cumple
13	Selenio	mg/l	0.04	0.00004	Cumple
14	Uranio	mg/l	0.02	0.00003	Cumple
15	Zinc	mg/l	3	0.004	Cumple

FUENTE: EMSAPA – CALCA

3.4.1.4. Softwares

Con la ayuda del software Microsoft Excel se elaboró plantillas de recolección de datos que se utilizó para la toma de datos durante los ensayos que incluyen las características iniciales antes del proceso y las que se obtuvieron después de este en el agua de tratamiento.

TABLA 11 Formato de recolección de datos usado

DATOS EXPERIMENTALES							
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN							
"COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS RAOS Y COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE CONSUMO HUMANO EN LA CIUDAD DE CALCA".							
RESPONSABLES							
Ing. William Delgado Salazar. Bach. Patricia Guevara Vera. Bach. Harled Montesinos Paro.							
DATOS EXPERIMENTALES MÉTODO COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN							
AGUA CONTAMINADA SIN CAMBIAR SUS CARACTERÍSTICAS							
		MUESTRAS					
DESCRIPCIÓN	UND	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto	Sexto
Turbidez inicial	UNT						
Ph inicial							
Turbidez final	UNT						
Ph final							
		MUESTRAS					
DESCRIPCIÓN	UND	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto	Sexto
Arsenico	mg/L						
Agua contaminada	L						
Sulfato de aluminio	ML						
Cloruro ferrico	ML						

FUENTE: Elaboración propia.

TABLA 12 Formato de recolección de datos usado

DATOS EXPERIMENTALES							
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN							
"COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS RAOS Y COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE CONSUMO HUMANO EN LA CIUDAD DE CALCA".							
RESPONSABLES							
Ing. William Delgado Salazar. Bach. Patricia Guevara Vera. Bach. Harded Montesinos Paro.							
AGUA CONTAMINADA CAMBIANDO SUS CARACTERISTICAS							
		MUESTRAS					
DESCRIPCIÓN	UND	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto	Sexto
Arcilla	GR						
Turbidez inicial	UNT						
Ph inicial							
Turbidez final	UNT						
Ph final							
		MUESTRAS					
DESCRIPCIÓN	UND	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto	Sexto
Arsenico	mg/L						
Agua contaminada	L						
Sulfato de aluminio	ML						
Cloruro ferrico	ML						

FUENTE: Elaboración propia












TABLA 8 Formato de recolección de datos usado

DATOS EXPERIMENTALES							
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN							
"COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS RAOS Y COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE CONSUMO HUMANO EN LA CIUDAD DE CALCA".							
RESPONSABLES							
Ing. William Delgado Salazar. Bach. Patricia Guevara Vera. Bach. Harded Montesinos Paro.							
DATOS EXPERIMENTALES METODO RAOS							
AGUA CONTAMINADA SIN CAMBIAR SUS CARACTERISTICAS							
		MUESTRAS					
DESCRIPCIÓN	UND	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto	
Radiación Solar	w/m2						
Turbidez inicial	UNT						
Ph inicial							
Turbidez final	UNT						
Ph final							
		MUESTRAS					
DESCRIPCIÓN	UND	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto	
Arsenico	mg/L						
Agua contaminada	L						
Alambre de hierro n° 16	GR						
jugo de limón	ML						
		MUESTRAS					
DESCRIPCIÓN	UND	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto	
Tres	horas						
Seis	horas						
Tiempo total	horas						


FUENTE: Elaboración propia

3.4.2. Instrumentos de ingeniería

Se consideró como instrumentos de ingeniería a los formatos físicos, instrumentos, software de procesamientos de datos que analicen la información de campo.

-  Laptops
-  Microsoft Excel
-  Microsoft Word
-  Microsoft Power Point
-  Cámaras digitales
-  GPS
-  Radiation Detector
-  Turbidímetro
-  Phímetro
-  Test de jarras
-  Teléfono celular

3.5. Procedimientos de recolección de datos

-  Reconocimiento de la zona de estudio

Se delimitó como zona de estudio el sector de Accha Baja lugar donde se encuentra la captación manantial de ladera AYACCACA que se encuentra a 15 minutos en carro de la ciudad de calca y a 10 min a pie del centro poblado Accha Baja.

Se realizó el reconocimiento del área con la ayuda del encargado del reservorio de Mitmac y encargado también del control de captaciones el sr. Francisco.



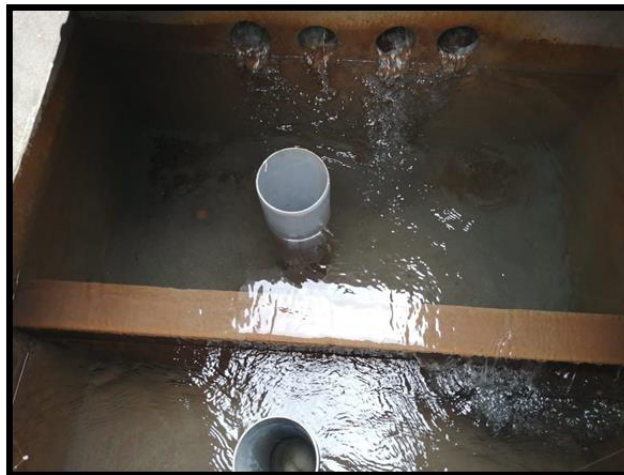
FIGURA 46 : Reconocimiento de la zona de estudio
FUENTE: Elaboración propia

Verificación de las condiciones actuales

Se verifico las condiciones actuales de funcionamiento de la captación y se observó que si bien estaba en óptimo funcionamiento le hacía falta limpieza y mantenimiento debido a la presencia de maleza.



*FIGURA 47 : Manante AYACCACA.
FUENTE: Elaboración propia.*



*FIGURA 48 : Interior de la captación AYACCACA
FUENTE: Elaboración propia*

Extracción de muestras.

Protocolo de toma de muestra, preservación y transporte de muestras de agua potable

Para obtener confiabilidad en los resultados se deberá tener en cuenta:

- Equipos calibrados (multiparámetro, GPS, etc.) antes de trabajo de campo
- Enjuagar electrodos con la muestra de agua, con el equipo apagado, agitar ligeramente el sensor antes de medir, registrar lectura cuando se estabilice.

- Terminada la medición, lavar los electrodos con agua destilada, secar y guardar adecuadamente. El electrodo de PH conservar en solución salina.
- Las mediciones se realizan directamente en el cuerpo de agua las condiciones lo permitan, de lo contrario tomar una muestra en un recipiente apropiado (balde transparente limpio), priorizar la medición de O.D.

Medidas de seguridad

- Se recomienda que los frascos de muestreo no contengan preservantes químicos
- En casa punto, colocarse los guantes descartables, antes de iniciar la toma de muestras de agua.
- Tener cuidado al manipular los reactivos químicos usados a preservar las muestras.
- Dejar un espacio de aprox. 1% de la cantidad del envase, para permitir la expansión, adición del preservante y homogenización de muestra.
- En el caso de muestras para análisis de DBO5, llenar el frasco totalmente evitando burbujas de aire
- Realizar la toma de muestras, en dirección opuesta al flujo del río o quebrada.

