



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**T E S I S**

**EVALUACIÓN DEL PODER COAGULANTE DEL  
ALMIDÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum*) VAR. ÚNICA Y  
EL POLICLORURO DE ALUMINIO PARA LA  
REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ AL INGRESO DE LAS  
AGUAS A LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
SAMEGUA,  
MOQUEGUA 2016**

**PRESENTADO POR**

**BACHILLER JENNI ROCÍO CHAMA CABANA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2017**

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
PORTADA	
ÍNDICE.....	iii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	x
I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Descripción de la realidad del problema .....	1
1.2. Definición del problema.....	3
1.2.1. Problema general .....	3
1.2.2. Problemas derivados o específicos .....	3
1.3. Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1. Objetivo general .....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	4
1.4. Justificación .....	4
1.5. Alcances y limitaciones.....	5
1.5.1. Alcances.....	5
1.5.2. Limitaciones .....	5
1.6. Variables.....	5
1.6.1. Variable independiente .....	5
1.6.2. Variable dependiente .....	5
1.6.3. Variables constantes .....	6
1.6.4. Operacionalización de las variables .....	6
1.7. Hipótesis de la investigación .....	7
1.7.1. Hipótesis general .....	7
1.7.2. Hipótesis derivadas.....	8
II. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes de la investigación.....	9
2.1.1. Antecedentes .....	9
2.1.2. Ubicación del punto de muestreo .....	13

2.2. Bases teóricas .....	15
2.2.1. Marco legal .....	15
2.2.2. Revisión de literatura .....	17
2.3. Definición de términos .....	19
2.3.1. Almidón de papa .....	19
2.3.2. Coagulación.....	19
2.3.3. Floculación.....	19
2.3.4. Jar tester .....	19
2.3.5. pH .....	20
2.3.6. pH metro .....	20
2.3.7. Policloruro de aluminio .....	20
2.3.8. Turbidímetro .....	20
2.3.9. Turbidez.....	20
III. MÉTODO.....	21
3.1. Tipo de la investigación .....	21
3.2. Diseño de la investigación.....	211
3.3. Población y muestra.....	23
3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos.....	23
3.4.1. Técnicas.....	23
3.4.2. Instrumentos .....	25
3.4.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	26
IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	31
4.1. Presentación de resultados.....	30
4.1.1. Preparación del almidón de papa.....	30
4.1.2. Evaluación del coagulante .....	30
4.1.3. Estadísticos descriptivos .....	33
4.1.4. Análisis de varianza (ANVA) .....	35
4.1.5. Pruebas post host .....	36
4.2. Contrastación de hipótesis .....	43
4.2.1. Para la hipótesis general (factor A) .....	43
4.2.2. Para la sub hipótesis 1 (factor B).....	44
4.2.3. Para la sub hipótesis 2 (Interacción A × B).....	48

4.3. Discusión de los resultados.....	45
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
5.1. Conclusiones.....	50
5.2. Recomendaciones.....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Operacionalización de las variables.....	7
Tabla 2. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, D.S. N° 015- 2015- MINAM.....	16
Tabla 3. Límites Máximos Permisibles de parámetros de calidad organoléptica del Reglamento de Calidad del Agua para consumo Humano, D.S. N° 031-2010-SA.....	17
Tabla 4. Combinaciones de almidón de papa y policloruro de aluminio.....	27
Tabla 5. ANVA para el diseño factorial $a \times b$ .....	29
Tabla 6. Características iniciales del agua cruda utilizada.....	33
Tabla 7. Tratamientos realizados en equipo Jar tester.....	33
Tabla 8. Resultados de los tratamientos.....	34
Tabla 9. Datos del experimento factorial $3 \times 3$ .....	35
Tabla 10. Estadísticos descriptivos para turbidez.....	36
Tabla 11. Masa de almidón de papa variable turbidez.....	37
Tabla 12. Volumen de policloruro de aluminio.....	37
Tabla 13. Análisis de varianza (ANVA).....	38
Tabla 14. Comparaciones múltiples HSD Tukey.....	40
Tabla 15. Turbidez HSD Tukey <sup>a,b</sup> .....	40

Tabla 16. Variable dependiente turbidez comparaciones múltiples.....	42
Tabla 17. Turbidez HSD Tukey <sup>a,b</sup> policloruro de aluminio.....	43
Tabla 18. ANVA efecto simple turbidez.....	45
Tabla 19. Duncan almidón x aluminio.....	46
Tabla 20. Duncan aluminio x almidón.....	46
Tabla 21. Comparación de resultados.....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Georeferenciación de la ubicación.....	14
Figura 2. Proceso de la investigación.....	23
Figura 3. Gráfico de medias de masa de almidón de papa.....	41
Figura 4. Gráfico de medias de volumen de policloruro de aluminio.....	44
Figura 5. Efectos de interacción entre la masa de almidón de papa y volumen de policloruro de aluminio.....	47

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el poder coagulante del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Única y el policloruro de aluminio para la remoción de la turbidez al ingreso de las aguas a la planta de tratamiento Samegua, Moquegua 2016. Se aplicó un diseño experimental de 3 x 3 bajo un arreglo factorial de A y B donde se realizaron nueve mezclas. Se eligió como punto de muestreo el ingreso de agua cruda de la captación Ollería a la planta de tratamiento de agua Samegua. La obtención del coagulante natural de almidón de papa variedad Única se logró utilizando operaciones de triturado, filtrado, sedimentado, secado, tamizado, las cuales no presentaron un alto costo con un rendimiento de 17,5 % de almidón. El análisis de los resultados obtenidos permitió establecer, que la concentración óptima del almidón de papa es 133,0 mg/l (0,2 g de almidón), lográndose remover el parámetro turbidez de 6,3 NTU y la concentración de policloruro de aluminio más adecuada es 2 072,0 mg/l (13,0 ml de policloruro de aluminio), lográndose remover el parámetro turbidez de 9,1 NTU. Los resultados de las mezclas óptimas es del tratamiento 5 con 133,0 mg/l de almidón de papa (0,2 g) como agente coadyuvante mezclado con 1 597,0 mg/l de policloruro de aluminio (10,0 ml), se logró la turbidez de 7,8 NTU. Como conclusión general, se encontró que el poder coagulante del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Única dió mejores resultados que el policloruro de aluminio para la remoción de la turbidez al ingreso de las aguas a la planta de tratamiento Samegua.

Palabras clave: coagulante; almidón de papa; policloruro de aluminio; turbidez; remoción.

## ABSTRACT

The present work of investigation has as aim evaluate the coagulating power of the potatoe's starch (*Solanum tuberosum*) var. Única and the polychloride of aluminium for the removal of the turbidity to the revenue of the waters to the plant of treatment Samegua, Moquegua 2016. There was applied an experimental design of 3 x 3 under an arrangement factorial of a and b where nine mixtures were realized. There was chosen as point of sampling the revenue of raw water of the capture Ollería to the plant of water treatment Samegua. The obtaining of the natural coagulant of potatoe's starch variety Única it was achieved using operations of crushed, leaked, settled, dried, sifted, which did not present a high cost with a performance of 17,5 % of starch. The analysis of the obtained results allowed to establish, that the ideal concentration of the potatoe's starch is 133,0 mg/l (0,2 g of starch), being achieved the parameter removing turbidity of 6,3 NTU and the more suitable concentration of polychloride of aluminium is a 2 072,0 mg/l (13,0 ml of polychloride of aluminium), being achieved the parameter removing turbidity of 9,1 NTU. The results of the ideal mixtures it is of the treatment 5 with 133 mg/l of potatoe's starch (0,2 g) as helping agent mixed with 1 597,0 mg/l of polychloride of aluminium (10,0 ml), there was achieved the turbidity of 7,8 NTU. As general conclusion, one found that the coagulating power of the potatoe's starch (*Solanum tuberosum*) variety Única it gave better results that the polychloride of aluminium for the removal of the turbidity to the revenue of the waters to the plant of treatment Samegua.

Keywords: coagulant; potatoe's starch; polychloride of aluminium; turbidity; remove.

## INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es una creciente preocupación en todas las ciudades del mundo que se encuentran en vías de desarrollo. Las fuentes de agua natural están bajo la creciente amenaza de la contaminación, por lo tanto, las consecuencias son de gran alcance para la salud de la población infantil así también para el desarrollo económico y social de comunidades y naciones (UNICEF, 2014).

Los recursos hídricos de nuestro planeta Tierra están sometidos a un riesgo de contaminación física, química y/o biológica. El creciente avance de las actividades humanas tanto como la industria, agricultura, ganadería, el crecimiento demográfico, la falta de programas y medidas que den respuesta a dichos cambios genera un ambiente que favorece al avance de la contaminación. Debido a esto se deben tomar medidas que favorezcan la descontaminación de los efluentes y ésta debe ser cada vez más urgente, siendo así necesaria la búsqueda de nuevas alternativas amigables con el medio ambiente basadas en investigaciones sobre diferentes sistemas de tratamiento de aguas de manera natural que faciliten una mejor calidad y una protección adecuada de los recursos hídricos (Sánchez *et al*, 2011).

Los países en vías de desarrollo han adoptado como alternativa una serie de tecnologías tradicionales para eliminar la turbidez del agua en el ámbito doméstico. De ellas la más estudiada es la utilización de agentes coagulantes naturales de plantas para la clarificación del agua cruda (Dorea, 2006).

El agua potable, debe ser aceptable desde el punto de vista estético debe estar libre de turbidez, de color y de sabor perceptibles, y debe tener una temperatura razonable (Kiely, 1999).

El tratamiento del agua cruda contempla un proceso fisicoquímico, conocido como coagulación y floculación. La coagulación, se define como la adición de sustancias químicas y/o la provisión de mezcla, para que las partículas suspendidas y algunos contaminantes disueltos floculen en partículas más grandes que se puedan retirar mediante distintos procesos de remoción de sólidos (Dempsey, 2006). El uso de coagulantes a base de material biológico para el tratamiento de aguas turbias data de varios milenios (Sanghi *et al.*2002). Los científicos medioambientales mediante distintos estudios y evaluaciones han podido identificar y distinguir varios tipos de plantas, para este propósito. El empleo de coagulantes naturales puede ayudar a minimizar o evitar la importación de los coagulantes químicos (Yin, 2010).

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Descripción de la realidad del problema**

El agua es un recurso primordial para los seres vivos y para las actividades socioeconómicas del hombre. La clarificación del agua cruda es una de las etapas más importantes ya que esta permite la remoción de materiales de naturaleza coloidal en suspensión. Para lograr el propósito de clarificar el agua, es necesaria la utilización de agentes coagulantes, así como coadyuvantes de coagulación, que permiten eliminar un porcentaje significativo de sólidos suspendidos, orgánicos disueltos, iónicos disueltos (sales), gases y microorganismos que pueden afectar a la salud de los consumidores (Cartwright, 2009).

Los tratamientos para la purificación de agua cruda resultan ser de suma importancia para la sociedad, ya que de estos tratamientos depende la calidad del agua para consumo humano, doméstico y usos de diferente índole. Si dichos tratamientos se aplican de la manera correcta cada comunidad puede satisfacer el requerimiento esencial para la vida que es el agua pura (Guerrero, 1962). En el distrito de Samegua el recurso hídrico potabilizado, es de escasa disponibilidad en

volumen y tiempo, debido a que la planta de tratamiento no se abastece para proveer de agua potable a 6 515 pobladores (INEI, 2007). No reuniendo las características necesarias en factor económico y estructural para proveer de agua potable a la población Sameguana por tanto actúa como factor limitante en el desarrollo, siendo necesario, establecer medidas que permitan la preservación, uso racional y eficiente del recurso. Esto lleva a buscar medidas de solución que sean factibles económica, social y ambientalmente (DIRESA, 2014).

