

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Evaluación de la eficacia del almidón de tres variedades de papa
(*Solanum tuberosum*) como auxiliar del sulfato de aluminio en
el tratamiento de agua para consumo humano en
condiciones altoandinas, 2018

Por:

Ruth Mery Ttito Surco

Asesor:

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, diciembre de 2018

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL ALMIDÓN DE TRES VARIETADES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) COMO AUXILIAR DEL SULFATO DE ALUMINIO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN CONDICIONES ALTOANDINAS, 2018" constituye la memoria que presenta la bachiller Ruth Mery Tito Surco para aspirar al título Profesional de Ingeniero Ambiental ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca a los veinte días del mes de diciembre del año dos mil dieciocho.



Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Evaluación de la eficacia del almidón de tres variedades de papa
(*Solanum tuberosum*) como auxiliar del sulfato de aluminio en
el tratamiento de agua para consumo humano en
condiciones altoandinas, 2018

TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

JURADO CALIFICADOR

MSc. Rose Adeline Callata Chura
Presidenta

MSc. Jael Calla Calla
Secretario

Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani
Vocal

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera
Asesor

Juliaca, 20 de diciembre de 2018

Dedicatoria

A Luis, mi padre, por su apoyo incondicional para hacer de mí un profesional

A Dora, mi madre, por su inspiración, amabilidad, palabras de aliento y por su amor incondicional.

A mis hermanos, por su constante motivación y apoyo.

Agradecimientos

A Dios, por su compañía incondicional, por ayudarme a cumplir cada uno de mis sueños y metas.

Al Programa Nacional de Beca y Crédito Educativo PRONABEC, por brindarme la oportunidad de estudiar en una casa superior de estudios.

A la Universidad Peruana Unión, por permitirme formarme como un profesional en sus aulas.

Al Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, mi asesor, por haber sido un gran mentor y guía para la ejecución de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

Resumen	xiii
Abstract.....	xiv
CAPÍTULO I.....	15
EL PROBLEMA	15
1.1. Identificación del problema.....	15
1.2. Justificación.....	16
1.3. Presuposición filosófica	17
1.4. Objetivos	18
1.4.1. Objetivo general	18
1.4.2. Objetivos específicos	18
CAPÍTULO II.....	19
REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	19
2.1. Antecedentes	19
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	19
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	21
2.2. Revisión de literatura	23
2.2.1. El agua	23
2.2.2. Procesos dentro del tratamiento de agua	24
2.3. Marco legal.....	31
2.3.1. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano	31
CAPÍTULO III	33
MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1. Tipo de investigación	33
3.2. Diseño de la investigación	33
3.3. Materiales y equipos	34
3.4. Procedimientos.....	35
3.4.1. Preparación de la mezcla artificial de agua.....	35
3.4.2. Obtención del almidón de papa	35
3.4.3. Preparación de la solución $Al_2(SO_4)_3$ y almidón de papa	37
3.4.4. Determinación de la dosis, concentración y pH óptimos para el $Al_2(SO_4)_3$	38
3.4.5. Ensayo de dosis óptima: sulfato de aluminio – almidón de papa	38
3.4.6. Análisis de parámetros.....	39