Preservación de muestras.

- Una vez tomada la muestra de agua, se procederá a adicionar el reactivo de preservación requerido de acuerdo a lo establecido.
- Preservada la muestra, cerrar herméticamente el frasco y para mayor seguridad encintar la tapa para evitar cualquier derrame del líquido, agitando para uniformizar la muestra.
- Se utilizará los siguientes preservantes dependiendo del parámetro a analizar
Ácido sulfúrico (H_2SO_4) para aceites, grasas, DBO5, DBQ.
Ácido nítrico (HNO_3) para metales cobre, mercurio, arsénico cadmio.
Hidróxido de sodio (NaOH) para cianuro
No usar preservantes para STS, Coliformes fecales, Echeria Coli

Transporte y etiquetado de muestras.

- Número de muestra (referido al orden de toma de muestra).
- Código de identificación (punto y/o estación de muestreo). Tipo de muestra de agua o fuente.
- Preservación realizada, tipo de reactivo de preservación utilizado.
- Se utilizará las etiquetas proporcionadas por el laboratorio deberá contener: nombre de cuerpo de agua, número de muestra, nombre de punto, hora y fecha de recolección, nombre de recolector.

- Los recipientes deben estar embalados para evitar derrames
- Las muestras deberán transportarse en Coolers a baja temperatura (4°C)

Para la investigación no se utilizó el equipo multiparámetro dado que ya se contaba con los datos de PH, olor, color, etc. Y el parámetro que se requería analizar (As.) se realizaría en laboratorio.

Como punto de inicio se recolectó muestras de la captación para corroborar que el contenido de arsénico corresponda a los estudios en los que muestran alto contenido del metal, esto a través del Laboratorio de Cromatografía y Espectro fotometría – en el Área Adsorción Atómica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

El resultado del análisis nos muestra que afectivamente el contenido de arsénico se encuentra en 0.05085mg/L lo que marcó el contenido inicial de arsénico antes de ensayar la muestra por los dos métodos elegidos. Una vez obtenidos los resultados que corroboraron la presencia de arsénico en la fuente, se procedió a extraer muestras en mayor cantidad para la realización de los ensayos.



*FIGURA 49: Extracción de primeras muestras.
FUENTE: Elaboración propia*



*FIGURA 50: Extracción de muestras para ensayos.
FUENTE: Elaboración propia.*

Sedimentos utilizados

Se extrajo arcilla de la APV. Sucso Aucaylle tercera etapa Tejas y Ladrillos con la que se elabora ladrillos en esta zona que es un sedimentario de partículas muy pequeñas de silicatos hidratados de alúmina y otros minerales como el caolín, la montmorillonita y la illita.

Mediante el ensayo ASTM D422 (ASTM 2007) se obtuvo partículas de tamaño coloidal < 2 mm al pasarla por la malla número 200 hasta obtener una cantidad 1000 gr.



*FIGURA 51: Extracción de arcillas de la APV Sucso Aucaylle.
FUENTE: Elaboración propia.*



FIGURA 52 : Tamizado de arcilla.
FUENTE: Elaboración propia.

3.5.1. Coagulación y floculación – Test de Jarras

El ensayo se realizó en la planta de tratamiento de agua potable de Santa Ana perteneciente a la EPS SEDA-CUSCO bajo la supervisión del ingeniero William Delgado Salazar, asesor de la tesis.



FIGURA 53: PTAP Santa Ana – Cusco.
FUENTE: Elaboración propia.

3.5.1.1. Especificaciones técnicas del equipo de prueba de jarras.

El equipo de jarras modelo Phipps & Bird 7790-901B, utilizado para el análisis de coagulación – floculación está compuesto por los siguientes elementos.

- 🐦 Agitador mecánico: Consta de seis agitadores, una pantalla de programación con velocidad máxima de 300 rpm.
- 🐦 Paletas: Este equipo está compuesto 2 paletas para cada vaso precipitado.
- 🐦 Vasos precipitados: Vasos de cristal con capacidad de 2 L.

- ☛ Iluminador: ubicado en la base del equipo, que sirve para visualizar mejor los flóculos que se forman en los vasos precipitados.



FIGURA 54 : Elementos del Equipo de Jarras.

FUENTE: elaboración propia.



FIGURA 55 : Fabricador Equipo de Jarras.

FUENTE: Elaboración propia.

3.5.1.2. Materiales y equipos utilizados en la prueba de laboratorio

- ☛ Equipo de Jarras
- ☛ Fichas de registro
- ☛ Cloruro Férrico
- ☛ Sulfato de Aluminio
- ☛ Fiolas
- ☛ Jeringas de 10 ml
- ☛ Depósitos para las muestras

- Papel filtro de filtro lento
- Arcilla
- Agua destilada
- Balanza
- Implementos de protección (guantes, mascarilla bucal, mandil)
- Turbidímetro
- Phímetro
- Cronometro

3.5.1.3. Procedimiento

Mediante los estudios de barrido de Metales proporcionados por la EPS EMSAPA CALCA S.A. se seleccionó la captación de AYACCACA por ser la de mayor contenido de arsénico 0.05300 mg/L, dato que fue corroborado mediante el método AS AGUAS ZEEMAN, donde se utilizó el equipo Horno de Grafito. Teniendo como resultado el promedio aritmético de las 3 lecturas de 0.05085 mg/L, realizado en el Laboratorio de Cromatografía y Espectrometría – en el Área Adsorción Atómica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco tomando como contenido inicial.

Parámetro	Resultado	Unid.	Unidades	CMR
Formas Nitrogenadas/Fosforadas				
17 Fósforo Total	0,056	117%	mg/L	
Amoniaco				
4 Nitrosos	4	18,3%	mg/L	
Metales Totales				
22 Aluminio Total	< 0,002		mg/L	
13 Arsénico Total	0,05300	±13%	mg/L	
14 Cadmio Total	0,0477	±14%	mg/L	
15 Selenio Total	0,00014	±13%	mg/L	
16 Selenio Total	< 0,00001	±13%	mg/L	
18 Boro Total	0,119	±13%	mg/L	
19 Calcio Total	< 0,00001	±13%	mg/L	
Arsénico Total	0,05300	±13%	mg/L	

FIGURA 56 Contenido inicial de arsénico
FUENTE: EMSAPA – CALCA

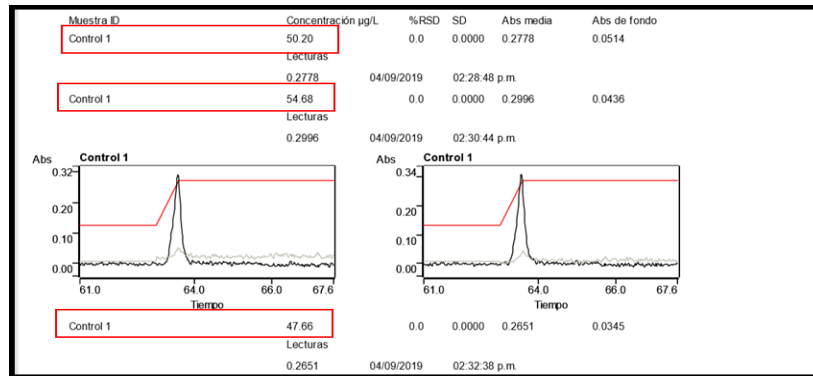


FIGURA 57 : Contenido inicial de arsénico.