El aluminio residual que genera la utilización del policloruro de aluminio en el organismo humano puede generar problemas crónicos en la salud a largo plazo. Se presenta el riesgo de cáncer o fibrosis pulmonar ocasionando síntomas de tos y falta de oxígeno. En análisis realizados a muestras de aguas tratadas con policloruro de aluminio se han encontrado trazas de coagulante químico, causando una creciente preocupación relacionado entre el aluminio residual y efectos neurológicos adversos en las personas de avanzada edad, principalmente manifestado en la enfermedad del Alzheimer. Dado esto se tomó como referencia el informe técnico N°197-2016-GERESA-DSA-SBHAZ-SB en donde se muestran los resultados fisicoquímicos de los análisis de agua de la planta de tratamiento de agua Samegua en donde se muestran los resultados del parámetro Aluminio al ingreso de la planta de tratamiento de agua Samegua se encuentra dentro de los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) categoría 1 subcategoría 2 siendo distintos los resultados a la salida del agua de la planta de tratamiento de agua de Samegua en donde se muestra un incremento de 1,3 mg/l de aluminio dado que en el punto de muestreo el parámetro aluminio sobrepasa los límites máximos permisibles del reglamento de calidad de agua para consumo humano.

## **1.2. Definición del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Será posible evaluar el poder coagulante del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Única para la remoción de la turbidez al ingreso de las aguas a la planta de tratamiento Samegua, Moquegua 2016?

### **1.2.2. Problemas derivados o específicos**

¿De que manera se prepara el coagulante de almidón elaborado a partir de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Única?

¿En que medida se determina la masa de almidón de papa para la remoción de la turbidez presente en una muestra de agua recolectada al ingreso de la planta de tratamiento Samegua?

¿En que medida se determina el volumen de policloruro de aluminio para remover la turbidez presente en una muestra de agua recolectada al ingreso de la planta de tratamiento Samegua?

¿En que medida se determina la mezcla óptima de coagulante de almidón de papa con el coagulante químico policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  utilizado en el tratamiento de agua?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar el poder coagulante del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Única y el policloruro de aluminio para la remoción de la turbidez al ingreso de las aguas a la planta de tratamiento Samegua, Moquegua 2016.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Preparar el coagulante almidón, elaborado a partir de la papa (*Solanum tuberosum*) variedad Única.

Determinar la masa de almidón de la papa para la remoción de la turbidez presente en una muestra de agua recolectada al ingreso de la planta de tratamiento de Samegua.

Determinar el volumen de policloruro de aluminio para remover la turbidez presente en una muestra de agua recolectada al ingreso de la planta de tratamiento de Samegua.

Determinar la mezcla óptima de coagulante de almidón papa con el coagulante químico policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  utilizado en el tratamiento de agua.

### **1.4. Justificación**

Partiendo del punto de vista ambiental, se ha obtenido reportes de análisis realizados a muestras de aguas tratadas en plantas potabilizadoras donde se han encontrado trazas de policloruro de aluminio, lo que muestra que el control en cuanto a la adición de este coagulante químico comercial no es el más apropiado, representando así un riesgo potencial para la salud humana debido a su bioacumulación en el organismo humano (Martínez, 2003).

Bratby y Colbert (2007) mencionan que existe una creciente preocupación de la relación entre el aluminio residual y los efectos neurológicos en personas de edad avanzada siendo propensos a contraer la enfermedad del Alzheimer y fibrosis pulmonar.

## **1.5. Alcances y limitaciones**

### **1.5.1. Alcances**

Con la ejecución de este trabajo de investigación se pretendió obtener la concentración óptima del coagulante de almidón de papa y el policloruro de aluminio para remover la turbidez en una muestra de agua cruda recolectada del punto de captación de una planta de tratamiento de agua potable. Los estudiantes y especialistas en el campo del tratamiento de agua incrementan su interés por el estudio de los coagulantes naturales como una de las alternativas en la resolución de problemas ambientales presentes en nuestra región.

### **1.5.2. Limitaciones**

- Escasa información bibliográfica de estudios realizados en la región Moquegua, sobre remoción de turbidez a base de coagulantes naturales.
- Limitado equipamiento en el laboratorio de la universidad para realizar las pruebas correspondientes no se cuenta con equipo jar tester
- Dificultad para obtener el reactivo policloruro de aluminio para realizar los tratamientos debido a su alto costo.

## **1.6. Variables**

### **1.6.1. Variable independiente**

- Concentración de almidón de papa (mg/l)
- Concentración de policloruro de aluminio (mg/l)

### **1.6.2. Variable dependiente**

- Turbidez (NTU)

### **1.6.3. Variables constantes**

- Tiempo de agitación 20 min
- Velocidad de agitación 40 rpm
- Tiempo de sedimentación 60 min

### **1.6.4. Operacionalización de las variables**

#### **a. Definición conceptual**

La definición conceptual de una variable se realiza sintetizando el fenómeno desde la percepción de la teoría existente acerca del mismo, es una visión teórica de un fenómeno, por lo tanto constituye el conjunto del procedimiento que describe las actividades a realizar de un observador para recibir las impresiones sensoriales que indican la existencia de un concepto teórico en mayor o menor grado, concretamente especifica que actividad u operación ha de tener que realizarse para medir una variable. En la presente tesis recabamos información en tres tipos de variables: dependiente, independientes y constantes en donde para cada una de ellas le corresponde su respectivo indicador, valores finales y el tipo de variable.

#### **b. Definición operacional**

La definición operacional de cada variable nos permite abordar el estudio de una manera profunda, pues el énfasis de la investigación estaría concentrado en la caracterización de cada variable. En esta investigación, las variables se toman de la descripción de un problema a partir de los hechos que lo integran, su operacionalización exige contrastabilidad, para lo cual el marco teórico ha de ser fortalecido en la construcción de criterios de análisis que enuncien características particulares del problema el cual es el objeto de estudio a partir de las cuales se operacionaliza la variable, y así se permite establecer las dimensiones e indicadores

de las variables de tipo analítico. En la presente tesis en cada una de las tres variables podemos apreciar que son del tipo de variable continua debido a que toman un valor fijo dentro de un intervalo determinado. Y siempre entre dos valores observables va a existir un tercer valor intermedio que también podría tomar la variable continua debido a que nunca puede ser medida con exactitud; el valor observado depende en gran medida de la precisión de los instrumentos de medición. Con una variable continua hay inevitablemente un error de medida.

**Tabla 1.** Operacionalización de las variables

<b>Variable dependiente</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Valores finales</b>	<b>Tipo de variable</b>
Turbidez	NTU	16,1	Continua
<b>Variables independientes</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Valores finales</b>	<b>Tipo de variable</b>
Concentración de almidón de papa	mg/l	0,2 0,3	Continua
Concentración de policloruro de aluminio	mg/l	10,0 13,0	Continua
<b>Variables constantes</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Valores finales</b>	<b>Tipo de variable</b>
Tiempo de agitación	min	20,0	Continua
Velocidad de agitación	rpm	40,0	Continua
Tiempo de sedimentación	min	60,0	Continua

Fuente: Elaboración propia

## **1.7. Hipótesis de la investigación**

### **1.7.1. Hipótesis general**

El poder coagulante del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Única remueve eficientemente la turbidez del agua en comparación con el coagulante

químico comercial policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  utilizado en la planta de tratamiento de Samegua.

### **1.7.2. Hipótesis derivadas**

- La preparación del coagulante natural es a partir de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Única.
- La utilización del almidón de papa remueve la turbidez presente en una muestra de agua recolectada al ingreso de la planta de tratamiento Samegua.
- La utilización del policloruro de aluminio remueve la turbidez presente en una muestra de agua recolectada al ingreso de la planta de tratamiento Samegua.
- La mezcla óptima de coagulante de almidón de papa con el coagulante químico policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  utilizado en el tratamiento de agua remueve la turbidez presente en una muestra de agua recolectada al ingreso de la planta de tratamiento Samegua.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1. Antecedentes**

- Alvarado (2011) desarrolló el estudio del uso de las cáscaras de papa como coagulante natural en el tratamiento de aguas potables de la Planta “La Diana” Colombia.

Realizó una investigación cuantitativa experimental donde evaluó la capacidad del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol capiro para remover la turbidez de aguas crudas. El objetivo de este trabajo de investigación fué aprovechar el almidón de papa para determinar si sirven como coagulante natural en el tratamiento de agua potable de la planta La Diana (Villa de Leyva). Las variables independientes fueron la concentración del almidón de papa en (g/l) y la concentración de sulfato de aluminio en (ml) la variable dependiente fue la turbidez NTU. En la metodología se midieron sus parámetros fisicoquímicos: humedad (método gravimétrico), proteína (método Kjeldahl), grasa total (método Soxhlet), cenizas, carbohidratos (método de diferencia) y almidón (von Asboth); el proceso

de secado se realizó en estufa a una temperatura de 100 - 105 °C por un lapso de tiempo de 24 horas y luego se pasaron por un molino de martillos, obteniendo polvo fino de las mismas. En este estudio se realizó comparaciones de mezclas de almidón de papa y sulfato de aluminio, con la finalidad de poder evaluar la formulación más óptima como agente coagulante en el tratamiento de aguas potables, manteniendo los parámetros de pH, color y turbiedad. Mediante el equipo de laboratorio prueba de jarras se determinó la dosis óptima del sulfato de aluminio (8 mg/l, formulación patrón), en la clarificación de una muestra de agua del río Cane y la quebrada colorada (color de 41 UPC, turbiedad de 2 UNT y pH de 7,8) y se realizó la comparación con las otras formulaciones de almidón de papa y sulfato de aluminio. Los resultados mostraron la reducción de color se obtuvo con el tratamiento 3 (2,5 g de cáscaras de papa) y para el pH (7,5); es decir, los resultados de estos dos parámetros se encuentran dentro de los valores exigidos por la norma. La remoción de turbiedad fue igual en todos los tratamientos. Con los resultados de dicho trabajo de investigación se comprobó que la formulación que presentó mejor poder coagulante manteniendo los parámetros de pH, y turbidez fue la del almidón papa es decir, que sirven como agente coagulante biológico para el tratamiento de aguas potables, pues forman mejores flóculos y mayores partículas sedimentadas. Al comparar todas las formulaciones, se observa que la del almidón de papa, presentó un comportamiento similar en cuanto a la remoción de turbidez respecto de la formulación patrón de sulfato de aluminio.

- Moscozo (2015) realizó el estudio del uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización Guatemala.