3.5. Análisis de datos	41
CAPÍTULO IV	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
3.1. Obtención del almidón de papa.....	42
3.2. Resultados del ensayo de dosis, concentración y pH óptimos	43
3.2.1. Dosis óptima	43
3.2.2. Concentración óptima.....	44
3.2.3. pH óptimo.....	46
3.3. Dosis óptima: sulfato de aluminio - almidón de papa variedad Imilla Negra	47
3.4. Dosis óptima: sulfato de aluminio - almidón de papa variedad Ccompis.....	50
3.1. Dosis óptima: $Al_2(SO_4)_3$ y almidón de papa variedad Sani Imilla	52
3.2. Diseño de dosis óptima del CEPIS	54
3.3. Análisis estadístico.....	55
3.3.1. Análisis de normalidad para turbiedad y pH	55
3.3.2. Análisis estadístico para turbiedad.....	57
3.3.3. Análisis estadístico para pH.....	60
CAPÍTULO V	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
5.1. Conclusiones	63
5.2. Recomendaciones.....	64
REFERENCIAS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variedades de papa en el altiplano peruano	30
Tabla 2. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica	32
Tabla 3. Diseño para los ensayos de laboratorio	33
Tabla 4. Materiales y equipos para la obtención del almidón	34
Tabla 5 Materiales, equipos y reactivos para la preparación de soluciones	34
Tabla 6 Materiales, equipos para la prueba de jarras y análisis de parámetros	35
Tabla 7. Diseño para hallar la dosis óptima del almidón de papa	39
Tabla 8. Diseño para hallar dosis óptima de $Al_2(SO_4)_3$ y almidón de papa.....	39
Tabla 9. Métodos de análisis para parámetros.....	40
Tabla 10. Cantidad y porcentajes del almidón obtenido	42
Tabla 11. Resultados de ensayo de dosis óptima.....	43
Tabla 12. Resultados de ensayo de concentración óptima	45
Tabla 13. Resultados de ensayo de pH óptimo.....	46
Tabla14. Dosis óptima para el almidón de papa variedad Imilla Negra.....	48
Tabla 15. Dosis óptima de $Al_2(SO_4)_3$ y almidón de papa variedad Imilla Negra	49
Tabla 16. Promedio de remoción de turbiedad almidón de papa variedad Imilla Negra	50
Tabla 17. Dosis óptima del almidón de papa variedad Ccompis.....	50
Tabla 18. Dosis óptima de $Al_2(SO_4)_3$ y almidón de papa variedad Ccompis.....	51
Tabla 19. Promedio de remoción de turbiedad almidón de papa variedad Ccompis	52
Tabla 20. Dosis óptima del almidón de papa variedad Sani Imilla	52
Tabla 21. Dosis óptima de $Al_2(SO_4)_3$ y almidón de papa variedad sani imilla.....	53
Tabla 22. Promedio de remoción de turbiedad almidón de papa variedad Sani Imilla.....	54
Tabla 23. Prueba de normalidad para turbiedad y pH	56
Tabla 24. Análisis de varianza por tratamientos para turbiedad.....	57
Tabla 25. Análisis de varianza por factor para turbiedad	57
Tabla 26. Prueba de Duncan para remoción de turbiedad por variedad de papa	58
Tabla 27. Medias para grupos homogéneos	58
Tabla 28. Prueba Duncan para dosis	59
Tabla 29. Medias para grupos homogéneos para turbiedad	59
Tabla 30. Análisis de varianza por tratamientos para pH.....	60
Tabla 31. Análisis efecto para pH	60

Tabla 32. Medias para grupos homogéneos pH	61
Tabla 33. Prueba Duncan efecto de variedad de papa sobre el pH	61
Tabla 34. Medias para grupos homogéneos-efectos dosis sobre pH.....	62
Tabla 35. Efecto de dosis aplicada sobre pH.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo esquemático del proceso de coagulación	25
Figura 2. Diagrama de remoción de turbiedad	27
Figura 3. Obtención del almidón de papa.....	37
Figura 4. Variedades de papa evaluadas.....	42
Figura 5. Dosis de sulfato de aluminio versus turbiedad final	44
Figura 6. Concentración de sulfato de aluminio versus turbiedad final	45
Figura 7. pH vs turbiedad final.....	47
Figura 8. Dosis versus porcentaje de remoción de turbiedad por variedad de papa	55

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Panel fotográfico.....	70
ANEXO B. Método para prueba de jarras CEPIS.....	76
ANEXO C. Método para análisis de turbiedad	88
ANEXO D. Método para análisis de pH	90
ANEXO E. Informes de laboratorio	91

Símbolos usados

CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales
g	Gramo
INIA	Instituto Nacional de Innovación Agraria
LMP	Límite Máximo Permisible
mg/L	Miligramo por litro, unidad de concentración (masa/volumen)
N	Normalidad
pH	Potencial de hidrógeno
rpm	Revoluciones por minuto
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbiedad

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar la eficacia del almidón de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*), como auxiliar del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua, para consumo humano en condiciones altoandinas. Se aplicó la metodología del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, para hallar la dosis óptima entre la mezcla del coagulante químico ($Al_2(SO_4)_3$) y el ayudante de coagulación (almidones de papa). Las variedades utilizadas para la obtención de los almidones fueron: Imilla Negra, Ccompis y Sani Imilla, aplicando el método de trituración y centrifugación. Para las pruebas de laboratorio se simuló una mezcla de agua con arcilla, con variables constantes de turbiedad (40UNT) y temperatura (15°C). Para conocer el efecto de las variedades y tratamientos sobre los parámetros de pH y turbiedad se aplicó el diseño estadístico experimental completamente al azar, con arreglo factorial 3A8B (Factor A: almidón de papa; Factor B: dosis de sulfato de aluminio). Los resultados indicaron que la variedad Imilla Negra en el tratamiento 3, reporta el mejor promedio de remoción de turbiedad (Prueba Duncan, $p < 0.05$), a una mezcla óptima de 27.5 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ y 15 mg/L de almidón solubilizado, obteniendo una turbiedad final de 1.71 UNT y un pH de 7.08, los que se encuentran dentro del LMP del D.S. 031-2010-SA. Se concluye que el almidón de papa de la variedad en mención presenta mejores propiedades como ayudante del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano.