FUENTE: Elaboración propia.

Teniendo el contenido inicial de Arsénico (0.05085 mg/L), se procedió a extraer la muestra de la captación de AYACCACA, requiriendo 12 litros de agua de fuente para ensayar, muestra que fue almacenada en baldes herméticos para luego ser llevado al laboratorio de Santa Ana perteneciente a la EPS SEDA- CUSCO, que mediante diversos documentos y entrevistas nos permitieron trabajar en sus instalaciones.



FIGURA 58 : Extracción de muestras para el ensayo.

FUENTE: Elaboración propia.

El día de ensayo como primer paso, se pesó el Cloruro Férrico y Sulfato de Aluminio que se usaron como coagulantes para el proceso de floculación para con ello preparar las soluciones ya que trabajar con estos elementos como sales resultaba complicado al ser necesarias cantidad demasiado pequeñas debido a que solo se usó 1 litro de agua por vaso en el equipo de jarras.



FIGURA 59: Pesado de sales.
FUENTE: Elaboración propia.

TABLA 9 Sales para preparación de solución

Reacción Química	Unidad	Cantidad	Peso de recipiente
Sulfato de Aluminio	Gr	1	6.17
Cloruro Férrico	Gr	1	7.15

FUENTE: Elaboración propia

Se procedió a preparar soluciones de Cloruro Férrico y Sulfato de Aluminio al 0.2% con agua destilada



FIGURA 60: Preparación de soluciones al 0.2%
FUENTE: Elaboración propia



FIGURA 61: Soluciones preparadas al 0.2%.
FUENTE: Elaboración propia.

TABLA 10 Cantidad de sales para solución

Solución Química	Cantidad de Reacción Química (mg)	Cantidad de Agua Destilada (ml)
Cloruro Férrico	1000	500
Sulfato de Aluminio	1000	500

FUENTE: Elaboración propio

Se midió para cada fiola un litro de muestra y se colocó en el equipo para proceder a ensayarlas. Es importante señalar que se hizo la medición del PH y turbidez inicial y final para cada vaso con la ayuda de un Phmetro y Turbidímetro respectivamente, estos equipos fueron proporcionados por el personal encargado de la planta.



FIGURA 62 : Medición de 1lt. De agua para cada fiola.
FUENTE: Elaboración propia.

Una vez obtenida la solución madre, se procede a dosificar las ésta en proporciones elegidas según a los antecedentes, bibliografía existente y por aporte del ingeniero William Delgado, asesor de la investigación con conocimiento del tema, dichas proporciones fueron colocadas y debidamente rotuladas para facilitar el trabajo y se detallan en el siguiente cuadro.

TABLA 11 Dosificación de coagulante para cada vaso

		Fioles				
Solución	Und.	1	2	3	4	5
Cloruro Férrico	Mg/L	50		20	30	50
Sulfato de Aluminio	Mg/L		50	30	20	50

FUENTE: Elaboración propia



*FIGURA 63 : Dosificación de dosis elegida a cada vaso.
FUENTE: Elaboración propia.*



*FIGURA 64: Colocación de dosis a cada fiola.
FUENTE: Elaboración propia.*

- 🦅 La arcilla extraída se utilizó como sedimento para modificar la turbidez del agua por lo que se alteró sus características con el fin de contribuir a la formación de flóculos.
- 🦅 Se preparó una solución madre que luego se dosificaría a cada jarra antes de agregar los reactivos e iniciar el proceso en la medida que se muestra en la tabla.

TABLA 12 Cantidad de arcilla usado como sedimento.

	Cantidad (gr)	Cantidad (mg)	Cantidad de Agua (ml)	Peso del recipiente (gr)
Arcilla	1	1000	500	7.34

FUENTE: Elaboración propia.



FIGURA 65: Medición de arcilla para preparar la solución.

FUENTE: Elaboración propia.

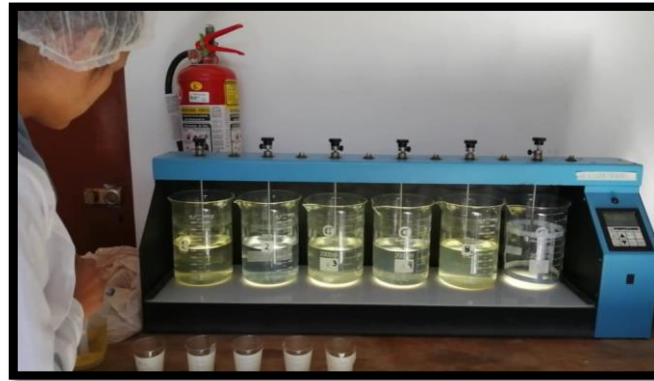


FIGURA 66: Preparación de solución con turbidez.

FUENTE: Elaboración propia.

A. Proceso de ensayo Sin Alterar de la muestra.

Paso 1: Teniendo las soluciones en las proporciones especificadas en la tabla N° 9, se procede a verter el líquido simultáneamente a cada fiola, estos vasos fueron colocadas correctamente en el equipo de manera que no exista ningún tipo fricción con las paletas de mezclado que lo componen.



*FIGURA 67 : Colocación de dosis de coagulante a cada fiola
FUENTE: Elaboración propia*

Paso 2: Se procede a ingresar la velocidad angular y el tiempo de agitación para la mezcla rápida y la mezcla lenta en la pantalla de programación del equipo de jarras.

TABLA 13 Gradiente hidráulico y tiempo de agitación por mezclado

	Velocidad Angular (rpm)	Tiempo de Agitación (min)
Mezcla Rápida	150	2
Mezcla Lenta	40	15

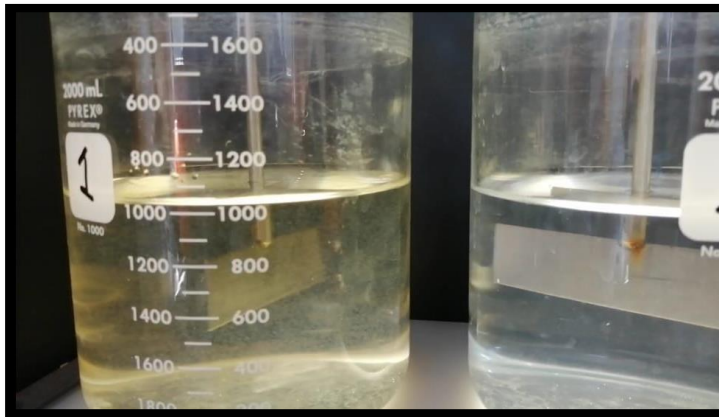
FUENTE: Elaboración propia.