Mediante una investigación cuantitativa el presente trabajo de investigación, plantea el uso del almidón de yuca como ayudante en el proceso de floculación-coagulación, el cual se analiza hasta qué porcentaje puede sustituir este al sulfato de aluminio en la dosis óptima para diferentes valores de turbiedad y también se realiza el análisis de la factibilidad técnica y económica del uso del almidón. Tiene como objetivo determinar la posibilidad de sustituir hasta un 40 % de sulfato de aluminio por almidón de yuca en el proceso de coagulación-floculación para la potabilización de agua y lograr turbiedades menores a las 5 NTU. Para dicho experimento cuantitativo se utilizó como metodología recolectar agua del grifo, a la cual se le aplicó caolín como elemento para lograr la turbiedad requerida en el estudio llevando a prueba de jarras las mezclas para determinar los resultados debido que el estudio pretendió establecer cuál es la dosis de sulfato de aluminio que puede ser sustituida por almidón de yuca en la dosis óptima en intervalos del 20 %, en cada uno de los porcentajes la prueba se realizó de acuerdo con el método Dunnet. Como variable dependiente se tiene a la turbidez del agua por medio de caolín y como variables independientes se tiene el almidón de yuca y el sulfato de aluminio, para el diseño estadístico se empleó un DCA para el análisis de varianza dando como resultados importantes que se puede sustituir hasta un 60 % de sulfato de aluminio por almidón de yuca, para que se cumpla los límites máximos permisibles según las normas establecidas con estos resultados podemos concluir

que el almidón de yuca puede sustituir al sulfato de aluminio hasta un 60 % de la dosis óptima, para lograr valores de turbiedad inferiores a 5 NTU.

- Mantilla (2013) desarrolló el estudio de investigación extracción y modificación de almidón de plátano cuatro filos (*musa abb del subgrupo silver bluggoe*) para posible uso en el tratamiento de potabilización de aguas Colombia.

En el presente estudio realizado se evaluó la capacidad coagulante del almidón nativo y modificado de plátano cuatro filos (*Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe*) sin gelificar y gelificado, para determinar su posible uso en el tratamiento de potabilización de aguas. Tuvo como objetivo demostrar que el almidón nativo de plátano no tiene necesidad de ser gelificado o de modificar el almidón para ser utilizado en tratamiento de aguas potables. La metodología utilizada para la modificación del almidón mediante el método de acetilación, con un rendimiento de 42,5 %, y a partir de este 80 % para almidón modificado. Se utilizó un diseño experimental factorial general, de dos factores: Tipo de Coagulante usado y Concentración de Coagulante usado; con cinco niveles para el primero (alumbre, almidón nativo sin gelificar (ANSG), almidón nativo gelificado (ANG), almidón modificado sin gelificar (AMSG) y almidón modificado gelificado (ANM)) y seis para el segundo (5, 10, 15, 20, 25 y 30 ppm). En el experimento se realizaron 60 corridas experimentales, y los análisis por duplicado. Las variables de respuesta fueron: turbidez, alcalinidad, pH, color y dureza. Luego a los tratamientos denominados como mejores se compararon a partir de resultados de carga microbiana y DQO. Primero se aplicó un ANOVA multifactorial debido a la existencia de dos factores. Luego se tomaron los tratamientos denominados como mejores y los resultados del agua cruda (sin tratamiento), y se aplicó un análisis estadístico ANOVA simple,

para evidenciar si había o no diferencia estadística entre un tratamiento y otro. Los tratamientos denominados como mejores fueron 15 ppm para el alumbre, 15 ppm para almidón nativo y 25 ppm para almidón modificado. Como resultados importantes el análisis estadístico multifactorial arrojó que no hubo diferencia significativa en cuanto a la turbidez y el pH, y mediante el análisis estadístico simple se concluyó que no hubo diferencias significativas entre un tratamiento y otro para la dureza y el pH. Ambos análisis evidencian que no hay necesidad de modificar el almidón ni de gelificarlo, ya que son pocas las diferencias estadísticas entre un tratamiento y otro para la mayoría de las variables de respuesta. La DQO y la carga bacteriana si tuvieron una relación directa. El almidón nativo obtuvo una DQO más baja con respecto al modificado. Como conclusión importante se tiene que el almidón de plátano cuatro filos (*Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe*) resultó con un poder coagulante bajo, por lo cual es necesario realizar estudio en donde se utilice con coadyuvantes en mezclas con coagulantes, o realizar otro tratamiento posterior al de floculación coagulación que permita una mayor remoción de color y turbidez en el agua.

### **2.1.2 Ubicación del punto de muestreo**

Las pruebas experimentales del presente trabajo de investigación se realizaron en el laboratorio de la planta de tratamiento de agua de Samegua y en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad José Carlos Mariátegui.

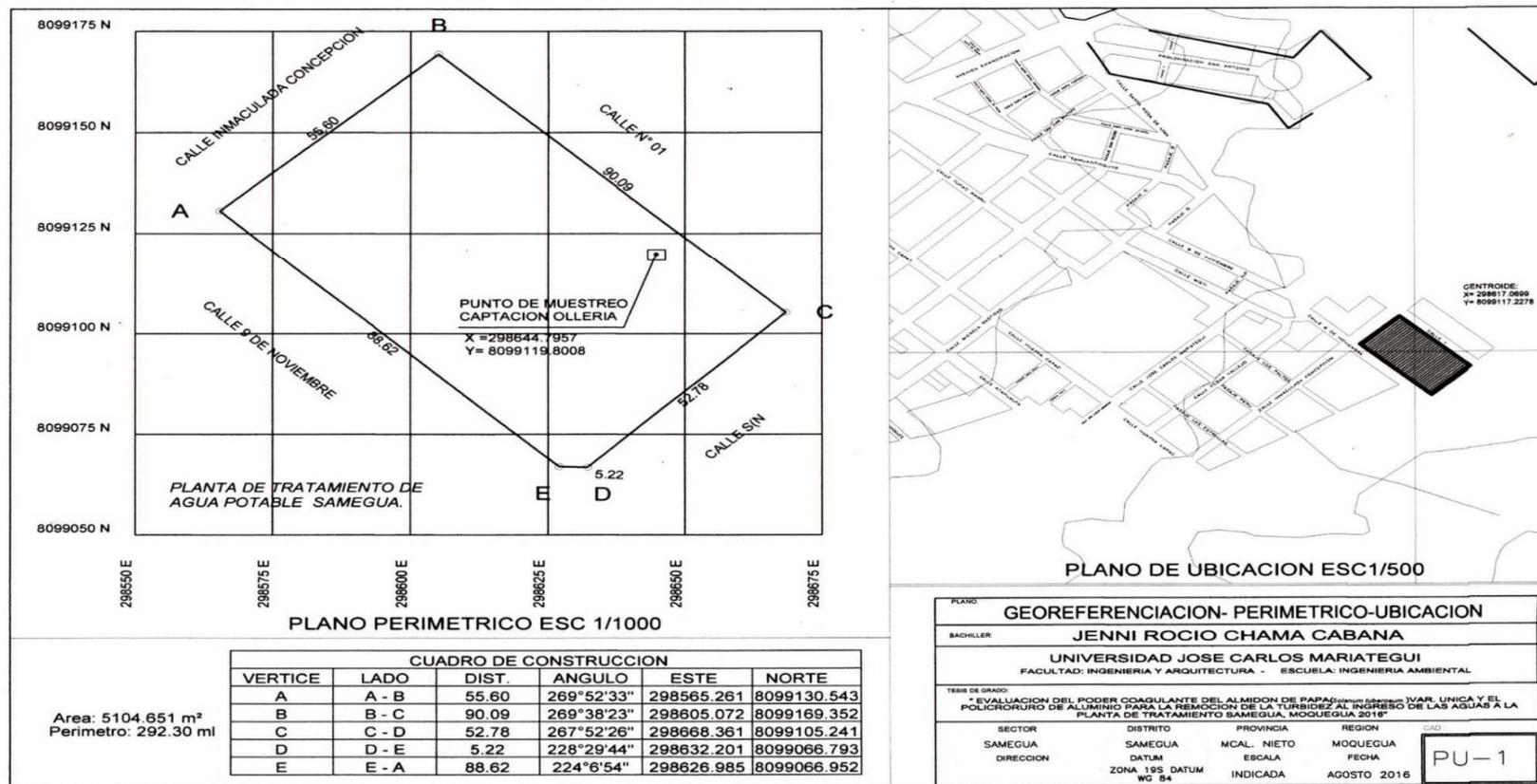


Figura 1. Georeferenciación de la ubicación  
Fuente: Elaboración propia

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Marco legal**

Según la ley N° 26842 Ley general de salud se enmarca dentro de la política nacional de salud y los principios establecidos para la calidad del agua para consumo humano y garantiza su inocuidad.

Según el D.S. N° 002-2008-MINAM donde se aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua, especifica y establecen el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

Según el reglamento de calidad del agua para consumo humano D.S. 031-2010-S.A. artículo 1 establece las disposiciones generales con relación a la gestión de la calidad del agua para consumo humano, con la finalidad de garantizar su inocuidad, prevenir los factores de riesgos sanitarios, así como proteger y promover la salud y bienestar de la población.

Según el D.S. N° 015-2015-MINAM en donde se modifican estándares nacionales de calidad ambiental para agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación en el artículo 3 inciso 3.2 indica que los titulares de la actividad extractiva, productiva y de servicios deben prevenir y/o controlar los impactos que sus operaciones pueden generar en los parámetros y concentraciones aplicables a los cuerpos de agua dentro del área de influencia de sus operaciones, advirtiendo entre otras variables, las condiciones particulares de sus operaciones y los insumos empleados en el tratamiento de sus efluentes; dichas

consideraciones deben ser incluidas como parte de los compromisos asumidos en su instrumento de gestión ambiental, siendo materia de fiscalización por parte de la autoridad competente.

Valores guía para el agua de bebida. OMS-2004 en donde indica que el acceso al agua potable es fundamental para la salud, uno de los derechos humanos básicos y un componente de las políticas eficaces de protección de la salud.

La tabla 2, muestra los estándares nacionales de calidad ambiental para agua.

**Tabla 2.** Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, D.S. N° 015 - 2015- MINAM.

		<b>Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable</b>		
		<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>
<b>Parámetro</b>	<b>Und</b>	<b>Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección</b>	<b>Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional</b>	<b>Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado</b>
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	1000	1000	1500
Sulfatos	mg/l	250	500	..
Temperatura	°C	Δ3	Δ3	..
Turbiedad	UNT	5	100	..

Fuente: MINAM, 2015.

La tabla 3, muestra los Límites Máximos Permisibles de parámetros de calidad organoléptica del Reglamento de Calidad del Agua para consumo Humano.

**Tabla 3.** Límites Máximos Permisibles de parámetros de calidad organoléptica del Reglamento de Calidad del Agua para consumo Humano, D.S. N° 031- 2010-SA

<b>Anexo II</b>			
<b>Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica</b>			
N°	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	1500
7	Sólidos totales disueltos	mg/l	1000
8	Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> /l	250
9	Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /l	250
10	Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	500
11	Amoniaco	mg N/l	1,5
12	Hierro	mg Fe/l	0,3
13	Manganeso	mg Mn/l	0,4
14	Aluminio	mg Al/l	0,2
15	Cobre	mg Cu/l	2,0
16	Zinc	mg Zn/l	3,0
17	Sodio	mg Na/l	200

Fuente: MINSa, 2010

### **2.2.2. Revisión de literatura**

#### **a. Almidón de papa como coagulante natural**

Según Brumovsky el almidón de papa es un carbohidrato de reserva de los vegetales y se encuentra compuesta por el 20 % de amilosa y 80 % de amilopectina. (Brumovsky, 2014).

Según Pérez indica que en las plantas de potabilización de agua para consumo humano se utilizan como coagulantes las sales de aluminio o de hierro para desestabilizar partículas coloidales, desde los años 70 en adelante se propuso la utilización de coagulantes orgánicos naturales de cada región según su disposición, con la finalidad de reducir el consumo de coagulantes inorgánicos. Estos coagulantes químicos pueden reaccionar con las demás sustancias químicas añadidas al agua durante su tratamiento, generando sustancias peligrosas para la salud pública. Así mismo indica que uno de los coagulantes naturales con mayor efectividad es el almidón, que se encuentra en abundancia en las plantas vegetales y constituye una reserva de carbohidratos en las plantas (Pérez, 1992).