*FIGURA 68 : Pantalla de programación del equipo de jarras.
FUENTE: Elaboración propia.*

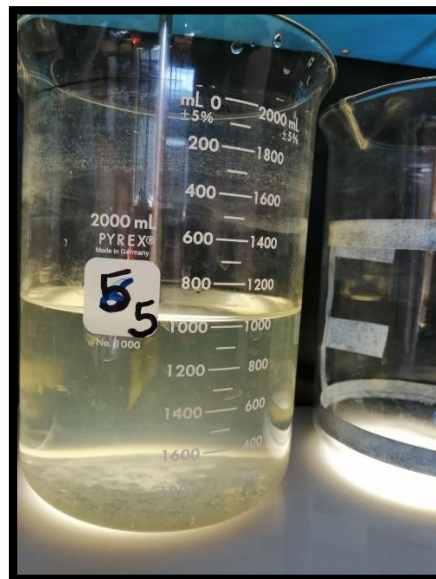
Paso 3: Verificando que todo esté listo se procede a iniciar el proceso en el equipo previamente programado que empezará por realizar la simulación de mezcla lenta en un tiempo de 2 minutos para inmediatamente seguir con la mezcla rápida en un tiempo de 15 minutos con velocidades de 150 rpm y 40 rpm respectivamente.

Se observó que en los vasos precipitados 1,4 y 5 presento más flóculos que en los vasos precipitados 2 y 3.



*FIGURA 69: Formación de flóculos en el vaso N° 1.
FUENTE: Elaboración propia.*

Paso 4: Terminando el tiempo de agitación, se dejó sedimentar las muestras esperando que los nuevos flóculos formados precipiten a la base, esto por un tiempo aproximado de 30 minutos.



*FIGURA 70: Proceso de sedimentación.
FUENTE: Elaboración propia.*

Paso 5: Pasado el tiempo se filtró el líquido sedimentado de cada fiola de por papel filtro, de filtro lento, en envases debidamente rotulados, obteniendo así las muestras finales.



FIGURA 71: Proceso de filtrado.

FUENTE: elaboración propia.

Paso 6: Las muestras finales se llevaron al Laboratorio de Cromatografía y Espectrometría – en el Área Adsorción Atómica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, para ser analizadas mediante el método de absorción atómica con horno de grafito y así tener el contenido final de arsénico.



FIGURA 72 : Almacenado de muestra para su análisis.

FUENTE: Elaboración propia.

B. Proceso de ensayo Alterado de la muestra.

Se dosifico 20ml de la muestra madre que se obtuvo al agregar un gramo de arcilla a un litro de agua a cada vaso antes de agregar las soluciones conteniendo reactivo y se procedió de la misma forma que el ensayo anterior.



FIGURA 73: Incorporación de turbidez a la muestra.
FUENTE: Elaboración propia.

3.5.1.4. Toma de datos en Laboratorio

Se tomó los datos en hojas de registro para el ensayo sin alterar la turbidez

DATOS EXPERIMENTALES						
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN						
"COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS RAOS Y COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE CONSUMO HUMANO EN LA CIUDAD DE CALCA".						
RESPONSABLES						
Ing. William Delgado Salazar. Bach. Patricia Guevara Vera. Bach. Harded Montesinos Paro.						
DATOS EXPERIMENTALES METODO COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN						
AGUA CONTAMINADA SIN ALTERAR						
MUESTRAS						
DESCRIPCIÓN	UND	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Turbidez inicial	UNT	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Ph inicial		7.38	7.38	7.38	7.38	7.38
Turbidez final	UNT	0.47	0.53	0.50	0.51	0.49
Ph final		8.40	7.93	8.45	8.41	8.50
MUESTRAS						
DESCRIPCIÓN	UND	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Arsenico	mg/L	0.05085	0.05085	0.05085	0.05085	0.05085
Agua contaminada	ML	1000	1000	1000	1000	1000
Cloruro ferrico	mg/L	50		30	20	50
Sulfato de Aluminio	mg/L		50	20	30	50

FIGURA 74: Hoja de registro N° 1.
FUENTE: Elaboración propia.

Se tomó los datos en hojas de registro para el ensayo alterando la turbidez.

DATOS EXPERIMENTALES						
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN						
"COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS RAOS Y COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE CONSUMO HUMANO EN LA CIUDAD DE CALCA".						
RESPONSABLES						
Ing. William Delgado Salazar.						
Bach. Patricia Guevara Vera.						
Bach. Hardez Montesinos Paro.						
DATOS EXPERIMENTALES MÉTODO COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN						
AGUA CONTAMINADA ALTERADA						
MUESTRAS						
DESCRIPCIÓN	UND	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Arcilla	GR	1	1	1	1	1
Turbidez inicial	UNT	29.2	37.6	32	29.2	29.7
Ph inicial		7.38	7.38	7.38	7.38	7.38
Turbidez final	UNT	0.72	1.08	1.29	1.33	2.84
Ph final		8.38	7.85	8.45	7.85	8.47
MUESTRAS						
DESCRIPCIÓN	UND	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Arsenico	mg/L	0.05085	0.05085	0.05085	0.05085	0.05085
Agua contaminada	ML	1000	1000	1000	1000	1000
Cloruro ferrico	mg/L	50		30	20	50
Sulfato de aluminio	mg/L		50	20	30	50

FIGURA 75: Hoja de registro N° 2.
FUENTE: Elaboración propia.

3.5.2. Remoción de arsénico por oxidación solar – RAOS

3.5.2.1. Materiales utilizados

- Alambre negro de hierro n° 16, producido por Aceros Arequipa S.A. Perú
- Jugo de limón (variedad Eureka procedente de Arequipa)
- Botellas de plástico transparentes de 2 litros PET (Polietileno Tereftalato)
- Frascos de plástico PET de 500ml de capacidad con tapa
- Lima de hierro
- Hoja de sierra
- Balanza electrónica
- Jeringas de 10ml
- Radiación solar
- GPS
- Aplicación para teléfono celular Radiation Detector

3.5.2.2. Procedimiento

Paso 1. Se utilizaron botellas de plástico PET recicladas de bebidas gaseosas de 2 litros de capacidad, las cuales fueron debidamente lavadas para eliminar cualquier residuo del contenido anterior y fueron llenadas con un litro de agua contaminada.



*FIGURA 76 : Materiales utilizados.
FUENTE: Elaboración propia.*

Paso 2. Se lijó con la lima de metal y cortó el alambre de hierro en pequeños pedazos de tamaño uniforme con la ayuda de una hoja de cierra, mismos que fueron incorporados a las botellas.



*FIGURA 77 : Proceso de limado de alambre.
FUENTE: Elaboración propia.*

Paso 3. Se adicionó inmediatamente las dosis de jugo de limón que se preparó previamente a las botellas que ya contaban con las determinadas cantidades de alambre de hierro y se agitaron para mezclar el contenido, la relación de hierro citrato que se utilizó fue de 1,8:1.



*FIGURA 78: Insumos utilizados.
FUENTE: Elaboración propia.*

Paso 4. Se colocaron las botellas en un soporte inclinado a 30° de la base en un lugar donde se garantizó la radiación constante de sol iniciando esto a las 10 am. Hasta las 4 pm. Después de un periodo de exposición solar de 6 horas, se retiraron las botellas y se dejaron en posición vertical hasta el día siguiente.



*FIGURA 79 : Exposición de botellas radiación solar.
FUENTE: Elaboración propia.*

Paso 5. El contenido de las botellas evidentemente sedimentado, se trasladó a los envases previamente rotulados, dichos envases contaban con capacidad de 500ml y se llevó al Laboratorio de Cromatografía y Espectrofotometría – en el Área Adsorción Atómica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, para su respectivo análisis.



FIGURA 80: Almacenado de muestras para su análisis.
FUENTE: Elaboración propia.

3.5.2.3. Toma de datos en las hojas de registro

Se tomó el registro de las cantidades de jugo de limón y alambre de hierro utilizados, así como la radiación solar en la zona de trabajo, el pH y turbidez inicial de la muestra para luego tomar estos dos datos finales en el laboratorio Físicoquímico de agua de la Universidad San Antonio Abad del Cusco.

DATOS EXPERIMENTALES						
METODO RAOS						
AGUA CONTAMINADA SIN CAMBIAR SUS CARACTERISTICAS						
		MUESTRAS				
DESCRIPCIÓN	UND	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Radiación Solar	w/m2	3319.71	3319.71	3319.71	3319.71	3319.71
Turbidez inicial	UNT	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Ph inicial		7.38	7.38	7.38	7.38	7.38
Turbidez final	UNT	2.97	3.10	3.25	3.51	3.05
Ph final		8.30	7.92	8.28	7.96	8.15
		MUESTRAS				
DESCRIPCIÓN	UND	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Arsenico	mg/L	0.05085	0.05085	0.05085	0.05085	0.05085
Agua contaminada	ML	1000	1000	1000	1000	1000
Alambre de hierro n° 16	GR	4	5	6	7	8
jugo de limón	ML	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5

FIGURA 81: Hoja de registro N° 3.
FUENTE: Elaboración propia.

3.5.2.4. Caracterización de insumos

Limón

los limones utilizados son de la variedad Sutil (*Citrus aurantifolia* Swingle), producido en el departamento de Arequipa, con un PH de 2,0. Cuya caracterización notaremos en la tabla.

Características visuales	Mediciones en laboratorio (promedio)
Color: Verde amarillo	pH: 2,08
Pulpa: Verdosa, 10 a 11 gajos	Peso: 26,13 g
Semillas: 5 a 7 semillas	Jugo: 53,57 %
Cáscara: Delgada, fuerte y resistente	Diámetro polar 4,35 cm
	Diámetro ecuatorial 4,04 cm
	Ácido cítrico anhidro 6,85 %

FIGURA 82: Características de los limones, variedad sutil.
FUENTE: Rev. Soc. Quim. Perú, 2011 pág. 312).

Alambre de hierro negro N° 16 (1.65mm)

según la ficha técnica (Alambre Negro Recogido de acero SAE J403e grado 1008) sustentada por la Corporación Aceros Arequipa S.A. que se caracteriza por contener 99% de hierro y otros elementos como Carbono (C): 0.10% máx. Fósforo (P): 0.04% máx. Manganeso (Mn): 0.30 - 0.50 % máx. y Azufre (S): 0.05%.

3.6. Procedimiento de análisis de datos

3.6.1. Recopilación de información necesaria para la investigación

3.6.1.1. Prueba de Jarras Coagulación – Flocculación

3.6.1.1.1. Barrido de metales

Se realizó un análisis de Barrido de metales mediante el método de absorción atómica con horno de grafito en el laboratorio de aguas de la Universidad San Antonio Abad del Cusco como se puede observar en la imagen siguiente. Con este resultado se puede corroborar que el contenido de arsénico no tiene una variación significativa en el tiempo.

TABLA 14 Análisis de arsénico en la Fuente de los años 2017 a 2019.

LABORATORIO	CAPTACION	FECHA DE ANÁLISIS	RESULTADO DEL CONTENIDO DE ARSENICO (mgr/L)
AGQLABS LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-072	MANANTE DE LADERA AYACCACA	7/04/2017	0.05244
AGQLABS LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-072	MANANTE DE LADERA AYACCACA	5/02/2018	0.05272
AGQLABS LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-072	MANANTE DE LADERA AYACCACA	3/01/2019	0.05300
LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAB DEL CUSCO	MANANTE DE LADERA AYACCACA	4/09/2019	0.05085

FUENTE: Elaboración propia.

3.6.1.1.2. Preparación de las soluciones

Cloruro Férrico

Se determinó la cantidad de cloruro férrico para preparar la solución de coagulante.

TABLA 15 Cantidad de Cloruro Férrico

DESCRIPCIÓN		DATOS	
GR: Cantidad de Cloruro Ferrico en gr.		X	
%: Concentración de solución que se desea obtener en porcentaje.		0.2	
V: Volumen de solución que se desea preparar en Litros.		0.5	
FORMULA	CALCULO	CANTIDAD DE SOLUCIÓN	CANTIDAD DE SOLUCIÓN
$X = \% * V * 10$	$X = 1 * 0.5L * 10$	1 gr	1,000 mgr

FUENTE: Elaboración propia

Sulfato de Aluminio

Se determinó la cantidad de sulfato a agregar para preparar la solución de coagulante.

TABLA 16 Cantidad de Sulfato de Aluminio

DESCRIPCIÓN		DATOS	
GR: Cantidad de Solfato de Aluminio en gr.		X	
%: Concentración de solución que se desea obtener en porcentaje.		0.2	
V: Volumen de solución que se desea preparar en Litros.		0.5	
FORMULA	CALCULO	CANTIDAD DE SOLUCIÓN	CANTIDAD DE SOLUCIÓN
$X = \% * V * 10$	$X = 1 * 0.5L * 10$	1 gr	1,000 mgr

FUENTE: Elaboración Propia.

3.6.1.1.3. Medida de la turbidez

Para conocer la turbiedad del agua a tratar se utilizó el turbidímetro debidamente calibrado obteniendo los siguientes resultados.

Turbidez Sin Alterar

TABLA 17 Resultados de turbidez inicial y final muestra sin alterar.

TURBIDEZ INICIAL		
VASOS PRECIPITADOS	UND	RESULTADO
1	NTU	0.79
2	NTU	0.79
3	NTU	0.79
4	NTU	0.79
5	NTU	0.79
TURBIDEZ FINAL		
VASOS PRECIPITADOS	UND	RESULTADO
1	NTU	0.47
2	NTU	0.53
3	NTU	0.50
4	NTU	0.51
5	NTU	0.49

FUENTE: Elaboración propia

Turbidez Alterada

Se adiciono 5000 mg. de arcilla en 500 ml de agua destilada.

TABLA 18 Resultados de turbidez inicial y final muestra alterada.