#### **b. Policloruro de aluminio como coagulante inorgánico**

Según el autor Andía el coagulante inorgánico PAC líquido  $Al_2(OH)_3Cl$  es un coagulante químico que es fabricado a base de sal polimerizada de bajo peso molecular y clorhidrato de aluminio; el cual es efectivo en la clarificación de aguas crudas en procesos industriales y potabilización (Andía, 2000).

#### **c. Carga superficial de las partículas**

El autor Kawamura mencionó acerca del movimiento browniano de partículas coloidales siendo este un factor importante que causa que las partículas permanezcan en suspensión indefinidamente (Kawamura, 1991).

#### **d. Coagulación-Floculación**

El proceso de coagulación-floculación es el resultado de dos reacciones independientes y distintas: coagulación y transporte de partículas coloides (Gómez, 2005).

### **e. Modelo físico de coagulación**

Considera la formación de una capa difusa y una capa adherida alrededor del coloide. Los coloides que forman la capa fija quedan retenidos ahí gracias a las fuerzas de Van der Waals y electrostáticas (Stern, 2003).

## **2.3. Definición de términos**

### **2.3.1. Almidón de papa**

Conocido también como fécula de patata, harina de patata, o chuño al almidón extraído de patatas contienen gránulos ovales a esféricos, cuyo tamaño oscila entre 5 y 100  $\mu\text{m}$ . y contiene una cantidad mínima de proteína y grasa.

### **2.3.2. Coagulación**

Se conoce con el término de coagulación a la desestabilización química que se produce al neutralizar las fuerzas de separación, por medio de la adición de los coagulantes orgánicos o inorgánicos.

### **2.3.3. Flokulación**

Es el procedimiento de agitación de la masa que se encuentra ya coagulada permitiendo el crecimiento y aglomeración de los flóculos cuya finalidad es de aumentar el tamaño y adquieran el peso necesario para sedimentar con facilidad.

### **2.3.4. Jar tester**

También conocido como prueba de jarras es un equipo de muy útil para determinar una dosis óptima en el proceso de clarificación del agua.

### **2.3.5. pH**

Conocido también como potencial hidrógeno posee una escala de medición que va desde cero a catorce, conteniendo la escala de cero a siete todas las sustancias ácidas y la escala que del siete a catorce, cuyas sustancias se denominan alcalinas o básicas; siendo el valor siete neutro (ni ácido, ni básico).

### **2.3.6. pH metro**

Instrumento de laboratorio que posee un sensor que es utilizado para medir el pH de una disolución con los electrodos, posee un voltímetro que será sumergido en la sustancia provocando que genere una corriente eléctrica, esto se da por medio de la membrana de vidrio.

### **2.3.7. Policloruro de aluminio**

Coagulante químico utilizado para el tratamiento de aguas crudas cuya formación es a base de sales de aluminio polimerizadas utilizado principalmente en clarificación de efluentes industriales y en plantas potabilizadoras de agua superficial.

### **2.3.8. Turbidímetro**

Equipo para detectar la turbidez en líquidos y soluciones acuosas se usa en suspensiones muestra el valor en FTU (Formazine Turbidity Unit, siglas en inglés) esta unidad es idéntica con NTU (Nephelometric Turbidity Unit, siglas en inglés).

### **2.3.9. Turbidez**

Es un parámetro que permite medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido. La turbidez del agua superficial se debe a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0,2 a 5  $\mu\text{m}$ .

## CAPÍTULO III

### MÉTODO

#### 3.1. Tipo de la investigación

Investigación de tipo aplicada, nivel experimental porque se aplica un modelo estadístico de efectos a los resultados obtenidos, se utiliza experimentos y los principios encontrados en el método científico.

#### 3.2. Diseño de la investigación

En el presente trabajo de investigación se utilizó la estadística inferencial conocido con el nombre de Análisis de Varianza (ANVA) con dos factores. El diseño de la presente investigación es un diseño factorial de  $3 \times 3$  con 3 réplicas. El modelo estadístico de efectos que se seleccionó para este tipo de diseño está dado por la siguiente fórmula:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$
$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, n$$

Donde  $\mu$  es la media general,  $\alpha_i$  es el efecto debido al  $i$ -ésimo nivel del factor A,  $\beta_j$  es el efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor B;  $(\alpha\beta)_{ij}$  representa al efecto de la interacción en la combinación  $ij$  y  $\varepsilon_{ijk}$  es el error aleatorio que supone que sigue una distribución normal con media cero y varianza constante y son independientes entre sí

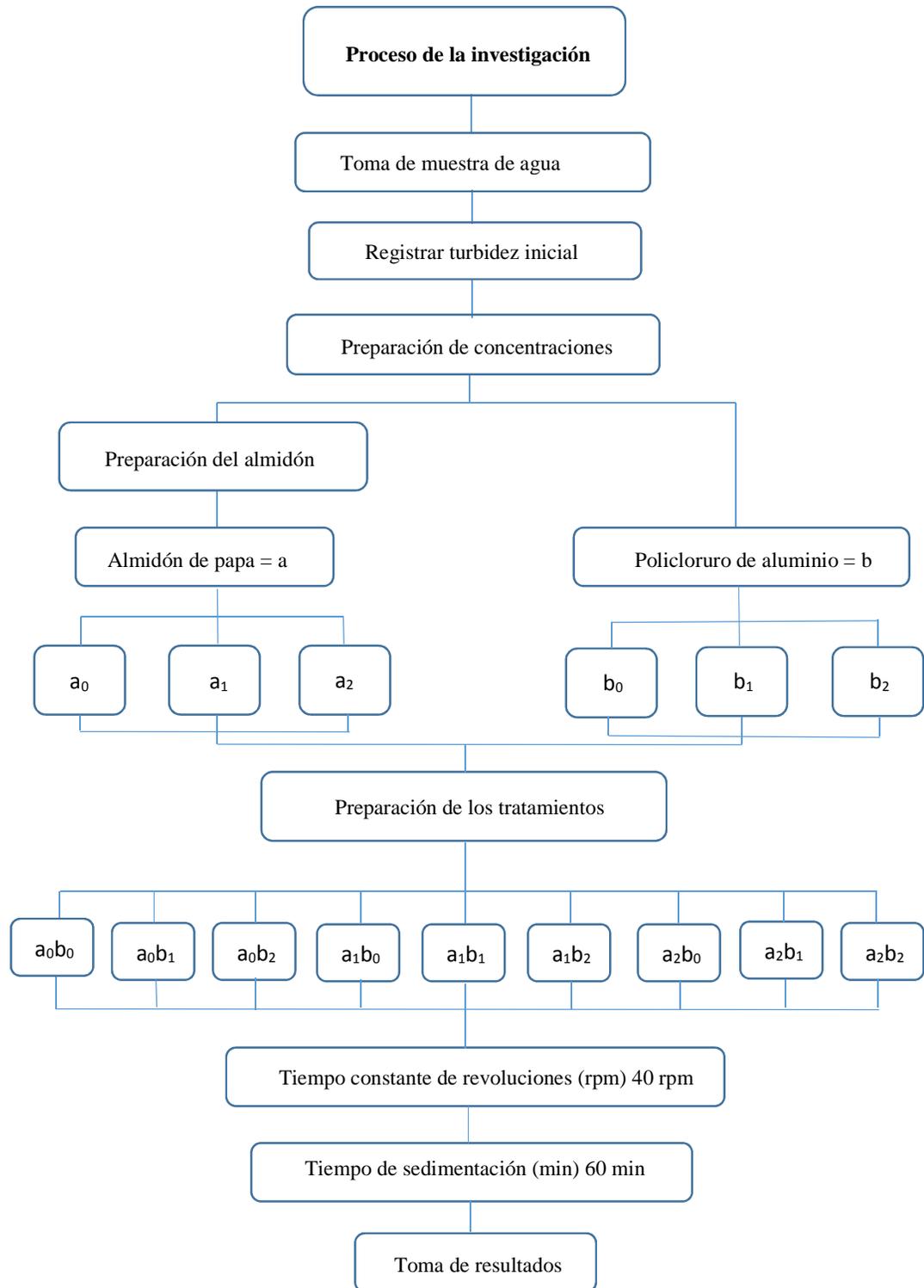


Figura 2. Proceso de la investigación  
Fuente: Elaboración propia

El diseño se basa en una secuencia de pasos que se tienen en cuenta al realizar los nueve tratamientos empezando por recolectar las muestras de agua cruda en la captación Ollería para así poder registrar la turbidez inicial, luego se preparó el almidón de papa para poder distribuirlo en los tratamientos así mismo se dosificó el policloruro de aluminio. Posteriormente se realiza los nueve tratamientos sometiéndolos a pruebas de jarras a 40 rpm durante 20 minutos y con un tiempo de sedimentación de 60 minutos. Para finalizar se registró la turbidez final y se comparó los resultados obtenidos.

### **3.3. Población y muestra**

La muestra de agua cruda fue recolectada de la toma de agua Ollería al ingreso de la planta de tratamiento de agua Samegua cuyo caudal de ingreso es de 41 l/s. El muestreo de agua al azar fue de 36 galones de agua (45 l) que se distribuyó en 9 pruebas de 1,5 l con una repetición de 3 veces.

### **3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnicas**

##### **a. Preparación del almidón de papa**

La preparación del almidón de papa se realizó de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Se recolectó 1kg de papa var Única y se procedió a retirar la cáscara.
- Se procedió a triturar la pulpa de papa en una licuadora sin agregar agua.
- Se procedió a extraer el líquido de la papa utilizando un colador ejerciendo presión para lograr extraer todo el líquido posible.

- Se dejó sedimentar por 3 horas para separar el almidón del líquido.
- Se retiró el líquido y sólo se utilizó el almidón que sedimentó.
- El almidón extraído se colocó en dos placas petri llevándolo a la estufa por un lapso de tiempo de 3 horas a 100 °C.
- Al finalizar se procedió a reducir de tamaño a las partículas de almidón utilizando un mortero hasta un promedio de 450 µm en tamaño y se almacenó para su uso en pruebas de coagulación.

### **b. Recolección de muestras de agua cruda**

La técnica utilizada en la presente investigación es el experimento. Se fijó la hora para la toma de muestras siendo está a las 10:00 am ubicando las coordenadas del punto de muestreo con GPS posteriormente se procedió a recolectar las muestras compuestas que fueron depositadas en 7 recipientes plástico de 5 galones de polietileno. Se tuvo en cuenta la dirección de la corriente para tomar la muestra en dirección contracorriente, se registró el valor inicial de la turbidez y la temperatura siendo de 26 °C. Se dispuso de los equipos necesarios para realizar los análisis potenciómetro y turbidímetro. La recolección de muestras de agua cruda de la captación Ollería se realizaron de acuerdo a lo establecido en el protocolo nacional de monitoreo de la calidad del agua (ANA, 2011).

### **c. Evaluación del coagulante**

Se preparó el equipo jar tester para poder realizar los tratamientos, se colocó 1,5 l de agua cruda en cada jarra y se aplicó los nueve tratamientos previamente pesados y dosificados durante 20 minutos a 40 rpm. Finalmente se dejó sedimentar por 60

minutos para poder tomar el registro de la turbidez final, se procedió a realizar las dos repeticiones faltantes siguiendo el mismo procedimiento para poder obtener los datos finales y realizar los análisis estadísticos.