TURBIDEZ INICIAL		
VASOS PRECIPITADOS	UND	RESULTADO
1	NTU	29.2
2	NTU	37.6
3	NTU	32
4	NTU	29.2
5	NTU	29.7
TURBIDEZ FINAL		
VASOS PRECIPITADOS	UND	RESULTADO
1	NTU	0.72
2	NTU	1.08
3	NTU	1.29
4	NTU	1.33
5	NTU	2.84

FUENTE: Elaboración propia.

3.6.1.1.4. Medida del pH

Para determinar el pH del agua a tratar se utilizó el Phmetro obteniendo los siguientes resultados.

Sin Alterar

Los resultados de pH sin alterar la muestra.

TABLA 19 Contenido de pH inicial y final de muestra sin alterar.

PH INICIAL		
VASOS PRECIPITADOS	UND	RESULTADO
MUESTRA 1		7.38
MUESTRA 2		7.38
MUESTRA 3		7.38
MUESTRA 4		7.38
MUESTRA 5		7.38
PH INICIAL		
VASOS PRECIPITADOS	UND	RESULTADO
MUESTRA 1		7.36
MUESTRA 2		6.91
MUESTRA 3		7.43
MUESTRA 4		7.39
MUESTRA 5		6.50

FUENTE: Elaboración propia.

Alterada

Los resultados de PH alterada la muestra.

TABLA 20 Contenido de pH inicial y final de muestra alterada.

PH INICIAL		
VASOS PRECIPITADOS	UND	RESULTADO
MUESTRA 1		7.38
MUESTRA 2		7.38
MUESTRA 3		7.38
MUESTRA 4		7.38
MUESTRA 5		7.38
PH FINAL		
VASOS PRECIPITADOS	UND	RESULTADO
MUESTRA 1		8.38
MUESTRA 2		7.85
MUESTRA 3		8.45
MUESTRA 4		7.85
MUESTRA 5		8.47

FUENTE: Elaboración propia.

3.6.1.1.5. Proporciones de solución para cada Vaso Precipitado.

Se realizó el ensayo de Jarras en 5 vasos precipitados, adicionando las soluciones en proporciones diferentes para cada vaso, estas proporciones se utilizaron para el análisis de la muestra alterada y sin alterar las características de turbidez.

La cantidad de reacciones químicas se asignó según los antecedentes ya mencionados en el ítem 3.5.1.2. tabla N° 7.

Vaso precipitado 1

Para el primer vaso precipitado se asignó 50 mg/L de Cloruro Férrico con una proporción en solución de 25 ml.

TABLA 21 Dosificación de coagulante vaso 1.

VASO PRECIPITADO 2			
DESCRIPCIÓN		DATOS	
GR1: Cantidad de Cloruro Ferrico en mgr.		1000	
GR2: Cantidad de Cloruro Ferrico en mgr. ASIGNADO		50	
V: Volumen de solución que se desea preparar en Litros.		0.5	
FORMULA	CALCULO	PROPORCIÓN DE SOLUCIÓN	PROPORCIÓN DE SOLUCIÓN
$X=(GR2*V)/GR1$	$X= (0.05*0.5)/1$	0.025 L	25 mL

FUENTE: Elaboración propia.

 **Vaso precipitado 2**

Para el segundo vaso precipitado se asignó 50 mg/L de Sulfato de Aluminio con una proporción en solución de 25 ml.

TABLA 22 Dosis de coagulante para el vaso 2.

VASO PRECIPITADO 1			
DESCRIPCIÓN		DATOS	
GR 1: Cantidad de Sulfato de Aluminio en mgr.		1000	
GR2: Cantidad de Sulfato de Aluminio en mgr ASIGNADO		50	
V: Volumen de solución que se desea preparar en Litros.		0.5	
FORMULA	CALCULO	PROPORCIÓN DE SOLUCIÓN	PROPORCIÓN DE SOLUCIÓN
$X=(GR2*V)/GR1$	$X= (0.05*0.5)/1$	0.025 L	25 mL

FUENTE: Elaboración propia.

 **Vaso precipitado 3**

Para el tercer vaso precipitado se asignó 20 mg/L de Sulfato de Aluminio y 30 mg/L de Cloruro Férrico con una proporción en solución de 10 ml y 15 ml respectivamente.

TABLA 23 Dosificación de coagulantes para el vaso N° 3.

VASO PRECIPITADO 3			
DESCRIPCIÓN		DATOS	
GR 1: Cantidad de Sulfato de Aluminio en mgr.		1000	
GR2: Cantidad de Sulfato de Aluminio en mgr ASIGNADO		20	
V: Volumen de solución que se desea preparar en Litros.		0.5	
FORMULA	CALCULO	PROPORCIÓN DE SOLUCIÓN	PROPORCIÓN DE SOLUCIÓN
$X=(GR2*V)/GR1$	$X= (0.02*0.5)/1$	0.010 L	10 mL
DESCRIPCIÓN		DATOS	
GR1: Cantidad de Cloruro Ferrico en mgr.		1000	
GR2: Cantidad de Cloruro Ferrico en mgr. ASIGNADO		30	
V: Volumen de solución que se desea preparar en Litros.		0.5	
FORMULA	CALCULO	PROPORCIÓN DE SOLUCIÓN	PROPORCIÓN DE SOLUCIÓN
$X=(GR2*V)/GR1$	$X= (0.03*0.5)/1$	0.015 L	15 mL

FUENTE: Elaboración propia.

Vaso precipitado 4

Para el cuarto vaso precipitado se asignó 30 mg/L de Sulfato de Aluminio y 20 mg/L de Cloruro Férrico con una proporción en solución de 15 ml y 10 ml respectivamente.

TABLA 24 Dosificación de coagulantes para el vaso N° 4.

VASO PRECIPITADO 4			
DESCRIPCIÓN		DATOS	
GR 1: Cantidad de Sulfato de Aluminio en mgr.		1000	
GR2: Cantidad de Sulfato de Aluminio en mgr. ASIGNADO		30	
V: Volumen de solución que se desea preparar en Litros.		0.5	
FORMULA	CALCULO	PROPORCIÓN DE SOLUCIÓN	PROPORCIÓN DE SOLUCIÓN
$X=(GR2*V)/GR1$	$X= (0.03*0.5)/1$	0.015 L	15 mL
DESCRIPCIÓN		DATOS	
GR1: Cantidad de Cloruro Ferrico en mgr.		1000	
GR2: Cantidad de Cloruro Ferrico en mgr. ASIGNADO		20	
V: Volumen de solución que se desea preparar en Litros.		0.5	
FORMULA	CALCULO	PROPORCIÓN DE SOLUCIÓN	PROPORCIÓN DE SOLUCIÓN
$X=(GR2*V)/GR1$	$X= (0.02*0.5)/1$	0.010 L	10 mL

FUENTE: Elaboración propia.

Vaso precipitado 5

Para el quinto vaso precipitado se asignó 50 mg/L de Sulfato de Aluminio y 50 mg/L de Cloruro Férrico con una proporción en solución de 25 ml y 25 ml respectivamente.