### **3.4.2. Instrumentos**

Los instrumentos utilizados en la investigación son los materiales de vidrio, material biológico, equipos y reactivos, los cuales se detalla a continuación:

#### **a. Material de vidrio**

- Probeta 50 ml marca BRAND Eterna  $\pm 1$  in 20 °C Clase A
- Matraz aforado 300 ml marca KIMAX N° 3100 Stopper N° 10
- Pipeta 10 ml marca BRAND Germany P.O.22 Ex 20 °C
- Cápsula Petri marca NORMAX 90mm de diámetro y 14,2 mm de altura.

#### **b. Material biológico**

- Almidón de papa var. Única

#### **c. Equipos**

- JarTester de 6 vasos de capacidad de 2 l cada uno marca B-KER Phipps&Bird.
- Turbidímetro marca THERMO SCIENTIFIC modelo Orion AQ4500 sensibilidad de 0 a 1000 NTU.
- Balanza analítica marca SARTORIUS GEM lite modelo 98648-58 capacidad de 310 g  $\pm 0,001$ g.
- Potenciómetro marca HANNA Instruments modelo HI8424 medición  $\pm 0 - 14$  pH.
- Destilador de agua marca MONODEST 3000E capacidad de 5 l.
- Estufa digital marca ECOCELL modelo MMM capacidad 55 l.

#### d. Reactivos

- Policloruro de Aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  POLIFLOC tipo PACSO 100 densidad 1,3 g/ml puro.
- Agua destilada.

#### 3.4.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El diseño de la presente investigación es un diseño factorial de  $3 \times 3$  con 3 réplicas (Tabla 4) y se desarrolló por medio del equipo de laboratorio prueba de jarras.

**Tabla 4.** *Combinaciones de almidón de papa y policloruro de aluminio*

		<b>Factor B</b>		
		<b>Volumen de policloruro de aluminio (ml)</b>		
		$b_0$	$b_1$	$b_2$
<b>Factor A</b>	$a_0$	$a_0b_0$	$a_0b_1$	$a_0b_2$
<b>Masa de almidón de papa (g)</b>	$a_1$	$a_1b_0$	$a_1b_1$	$a_1b_2$
	$a_2$	$a_2b_0$	$a_2b_1$	$a_2b_2$

Fuente: Elaboración propia

Donde:

A = Masa del almidón de papa:

$$a_0 = 0\text{g (0 mg/l)}$$

$$a_1 = 0,2\text{ g (133 mg/l)}$$

$$a_2 = 0,3\text{ g (200 mg/l)}$$

B = Volumen de policloruro de aluminio:

$$b_0 = 0\text{ ml (0 mg/l)}$$

$$b_1 = 10,0\text{ ml (1 597 mg/l)}$$

$$b_2 = 13,0\text{ ml (2 072 mg/l)}$$

### **a. Utilización del procesador sistematizado computarizado**

Una vez que se han decodificado los datos, son transferidos a una matriz, almacenado en un archivo y realizado el control de calidad de los datos, se procede al procesamiento de los datos y se lleva a cabo usando computadoras personales. El análisis de datos recolectados se efectúa sobre la matriz de datos utilizando software estadístico realizando las siguientes fases:

- Fase 1: Se selecciona un software estadístico para proceder a analizar la información
- Fase 2: Seleccionar el programa SPSS y ejecutarlo.
- Fase 3: Explorar los datos recolectados y analizarlos descriptivamente.
- Fase 4: Realizar el análisis mediante pruebas estadísticas las hipótesis planteadas (análisis estadístico inferencial).
- Fase 5: Proceder a realizar análisis adicionales que sean necesarios.
- Fase 6: Preparar los resultados para su debida presentación (tablas, gráficas, cuadros, análisis de varianza).

### **b. Pruebas estadísticas**

En el presente trabajo de investigación se utilizó la estadística inferencial conocido con el nombre de Análisis de Varianza (ANVA) con dos factores. El diseño de la presente investigación es un diseño factorial de  $3 \times 3$  con 3 réplicas. El modelo estadístico de efectos que se seleccionó para este tipo de diseño está dado por la siguiente fórmula:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$
$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, n$$

Donde  $\mu$  es la media general,  $\alpha_i$  es el efecto debido al  $i$ -ésimo nivel del factor A,  $\beta_j$  es el efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor B;  $(\alpha\beta)_{ij}$  representa al efecto de la interacción en la combinación  $ij$  y  $\varepsilon_{ijk}$  es el error aleatorio que supone que sigue una distribución normal con media cero y varianza constante y son independientes entre sí.

El ANVA para el diseño factorial  $a \times b$  de la presente investigación está dado de la siguiente manera:

**Tabla 5.** ANVA para el diseño factorial  $a \times b$

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F<sub>0</sub></b>	<b>Valor-p</b>
<i>Efecto A</i>	$SC_A$	$a - 1$	$CM_A$	$CM_A/CM_E$	$P(F > F_0^B)$
<i>Efecto B</i>	$SC_B$	$b - 1$	$CM_B$	$CM_B/CM_E$	$P(F > F_0^A)$
<i>Efecto AB</i>	$SC_{AB}$	$(a - 1)(b - 1)$	$CM_{AB}$	$CM_{AB}/CM_E$	$P(F > F_0^{AB})$
<i>Error Exp</i>	$SC_E$	$ab(n - 1)$	$CM_E$		
<i>Total</i>	$SC_T$	$abn - 1$			

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$$SC_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_{i.}^2}{bn} - \frac{Y_{...}^2}{N}$$

$$SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j}^2}{an} - \frac{Y_{...}^2}{N}$$

$$SC_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij.}^2}{n} - \frac{Y_{...}^2}{N} - SC_A - SC_B$$

$$SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_{AB}$$

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{N}$$

### c. Contrastación de la prueba de hipótesis

Se realizó la validación de las pruebas estadísticas, usando la prueba de hipótesis del análisis de varianza, y consta de los siguientes pasos:

### d. Formulación de hipótesis

- Efecto A: Hipótesis sobre el efecto del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) var.

Única

$H_0$ : Efecto del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) var. Única (A) = 0

$H_a$ : Efecto del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) var. Única (A)  $\neq$  0

- Efecto B: Hipótesis sobre el efecto del policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$

$H_0$ : Efecto del policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  (B) = 0

$H_a$ : Efecto del policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  (B)  $\neq$  0

- Efecto AB: Hipótesis sobre el efecto de la interacción entre el almidón de papa (*Solanum tuberosum*) var. Única y el policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$

$H_0$ : Almidón de papa x policloruro de aluminio (A x B) = 0

$H_a$ : Almidón de papa x policloruro de aluminio (A x B)  $\neq$  0

### e. Estadígrafo de prueba

$$F_0 = CM_A / CM_E$$

$$F_0 = CM_B / CM_E$$

$$F_0 = CM_{AB} / CM_E$$

### f. Decisión estadística

Si  $P(F > F_0^A)$ , aceptamos  $H_0$ : y rechazamos la  $H_a$

$P(F > F_0^B)$ , aceptamos  $H_0$ : y rechazamos la  $H_a$

$P(F > F_0^{AB})$ , aceptamos  $H_0$ : y rechazamos la  $H_a$

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### **4.1. Presentación de resultados**

Las pruebas experimentales realizadas permitieron obtener los siguientes resultados:

##### **4.1.1. Preparación del almidón de papa**

En la preparación del almidón de papa se obtuvo los siguientes datos:

De 1 Kg de papa var Única se logró obtener 17,5 g con un porcentaje de rendimiento de 17,5 % de almidón.

##### **4.1.2. Evaluación del coagulante**

Para la recolección de datos iniciales en la presente investigación se consideraron los siguientes parámetros:

**Tabla 6.** Características iniciales del agua cruda utilizada

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Turbiedad (NTU)	16,1
Grado de acidez pH	7,4
Temperatura (°C)	26,0

Fuente: Elaboración propia

Prueba de jarras: 40 x 20 RPM

Tiempo de sedimentación: 60 minutos

En la Tabla 7, se presenta los tratamientos realizados con el equipo de Jar tester, como se muestra a continuación:

**Tabla 7.** Tratamientos realizados en equipo Jar tester

<b>Tratamientos</b>	<b>Almidón de papa (g)</b>	<b>Policloruro de aluminio (ml)</b>
T <sub>1</sub>	a <sub>0</sub> b <sub>0</sub>	0,0
T <sub>2</sub>	a <sub>0</sub> b <sub>1</sub>	10,0
T <sub>3</sub>	a <sub>0</sub> b <sub>2</sub>	13,0
T <sub>4</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>0</sub>	0,0
T <sub>5</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	10,0
T <sub>6</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	13,0
T <sub>7</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>0</sub>	0,0
T <sub>8</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	10,0
T <sub>9</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	13,0

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 8, muestra los resultados obtenidos de los tratamientos en la presente investigación:

**Tabla 8.** Resultados de los tratamientos

	<b>a0</b>			<b>a1</b>			<b>a2</b>		
	<b>b0</b>	<b>b1</b>	<b>b2</b>	<b>b0</b>	<b>b1</b>	<b>b2</b>	<b>b0</b>	<b>b1</b>	<b>b2</b>
	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T9</b>
I	16,1	11,7	9,2	6,3	7,9	8,8	8,3	8,9	9,5
II	16,1	11,4	9,2	6,3	7,8	8,7	7,9	7,9	8,9
III	16,1	11,5	9,0	6,2	7,8	8,7	7,9	7,9	8,8

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los resultados obtenidos de la turbidez están en NTU

Los resultados de la Tabla 8, se presentan como datos del experimento factorial del orden  $3 \times 3$  en la siguiente tabla:

**Tabla 9.** Datos del experimento factorial  $3 \times 3$ 

		<b>Factor B</b>			
		<b>Volumen de policloruro de aluminio (ml)</b>			
		0,0	10,0	13,0	
<b>Factor A</b>	<b>Masa de almidón de papa (g)</b>	0,0	16,1	11,7	9,2
		0,2	16,1	11,4	9,2
		0,3	16,1	11,5	9,0
	0,0	6,3	7,9	8,8	
	0,2	6,3	7,8	8,7	
	0,3	6,2	7,9	8,7	
	0,0	8,3	8,9	9,5	
	0,2	7,9	7,9	8,9	
	0,3	7,9	7,9	8,8	

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.3. Estadísticos descriptivos

En la Tabla 10, se muestran los estadísticos descriptivos de la dosificación de almidón de papa var. Única y de la dosificación de policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$ .

**Tabla 10.** *Estadísticos descriptivos variable dependiente turbidez*

Masa de almidón de papa (g)	Volumen de policloruro de aluminio (ml)	Media	Desviación estándar	Nº
0,0	0,0	16,1	0,0	3
	10,0	11,5	0,2	3
	13,0	9,1	0,1	3
	Total	12,2	3,1	9
0,2	0,0	6,2	0,1	3
	10,0	7,8	0,1	3
	13,0	8,7	0,1	3
	Total	7,6	1,1	9
0,3	0,0	8,0	0,2	3
	10,0	8,2	0,6	3
	13,0	9,1	0,4	3
	Total	8,5	0,6	9
Total	0,0	10,1	4,5	9
	10,0	9,2	1,8	9
	13,0	8,9	0,3	9
	Total	9,4	2,8	27

Fuente: Elaboración propia

### a. Masa de almidón de papa

**Tabla 11.** *Masa de almidón de papa variable dependiente turbidez*

Masa del almidón de papa (g)	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95 %	
			Límite inferior	Límite Superior
0,0	12,2	0,1	12,1	12,4
0,2	7,6	0,1	7,5	7,8
0,3	8,4	0,1	8,3	8,6

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la Tabla 11, muestran que la turbidez promedio para la masa de almidón de papa (g) en la muestra de agua cruda (testigo) es de 12,1 NTU, para 0,2 g almidón de papa es de 7,6 NTU de turbidez y para 0,3 g almidón de papa es de 8,5 NTU en promedio.

### b. Volumen de policloruro de aluminio

**Tabla 12.** *Volumen de policloruro de aluminio variable dependiente turbidez*

Volumen de policloruro de aluminio (ml)	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95 %	
			Límite inferior	Límite superior
0,0	10,1	0,1	9,9	10,3
10,0	9,2	0,1	9,0	9,4
13,0	8,9	0,1	8,8	9,2

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 12, se observa que el NTU promedio para 0,0 ml de policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  es de 10,1 NTU, para 10,0 ml de policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  es de 9,2 NTU y para 13 ml de policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  es de 8,9 NTU de turbidez.

#### 4.1.4. Análisis de varianza (ANVA)

**Tabla 13.** Análisis de varianza Turbidez (NTU)

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	F tabular		Sig
					0,1	0,0	
Factor A	2	109,3	54,7	834,9	3,6	5,6	**
Factor B	2	6,7	3,4	51,2	3,6	6,0	**
A x B	4	79,6	19,9	303,9	2,9	4,6	**
Error Exp	18	1,2	0,1				
Total	26	196,8					

CV: 2,7 %

\*\* : altamente significativo

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis de varianza (ANVA), concluyen que los efectos: efecto del poder coagulante del almidón de papa var. Única (efecto A), efecto del poder coagulante del químico comercial policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  (efecto B) y el efecto de la interacción del poder coagulante del almidón de papa var. Única y del coagulante químico comercial policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  (efecto interacción A × B), influyen en la turbidez del agua utilizado en la planta de tratamiento de Samegua, dado que el efecto interacción A × B resultan significativos.

En la tabla 13 del análisis de varianza de turbidez (NTU), para factor A los resultados son altamente significativos donde sus efectos fueron estadísticamente diferentes. Para el factor B los resultados son altamente significativos donde sus efectos fueron estadísticamente diferentes. Para la interacción A x B se observa que hay alta significancia estadística; los factores principales actuaron dependientes, es decir, que los niveles de factor A muestra una diferencia significativa bajo cualquier combinación de B y viceversa, por lo tanto se requiere el análisis de los efectos simples para tener conclusiones de los comportamientos de los niveles en consideración al otro factor.

El coeficiente de variabilidad de 2,7 % es aceptable para el experimento y está dentro de los rangos establecidos para experimentos. Por lo tanto para el factor A y B rechazamos la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$ , para la Interacción A x B aceptamos la  $H_a$  y rechazamos la  $H_0$

Después de haber aplicado un diseño factorial 3 x 3 factores, se realizaron las pruebas de comparaciones múltiples mediante el estadístico de Tukey.

#### 4.1.5. Pruebas post host

**Tabla 14.** Comparaciones múltiples HSD Tukey

(I) Masa de almidón de papa (g)	(J) Masa de almidón de papa (g)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig	Intervalo de confianza al 95 %	
					Límite inferior	Límite superior
0,0	0,2	4,6	0,1	0,0	4,3	4,9
	0,3	3,8	0,1	0,0	3,5	4,1
0,2	0,0	-4,6	0,1	0,0	-4,9	-4,3
	0,3	-0,8	0,1	0,0	-1,1	-0,5
0,3	0,0	-3,8	0,1	0,0	-4,1	-3,5
	0,2	0,8	0,1	0,0	0,5	1,1

Fuente: Elaboración Propia

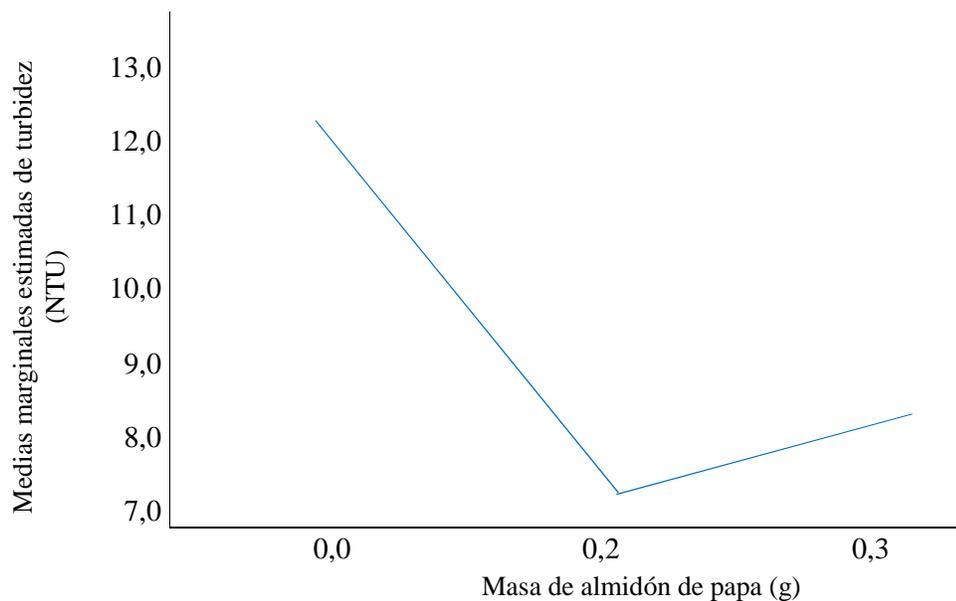
Los resultados obtenidos en la tabla 14, concluyen que para el factor poder coagulante del almidón de papa var. Única (factor A), obtenido mediante el método de Tukey existen diferencias significativas entre los niveles del factor A.

**Tabla 15.** Turbidez HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Masa de almidón de papa (g)	N°	Subconjunto		
		1	2	3
0,2	9	7,6		
0,3	9		8,5	
0,0	9			12,3
Sig		1,0	1,0	1,0

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de las comparaciones múltiples realizadas mediante el método de Tukey, muestran que existen diferencias significativas en los 3 niveles del factor A.



**Figura 3.** Gráfico de medias de masa de almidón de papa  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3 se observa que la masa adecuada para la remoción de la turbidez es de 0,2 g de almidón de papa. El análisis de los resultados obtenidos permitió establecer, que la concentración optima del almidón de papa es 133,0 mg/l (0,2 g de almidón), lográndose remover el parámetro turbidez de 6,3 NTU al ingreso de agua cruda a la planta de tratamiento Samegua.

El análisis posterior indica que, los tres niveles de volumen son significativamente diferentes, como se observa en los resultados de subconjuntos homogéneos.

**Tabla 16.** Variable dependiente turbidez comparaciones múltiples HSD Tukey

(I) Volumen de policloruro de aluminio (ml)	(J) Volumen de policloruro de aluminio (ml)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig	Intervalo de confianza al 95 %	
					Límite inferior	Límite superior
0,0	10,0	0,9	0,1	0,0	0,6	1,2
	13,0	1,2	0,1	0,0	0,8	1,5
10,0	0,0	-0,9	0,1	0,0	-1,2	-0,6
	13,0	0,2	0,1	0,2	-0,1	0,5
13,0	0,0	-1,2	0,1	0,0	-1,5	-0,8
	10,0	-0,2	0,1	0,2	-0,5	0,1

Fuente: Elaboración propia

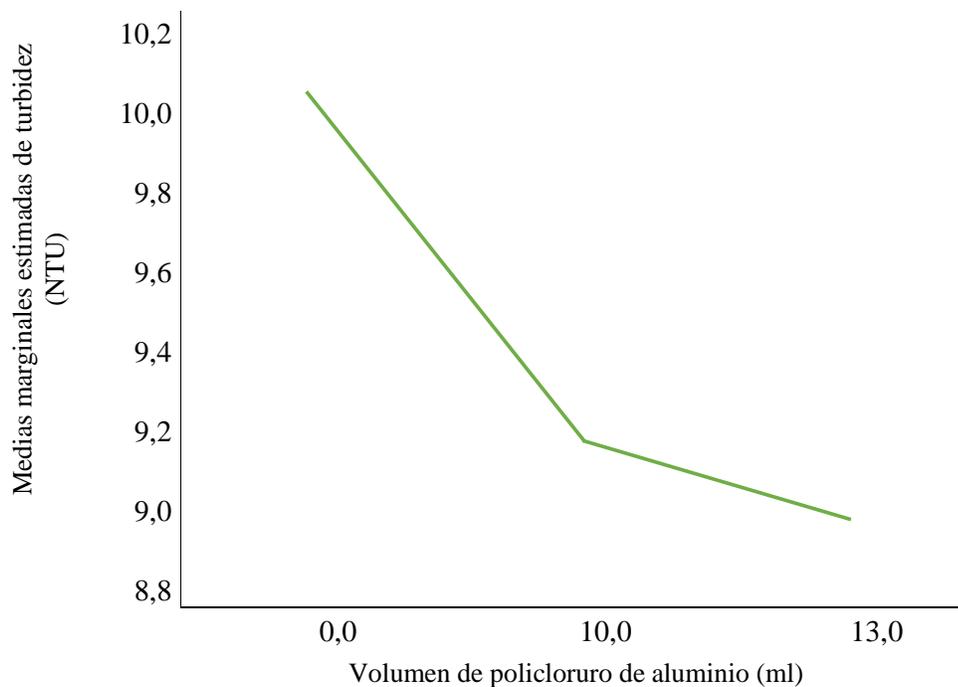
Los resultados de la tabla 16, concluyen que para el factor coagulante del químico comercial policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$ , obtenido mediante el método de Tukey no existen diferencias significativas entre los niveles de 10,0 ml con el nivel de 13,0 ml del factor B.

**Tabla 17.** Turbidez HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Volumen de policloruro de aluminio (ml)	Nº	Subconjunto	
		1	2
13,0	9	8,9	
10,0	9	9,2	
0,0	9		10,1
Sig		0,2	1,0

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de las comparaciones múltiples realizadas mediante el método de Tukey, muestran que los niveles de 13,0 ml y 10,0 ml de volumen de policloruro de aluminio son significativamente iguales, y ambos niveles son diferentes del nivel 0,0 ml, para el factor coagulante del químico comercial policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  (factor B).



*Figura 4.* Gráfico de medias de volumen de policloruro de aluminio

Fuente: Elaboración propia

Según la figura 4 el volumen de policloruro de aluminio adecuado para la remoción de la turbidez es de 13,0 ml. El análisis de los resultados obtenidos permitió establecer, que la concentración de policloruro de aluminio más adecuada es 2 072 mg/l (13,0 ml de policloruro de aluminio), lográndose remover el parámetro turbidez de 9,1 NTU al ingreso de agua cruda a la planta de tratamiento Samegua.

**Tabla 18.** *Análisis de varianza de efecto simple de turbidez (NTU)*

F de V	GL	SC	CM	FC	FT		Sig
					0,1	0,0	
A en b <sub>0</sub>	2	164,4	82,2	1255,3	3,5	6,0	**
A en b <sub>1</sub>	2	24,3	12,1	185,4	3,5	6,0	**
A en b <sub>2</sub>	2	0,2	0,1	1,9	3,5	6,0	NS
B en a <sub>0</sub>	2	75,1	37,5	573,4	3,5	6,0	**
B en a <sub>1</sub>	2	9,4	4,7	72,0	3,5	6,0	**
B en a <sub>2</sub>	2	1,8	0,9	13,5	3,5	6,0	**
Error Exp	18	1,2	0,1				

Nota: \*\*: altamente significativo

NS: no significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18 nos muestra el análisis de efectos simples, se encontró alta significancia estadística cuando se combina el Factor A con el volumen de policloruro de aluminio b<sub>0</sub> y b<sub>1</sub>, pero no se encuentra significancia estadística cuando se combina el factor A con b<sub>2</sub>.