TABLA 25 Dosis de coagulante para el vaso N°5

VASO PRECIPITADO 5			
DESCRIPCIÓN		DATOS	
GR 1: Cantidad de Sulfato de Aluminio en gr.		1000	
GR2: Cantidad de Sulfato de Aluminio en gr. ASIGNADO		50	
V: Volumen de solución que se desea preparar en Litros.		0.5	
FORMULA	CALCULO	PROPORCIÓN DE SOLUCIÓN	PROPORCIÓN DE SOLUCIÓN
$X=(GR2*V)/GR1$	$X= (0.05*0.5)/1$	0.025 L	25 mL
DESCRIPCIÓN		DATOS	
GR1: Cantidad de Cloruro Ferrico en gr.		1000	
GR2: Cantidad de Cloruro Ferrico en gr. ASIGNADO		50	
V: Volumen de solución que se desea preparar en Litros.		0.5	
FORMULA	CALCULO	PROPORCIÓN DE SOLUCIÓN	PROPORCIÓN DE SOLUCIÓN
$X=(GR2*V)/GR1$	$X= (0.05*0.5)/1$	0.025 L	25 mL

FUENTE: Elaboración propia.

3.6.1.1.6. Diagramas o tablas

Contenido de arsénico

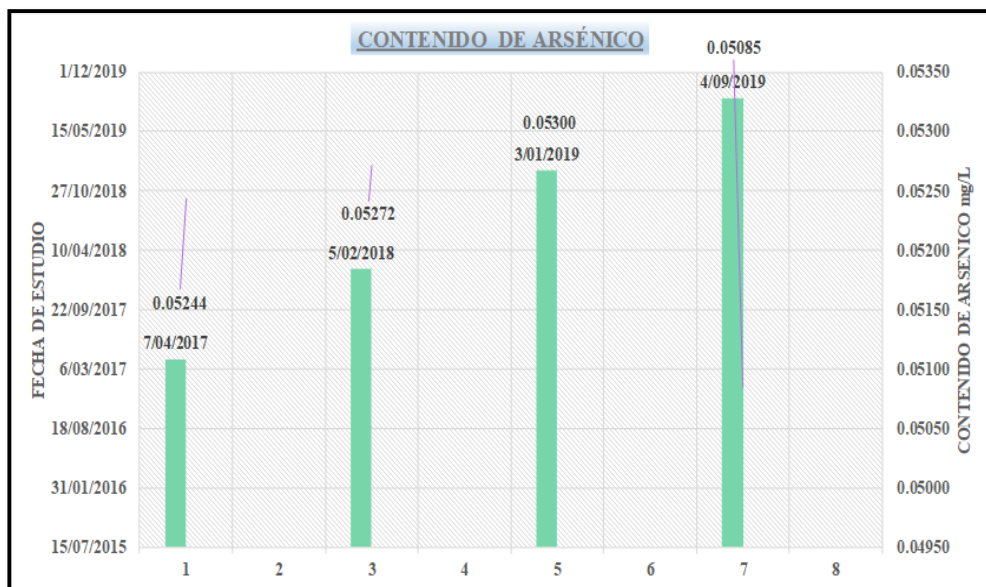
Se puede visualizar que el contenido de arsénico en los cuatro años tiene una variación menor a 0.002 mg/L.

TABLA 26 Contenido de arsénico registrado en los últimos años.

FECHA DE ANÁLISIS	RESULTADO DEL CONTENIDO DE ARSENICO (mgr/L)
7/04/2017	0.05244
5/02/2018	0.05272
3/01/2019	0.05300
4/09/2019	0.05085

FUENTE: Elaboración propia

TABLA 27 Esquema estadístico de contenido de arsénico registrado en los últimos años.



FUENTE: Elaboración propia.

Turbidez sin alterar la muestra.

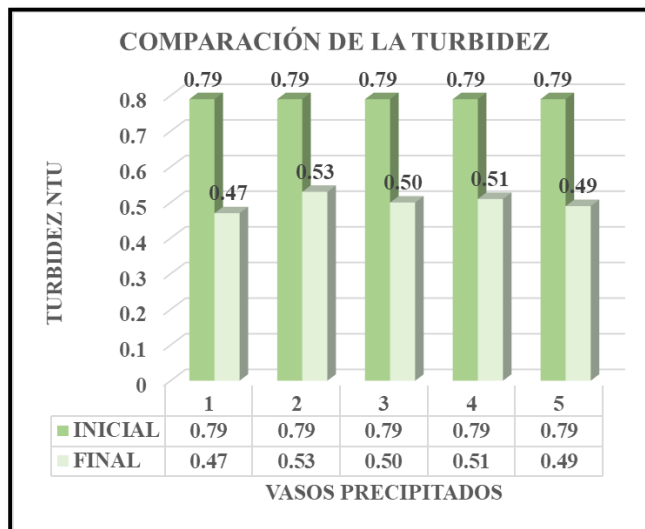
Se observa que sin alterar la muestra luego de realizar la prueba de coagulación – floculación la turbidez baja de 0.79 NTU a 0.47 NTU.

TABLA 28 Turbidez inicial y final de muestra sin alterar.

TURBIDEZ	
INICIAL	FINAL
0.79	0.47
0.79	0.53
0.79	0.50
0.79	0.51
0.79	0.49

FUENTE: Elaboración propia.

TABLA 29 Esquema comparativo de turbidez inicial y final en muestra sin alterar.



FUENTE: Elaboración propia.

Turbidez de la muestra alterada.

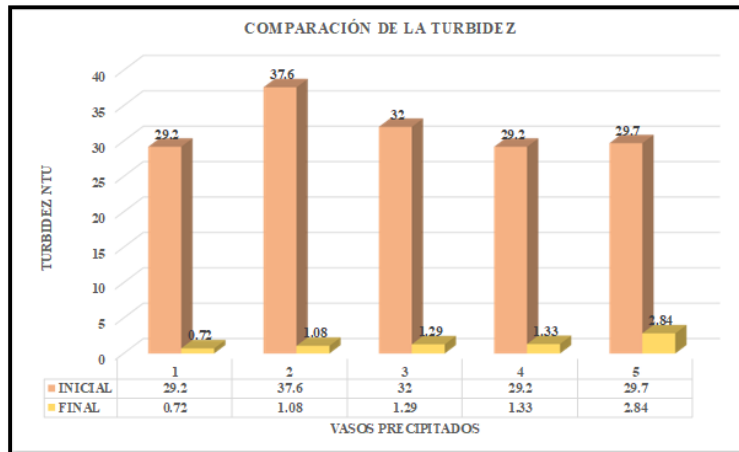
Se observa que alterando la muestra y luego de realizar la prueba de coagulación – floculación la turbidez se remueve en grado significativo llegando a satisfacer los LMP de turbidez 5 NTU para agua de consumo humano, con estos resultados se puede afirmar que el método de coagulación – floculación también es eficaz para remoción de turbidez.

TABLA 30 Turbidez inicial y final de muestra alterada.