Existe diferencia altamente significativa cuando se combina el factor B, en masa de almidón de papa a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub> y a<sub>2</sub>.

**Tabla 19.** Prueba de significación de Duncan de efectos simples de turbidez (NTU) masa de almidón de papa x volumen de policloruro de aluminio

A en b <sub>0</sub>	N <sup>0</sup>	Sig 0,1	A en b <sub>1</sub>	N <sup>0</sup>	Sig 0,1	A en b <sub>2</sub>	N <sup>0</sup>	Sig 0,1
a <sub>0</sub>	16,1	a	a <sub>0</sub>	11,5	a	a <sub>0</sub>	9,1	a
a <sub>2</sub>	8,0	b	a <sub>2</sub>	7,9	b	a <sub>2</sub>	9,0	a
a <sub>1</sub>	6,3	c	a <sub>1</sub>	8,3	b	a <sub>1</sub>	8,8	a

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en los resultados de la prueba de significación de Duncan en la tabla 19 de efectos simples de turbidez (NTU) se observa que el Factor A muestra diferencias estadísticas cuando se combina con los niveles del factor B siendo el de mayor promedio se registró a<sub>0</sub>b<sub>0</sub> con 16,1 NTU seguido del a<sub>0</sub>b<sub>1</sub> con 11,5 NTU el de menor promedio es la combinación a<sub>1</sub>b<sub>0</sub>.

**Tabla 20.** Prueba de significación de Duncan de efectos simples de turbidez (NTU) volumen de policloruro de aluminio x masa de almidón papa

B en a <sub>0</sub>	N <sup>0</sup>	Sig 0,1	B en a <sub>1</sub>	N <sup>0</sup>	Sig 0,1	B en a <sub>2</sub>	N <sup>0</sup>	Sig 0,1
b <sub>0</sub>	16,1	a	b <sub>2</sub>	8,7	a	b <sub>2</sub>	9,1	a
b <sub>1</sub>	11,5	b	b <sub>1</sub>	7,9	ab	b <sub>1</sub>	8,3	a
b <sub>2</sub>	9,1	c	b <sub>0</sub>	6,3	b	b <sub>0</sub>	8,1	a

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en los resultados de la prueba de Duncan en la tabla 20 de efectos simples de turbidez (NTU).

Se observa que la combinación  $a_0b_0$  logró el mayor promedio con 16,1 NTU seguido del  $a_0b_1$  con 11,5 NTU pero como se busca reducir la cantidad de turbidez podemos apreciar que el de menor promedio es la combinación  $a_1b_0$  con 6,3 NTU respectivamente.

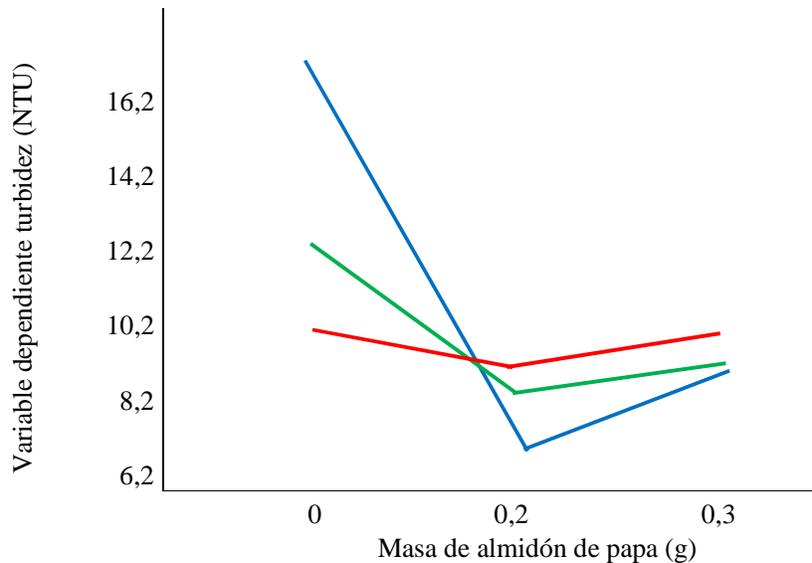


Figura 5. Interacción masa de almidón papa x volumen de policloruro de aluminio para turbidez (NTU)

Nota: Volumen de policloruro de aluminio

— 0 ml    — 10 ml    — 13 ml

Fuente: Elaboración propia

En la figura 5 muestra de interacción A x B para turbidez (NTU) que se presenta gráficamente, nos indica que la masa de almidón de la papa  $a_1$  tiene mayor efecto combinado con el volumen de policloruro de aluminio, destacando el  $b_0$  seguido por  $a_1$ .

La figura 5 indica que, los niveles de concentración de policloruro de aluminio a 10,0 ml y 13,0 ml son significativamente iguales, pero son significativamente diferentes al nivel de volumen de 0,0 ml, como se observa en los resultados de subconjuntos homogéneos y grafico de medias.

La representación gráfica de la figura 4 nos permite mostrar toda la información relevante del experimento realizado en el laboratorio de la planta de tratamiento de agua Samegua.

La significancia de la interacción detectada por el ANVA se observa en el hecho de que las líneas en la figura tienen pendientes relativamente diferentes. Como lo que interesa es minimizar la variable de respuesta, se observa que a mayor masa de almidón de papa y menor volumen de policloruro de aluminio hay una tendencia a obtener menor turbidez.

## **4.2. Contrastación de hipótesis**

### **4.2.1. Para la hipótesis general (factor A)**

#### **a. Formulación de hipótesis**

$H_0$ : El poder coagulante del almidón de papa variedad Única no tiene efecto en la turbidez del agua utilizado en la planta de tratamiento de Samegua.

$H_a$ : El poder coagulante del almidón de papa variedad Única tiene efecto en la turbidez del agua utilizado en la planta de tratamiento de Samegua.

#### **b. Estadístico de prueba**

$$P(F_0^A) = 0,0$$

#### **c. Decisión estadística**

Como p-valor = 0,0 (Sig. Bilateral) es menor a 0,1 entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Se concluye que existen evidencias

estadísticas significativas para afirmar que el poder coagulante del almidón de papa variedad Única tiene efecto en la turbidez del agua utilizado en la planta de tratamiento de Samegua.

#### **4.2.2. Para la sub hipótesis 1 (factor B)**

##### **a. Formulación de hipótesis**

$H_0$ : El poder coagulante del químico comercial policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  no tiene efecto en la turbidez del agua utilizado en la planta de tratamiento de Samegua.

$H_a$ : El poder coagulante del químico comercial policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  tiene efecto en la turbidez del agua utilizado en la planta de tratamiento de Samegua.

##### **b. Estadístico de prueba**

$$P(F_0^B) = 0,0$$

##### **c. Decisión estadística**

Como  $p\text{-valor} = 0,0$  (sig. bilateral) es menor a  $0,1$  entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Se concluye que existen evidencias estadísticas significativas para afirmar que el poder coagulante del químico comercial policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  tiene efecto en la turbidez del agua utilizado en la planta de tratamiento de Samegua.

#### **4.2.3. Para la sub hipótesis 2 (Interacción A × B)**

##### **a. Formulación de hipótesis**

$H_0$ : La interacción del poder coagulante del almidón de papa variedad Única y del coagulante químico comercial policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  no remueven eficientemente la turbidez del agua utilizado en la planta de tratamiento de Samegua.

$H_a$ : La interacción del poder coagulante del almidón de papa variedad Única y del coagulante químico comercial policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  remueven eficientemente la turbidez del agua utilizado en la planta de tratamiento de Samegua

##### **b. Estadístico de prueba**

$$P( F_0^{AB} ) = 0,0$$

##### **c. Decisión estadística**

Como p-valor = 0,0 (Sig. Bilateral) es menor a 0,1 entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Se concluye que existen evidencias estadísticas significativas para afirmar que la interacción del poder coagulante del almidón de papa variedad Única y del coagulante químico comercial policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  remueven eficientemente la turbidez del agua utilizado en la planta de tratamiento de Samegua.

#### **4.3. Discusión de los resultados**

Esta investigación tuvo como propósito comparar el poder coagulante del almidón de papa variedad Única con el coagulante químico comercial policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  utilizado en la planta de tratamiento de Samegua. Sobre todo, se pretendió examinar cuál de las combinaciones actúa mejor realizando diferentes interacciones entre ambas variables independientes para lograr un mejor resultado

en reducir la variable turbidez. El extracto de origen natural, ensayado y reportado en este presente trabajo de investigación es eficiente en la remoción de turbidez del agua, comparado en algunos casos con el sulfato férrico o policloruro de aluminio.

De los resultados obtenidos en esta investigación, se puede deducir que el análisis realizado indica que:

Los resultados del análisis de varianza (ANVA), concluyen que los efectos: efecto del poder coagulante del almidón de papa var. Única (Efecto A), efecto del poder coagulante del químico comercial policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  (Efecto B) y el efecto de la interacción del poder coagulante del almidón de papa var. Única y del coagulante químico comercial policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  (Efecto de la interacción  $A \times B$ ), influyen en turbidez, del agua utilizado en la planta de tratamiento de Samegua dado que el efecto interacción  $A \times B$  resultan significativos.

Los resultados de las comparaciones múltiples realizadas mediante el método de Tukey, muestran que existen diferencias significativas en los 3 niveles del poder coagulante del almidón de papa var. Única (factor A). Lo que demuestra con la contrastación de la hipótesis, que concluye que existen evidencias estadísticas significativas para afirmar que el poder coagulante del almidón de papa var. Única tiene efecto en la turbidez del agua utilizado en la planta de tratamiento de Samegua.

Los resultados de las comparaciones múltiples realizadas mediante el método de Tukey, muestran que los niveles de 13,0 ml y 10,0 ml de concentración

de policloruro de aluminio son significativamente iguales, y ambos niveles son diferentes del nivel 0,0 ml, para el factor coagulante del químico comercial policloruro de aluminio  $\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$  (Factor B). Dicho resultado se demuestra con la prueba de hipótesis, concluyendo que existen evidencias estadísticas significativas para afirmar que el poder coagulante del químico comercial policloruro de aluminio  $\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$  tiene efecto en la turbidez del agua utilizado en la planta de tratamiento de Samegua.

A sí mismo, si comparamos los resultados con los otros estudios realizados donde utilizaron el almidón de yuca según Moscozo (2015) y el almidón de plátano de acuerdo a Mantilla (2013) podemos concluir que los valores que se han obtenido de la variable turbidez indican diferencias entre los distintos tratamientos. La prueba de Dunnett confirma que los tratamientos 1 y la mezcla del tratamiento 2 se comportan estadísticamente de manera significativa y lograron comprobar que las mezclas de sulfato de aluminio con almidón de yuca tienen un potencial de coagulación-floculación y podrían ayudar proceso de clarificación de agua para su posterior potabilización. En comparación con el segundo antecedente antes redactado Moscozo (2015) donde se logró determinar que si es posible sustituir hasta un 60 % de sulfato de aluminio por almidón de yuca en el proceso de coagulación-floculación para la potabilización de agua y lograr turbiedades menores a las 5 NTU, donde se realizaron las pruebas correspondientes , para el diseño estadístico se empleó un DCA para el análisis de varianza dando como resultados importantes que se puede sustituir hasta un 60 % de sulfato de aluminio por almidón de yuca, para que se cumpla los límites máximos permisibles según las

normas establecidas con estos resultados podemos concluir que el almidón de yuca puede sustituir al sulfato de aluminio hasta un 60 % de la dosis óptima, para lograr valores de turbiedad inferiores a 5 NTU.

Según el D.S. N° 002-2008-MINAM donde se aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua, especifica y establecen el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Y de acuerdo al D.S. N° 031- 2010-SA que establece los límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica del reglamento de calidad del agua para consumo humano. Establece como límite máximo permisible de 5 NTU en los parámetros de turbiedad, en la presente investigación, se observa que el factor almidón de papa var. Única presentó un comportamiento similar en cuanto a la remoción de turbidez respecto de la formulación patrón de policloruro de aluminio. Comparando los resultados de turbidez con el reglamento para agua de consumo humano D.S. N° 031- 2010-SA. La tabla 21 muestra los valores de turbidez utilizando almidón de papa y policloruro de aluminio, durante el proceso de coagulación y floculación de aguas crudas.

**Tabla 21.** Comparación entre los valores de turbidez con el Reglamento para agua de consumo humano D.S. N° 031- 2010-SA

<b>Proceso</b>	<b>Coagulante utilizado</b>	<b>Concentración</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
Clarificación del agua cruda	Almidón de papa (0,2 g)	133,0 mg/l	6,3
	Policloruro de aluminio (13,0 ml)	2 072,0 mg/l	9,1
	Almidón de papa (0,2g) + Policloruro de aluminio (13,0 ml)	133,0 mg/l + 2 072,0 mg/l	7,9
Límites Máximos permisibles exigidos para el agua potable por el D.S. N° 031- 2010-SA			5,0

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, pese a no alcanzar los valores mínimos exigidos por el D.S. N° 031-2010-SA de 5 NTU de turbidez, para el agua potable, los resultados son satisfactorios, ya que, la etapa de clarificación solo es una de las utilizadas en el tratamiento del agua cruda y estos parámetros se pueden alcanzar con un proceso de filtración.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

**Primera.** La evaluación del poder coagulante de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) removi6 eficientemente la turbidez del agua en comparaci6n con el coagulante qu6mico policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  utilizado en la planta de tratamiento de Samegua.

**Segunda.** La obtenci6n del coagulante natural de almid6n de papa variedad 6nica se logr6 utilizando operaciones de triturado, filtrado, sedimentado, secado, tamizado, las cuales no presentaron un alto costo logrando obtener un porcentaje de rendimiento de 17,5 % de almid6n de papa.

**Tercera.** El an6lisis de los resultados obtenidos permiti6 establecer, que la concentraci6n 6ptima del almid6n de papa es 133,0 mg/l (0,2 g de almid6n), logr6ndose remover el par6metro turbidez de 6,3 NTU al ingreso de agua cruda a la planta de tratamiento Samegua.

**Cuarta.** El an6lisis de los resultados obtenidos permiti6 establecer, que la concentraci6n de policloruro de aluminio m6s adecuada es 2 072 mg/l (13,0 ml de

policloruro de aluminio), lográndose remover el parámetro turbidez de 9,1 NTU al ingreso de agua cruda a la planta de tratamiento Samegua.

**Quinta.** Los resultados de las mezclas óptimas es del tratamiento 5 con 133,0 mg/l de almidón de papa (0,2 g) como agente coadyuvante mezclado con 1 597,0 mg/l de policloruro de aluminio (10,0 ml), se logró la turbidez de 7,9 NTU.

## **5.2. Recomendaciones**

**Primera.** Se propone la continuación de la investigación utilizando la diversidad biológica en variedades de papa.

**Segunda.** Realizar estudios de coagulantes naturales con diferentes valores de turbidez para probar el rendimiento del mismo.

**Tercera.** Utilizar la diversidad biológica de la variedad de papa para remover la turbidez por ser una práctica ambientalmente adecuada y así mismo nos permite reducir el uso de productos químicos.

**Cuarta.** Realizar estudios de factibilidad económica del uso del almidón de papa variedad Única como clarificante en el tratamiento de aguas crudas por ser el uso de coagulantes de origen natural una nueva alternativa debido a que se aprecia de que podría ser económicamente más factible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, L.N. (2011). *Uso de las cáscaras de papa como coagulante natural en el tratamiento de aguas potables de la planta La Diana*. Colombia. Recuperado el 15 de agosto del 2016 de <http://oaji.net/articles/2017/5082-1501178767.pdf>
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación*. Lima, Perú SEDAPAL. Recuperado el 26 de octubre de [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2011). *Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de Agua*. Recuperado el 13 de setiembre del 2016 de <http://www.ana.gob.pe/media/361356/3%20protocolo%20nacional%20de%20monitoreo%20af.pdf>
- Bratby, J. (2006). *Coagulation and flocculation in water and waste wáter treatment*. California. Recuperado el 14 de setiembre del 2016 de <https://www.iwapublishing.com/books/9781843391067/coagulation-and-flocculation-water-and-wastewater-treatment-second-edition>
- Brumovsky, L. (2014). *Química del almidón, facultad de ciencias exactas químicas y naturales Universidad nacional de Misiones*. México. Recuperado el 14 de setiembre del 2016 de <http://www.aulavirtual-exactas.dyndns.org>
- Cartwright, M.A. (2009). *Caracterización fisicoquímica de los almidones nativos y modificados de Yuca (Manihot esculentaCrantz), camote (Ipomeae batata Lam) y plátano valery (Musa cavendish)*. Veracruzana. Veracruz, México.

Recuperado el 16 de septiembre del 2016 de  
<http://revistas.unimilitar.edu.mx/13848646.pdf>

Sanghi, T. & Colbert, J. (2002). *Eficiencia del cactus lefaria para su uso como coagulante en la clarificación de aguas potables en la ciudad de Yucatán. México*. Recuperado el 19 de septiembre del 2016 de  
[http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=25407702003000100005](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=25407702003000100005)

Dempsey, B. (2006). *Coagulant characteristics and reactions*. En: Newcombe, G.; Dixon, D. (Eds.) *Interface Science in Drinking Water Treatment: Theory and Applications*. Arthur Hubbard (Series Editor), *Interface Science and Technology*. The Netherlands. Recuperado el 15 de octubre del 2016 de  
<http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci>

Dirección Regional de Salud (DIRESA). (2015). *Enfermedades diarreicas*. Perú. Recuperado el 07 de agosto del 2016 de <http://saludmoquegua.gob.pe/>

Dorea, C. (2006). *Use of Moringa spp. seeds for coagulation a review of a sustainable option*. Maryland. Recuperado el 23 de noviembre del 2016 de  
<http://www.iwaponline.com/ws006010219.htm>.

El Congreso de la República. (1997). Ley N° 26842. *Ley general de la salud*. Constitución política del Perú 1993. 01 de septiembre de 1997. Recuperado el 15 de abril del 2017 de <http://diremid.diresamdd.gob.pe//leyes/item/1-ley-n-26842-ley-general-de-salud>

- Gómez, N. (2005). *Optimización de alum coagulation / flocculation para la DQO*. Colombia. Recuperado el 04 de octubre del 2016 de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1214/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2007). *Perú encuesta demográfica y de Salud familiar ENDES. Informe principal*. Lima. Recuperado el 26 de abril del 2016 de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007>
- Kawamura, M. (1991). *Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación. Serie Documentos Técnicos*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima, Perú. Recuperado el 23 de enero del 2017 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd26/004200.pdf>
- Kiely, G. (1999). *Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. España. Recuperado el 01 de enero del 2016 de <http://www.casadellibro.com/libro-ingenieria-ambiental-fundamentos-.pdf>
- Mantilla, P. (2013). *Extracción y modificación de almidón de plátano cuatro filos (musa abb del subgrupo silver bluggoe) para posible uso en el tratamiento de potabilización de aguas*. Colombia. Recuperado el 15 de enero del 2016 de <http://190.242.62.234:8080.jspui/handle/11227/294>
- Martínez, H. (2003). *Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de aguas industriales*. Colombia. Recuperado el 13 de enero del 2017 de <http://scielo/tabulados2003/>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2008). D. S. N°002-2008-MINAM. *Aprueban estándares nacionales de calidad ambiental para agua*. Publicada en el diario el Peruano 377222 el 31 de julio del 2008. Recuperado el 08 de mayo

del 2017 de <http://larepublica.pe/23-03-2010/reglamento-de-calidad-de-agua-para-el-consumo-humano>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). D.S.N° 015-2015-MINAM. *Modifica los ECAs para agua.y establecen disposiciones complementarias para su aplicación*. Publicada en el diario el Peruano 569076, 19 de diciembre de 2015. Recuperado el 29 de diciembre del 2016 de <http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ds-ndeg-015-2015-minam.pdf>

Ministerio de Salud (MINSA). (2010). D. S. N°031-2010-SA. *Límites Máximos Permisibles de parámetros de calidad organoléptica del reglamento de calidad de agua para consumo humano*. Publicado en el diario el Peruano 569082, 24 de septiembre del 2010. Recuperado el 11 de abril del 2016 de [http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/reglamento\\_calidad\\_agua.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/reglamento_calidad_agua.pdf)

Miller, S.; Fugate, E.; Craver, V.; Smith, J.; Zimmerman, J. (2008). *Toward understanding the efficacy and mechanism of Opuntia spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment*. California. Recuperado el 15 de noviembre del 2016 de <https://pubmed.gov/18605544>

Moscozo, A. (2015). *Almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización*. Guatemala. Recuperado el 22 de abril del 2017 de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0462\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0462_MT.pdf)

- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2008). *Guías para calidad de agua potable*. Recuperado el 22 de abril del 2017 de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3rev/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/)
- Pérez, M. (1992). *La eliminación de un colorante aniónico (Acid Blue 92) por coagulación-floculación usando almidón de papa*. Colombia. Recuperado el 31 de octubre del 2016 de <http://www.scielo.org.co/scielo.php?scrp>
- Sánchez,J.; Beltrán, H.; Solera,H,. (2011). *Surface water and wastewater treatment using a new tannin-based coagulant*. Colombia. Recuperado el 26 de octubre del 2016 de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20580152>
- Stern, J. (2003). *Formulación para la obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca, variedad MBRA 383*. Colombia. Recuperado el 03 de enero del 2016 de <http://www.redalyc.org/pdf/1053/16854007.pdf>
- United Nations International Children's Emergency Fund (UNICEF). 2014. *Objetivos del desarrollo del milenio*. USA. Recuperado el 14 de abril del 2017 de [http://unicef.org/spanish/people\\_audrey\\_hepburn.htm](http://unicef.org/spanish/people_audrey_hepburn.htm)
- Yin, C.Y. (2010). *Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment*. USA. Recuperado el 09 de septiembre del 2016 de [https://scholar.google.com.pe/scholar?q=Emerging+usage+of+plantbased+coagulants+for+water+and+wastewater+treatment.&hl=es&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholart&sa=X&ved=0ahUKEwi3tP\\_doI\\_WAhUP\\_mMKHVEdB0sQgQMILTAA](https://scholar.google.com.pe/scholar?q=Emerging+usage+of+plantbased+coagulants+for+water+and+wastewater+treatment.&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart&sa=X&ved=0ahUKEwi3tP_doI_WAhUP_mMKHVEdB0sQgQMILTAA)