TURBIDEZ	
INICIAL	FINAL
29.2	0.72
37.6	1.08
32	1.29
29.2	1.33
29.7	2.84

FUENTE: Elaboración propia

TABLA 31 Esquema comparativo de turbidez inicial y final en muestra alterada.



FUENTE: Elaboración propia.

PH sin alterar la muestra.

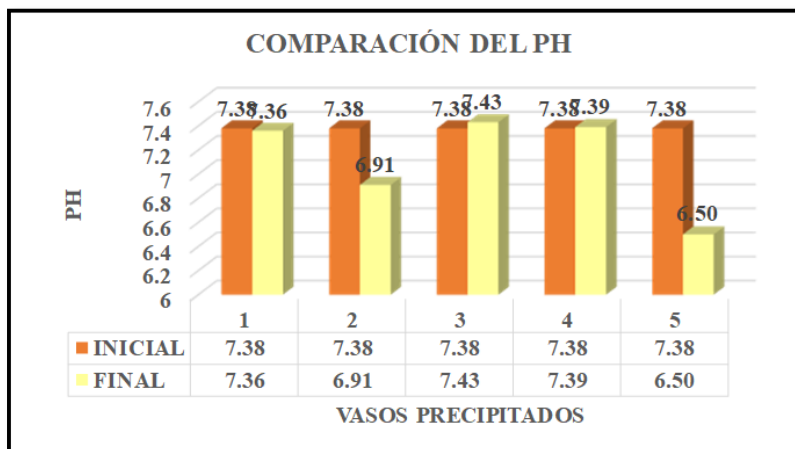
Podemos observar que el pH en la muestra sin alterar luego del proceso de coagulación - floculación se reduce de 7.38 a 6.50 estando dentro del rango de LMP de 6 a 8.

TABLA 32 pH inicial y final de muestra sin alterar.

PH	
7.38	7.36
7.38	6.91
7.38	7.43
7.38	7.39
7.38	6.50

FUENTE: Elaboración propia.

TABLA 33 Esquema comparativo del pH inicial y final en muestra sin alterar.



FUENTE: Elaboración propia.

pH de la muestra alterada.

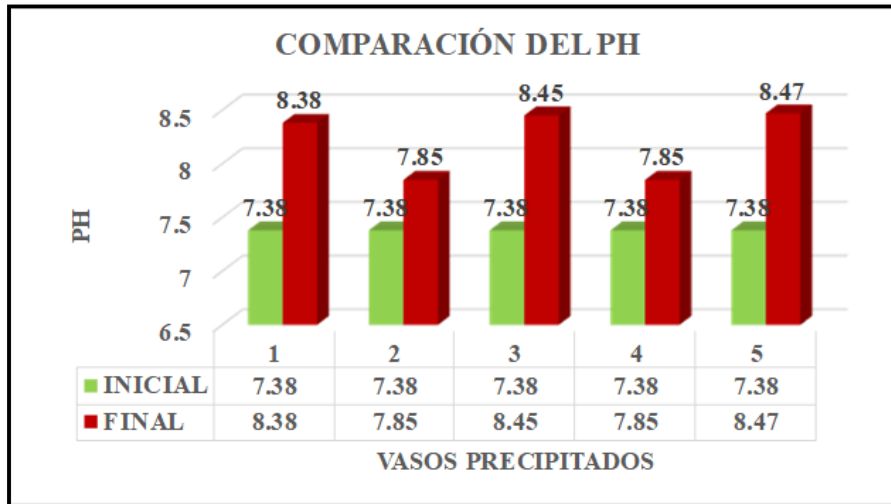
Se puede visualizar que el pH en la muestra alterada luego del proceso de coagulación - floculación aumenta considerablemente de 7.38 a 8.47, casi llegando al LMP de 8.5.

TABLA 34: pH inicial y final de muestra alterada.

PH	
7.38	8.38
7.38	7.85
7.38	8.45
7.38	7.85
7.38	8.47

FUENTE: Elaboración propia.

TABLA 35 Esquema comparativo del pH inicial y final en muestra alterada.



FUENTE: Elaboración propia.

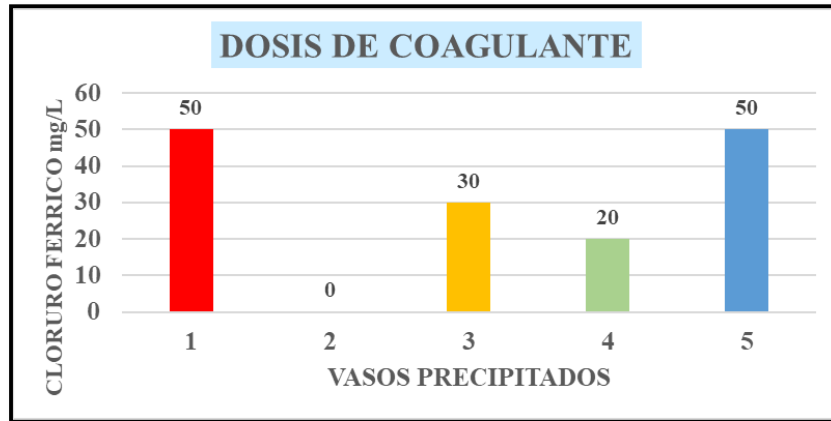
Dosis de coagulante – Cloruro Férrico.

TABLA 36 Dosis de cloruro Férrico.

VASOS PRECIPITADOS	DOSIS DE COAGULANTE CLORURO FERRICO MGL
1	50
2	0
3	30
4	20
5	50

FUENTE: Elaboración propia.

TABLA 37 Dosis de cloruro férrico.



FUENTE: Elaboración propia.

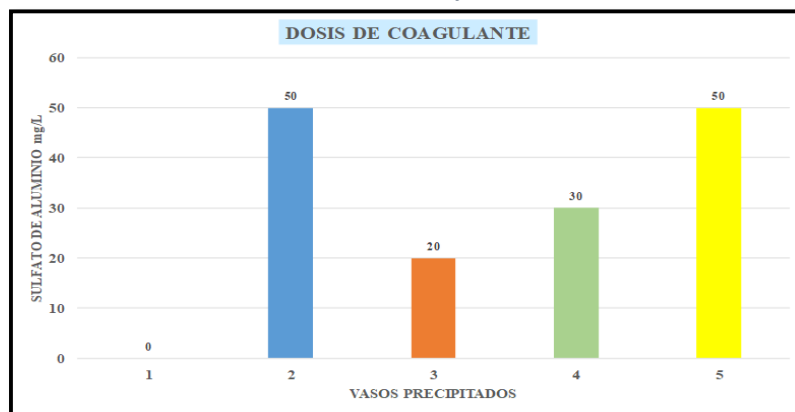
Dosis de coagulante – Sulfato de Aluminio.

TABLA 38 Dosis de sulfato de aluminio.

VASOS PRECIPITADOS	DOSIS DE COAGULANTE Sulfato de Aluminio MGL
1	0
2	50
3	20
4	30
5	50

FUENTE: elaboración propia.

TABLA 39 Dosis de sulfato de aluminio.



FUENTE: Elaboración propia