Palabras clave: Almidón de papa, coagulación - floculación, dosis óptima, sulfato de aluminio y turbiedad.

Abstract

The objective of the research was to evaluate the effectiveness of the starch of three varieties of potato (*Solanum tuberosum*), as an auxiliary to aluminum sulphate in the treatment of water, for human consumption in high Andean conditions. The methodology of the Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences was applied to find the optimum dose between the mixture of the chemical coagulant ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) and the coagulation assistant (potato starches). The varieties used to obtain the starches were: Imilla Negra, Ccompis and Sani Imilla, applying the method of grind and centrifugation. For the laboratory tests, a mixture of water and clay was simulated, with constant variables of turbidity (40 UNT) and temperature (15 °C). To know the effect of the varieties and treatments on the parameters of pH and turbidity, the experimental statistical design was applied completely at random, with factorial arrangement 3A8B (Factor A: potato starch, Factor B: aluminum sulfate dose). The results indicated that the Imilla Negra variety in treatment 3, reports the best average turbidity removal (Duncan Test, $p < 0.05$), to an optimal mixture of 27.5 mg/L of $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ and 15 mg/L of solubilized starch, obtaining a final turbidity of 1.71 UNT and a pH of 7.08, which are within the LMP of the DS 031-2010-SA. It is concluded that the potato starch of the variety in question has better properties as an assistant of aluminum sulphate in the treatment of water for human consumption.

Keywords: Aluminum sulphate, coagulation – flocculation, optimum dose, potato starch, and turbidity.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

El agua es un recurso fundamental e indispensable, para satisfacer las necesidades básicas de las personas; sin embargo, requiere un tratamiento previo antes de ser consumida. Dentro del tratamiento de agua intervienen una serie de procesos, como: la coagulación y floculación, cuyo fin principal es remover aquellas partículas que se encuentran suspendidas en el agua y que son causantes de la turbiedad. Convencionalmente para estos procesos se suelen usar sustancias químicas: sulfato de aluminio, cloruro férrico, sulfato ferroso y férrico (CEPIS, 2004).

Sin embargo, estas sustancias suelen ser muy costosas, generar gran cantidad de lodos, los cuales a su vez son muy difíciles de tratar y alteran el pH del agua tratada (Yin, 2010). Aún más importante es el riesgo asociado de su empleo con la capacidad de producir la enfermedad: Alzheimer (Trejo & Hernández, 2004). En una investigación desarrollada en Inglaterra, se encontró que los aumentos de aluminio en el agua potable se producen durante su purificación y no durante su transporte (González, Hernández, & Kaehler, 1991). Ante esta situación, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011) recomienda reducir la concentración de aluminio en 0.1 y 0.2 mg/L en plantas de tratamiento con instalaciones grandes y pequeñas respectivamente.

Teniendo en cuenta los párrafos anteriores es conveniente evaluar sustancias naturales que puedan reducir el uso del sulfato de aluminio, además estos resultarían más económicos

y seguros, tanto para la salud pública y el medio ambiente. En las investigaciones realizadas por Chalco (2016), Chama (2017) y Molano (2015), se ha comprobado la eficacia del almidón de papa como auxiliar del sulfato de aluminio, obteniendo buenos resultados sobre todo para la remoción de turbiedad.

Por otra parte, en el presente año la sobreproducción de papa en el Perú se ha incrementado causando un decaimiento en la economía del sector agrícola (El comercio, 2018). Razón por el cual sería viable estudiar las propiedades de este tubérculo como ayudante en el proceso de floculación. Además, en las zonas rurales muchas veces no se cuenta con los recursos, para acceder a las sustancias necesarias para tratar el agua, convirtiéndose así en un limitante para acceder a un agua de calidad.

Considerando lo mencionado anteriormente en la presente investigación se pretende evaluar la eficacia del almidón de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) como auxiliar del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua, para consumo humano en condiciones altoandinas.

1.2. Justificación

Al comprobarse la eficacia del almidón de papa como ayudante del sulfato de aluminio, se podría reducir el costo y uso de los coagulantes químicos; así mismo, la posibilidad de reducir los riesgos de la salud asociados al aluminio residual en el agua potable. Además, se propone una posible solución a la sobreproducción de papa en el Perú, lo cual sería de gran beneficio sobre todo para los agricultores. La investigación aportaría también al conocimiento local, regional, nacional y mundial, sobre el uso del almidón de papa como ayudante del sulfato de aluminio en condiciones altoandinas, ya que en estas zonas las temperaturas son bajas causando un problema de solubilidad para este insumo.

1.3. Presuposición filosófica

Dios nos brindó un agua limpia y cristalina, libre de impurezas para poder beber de ella sin inconvenientes, con el fin de sobrevivir y satisfacer nuestras necesidades básicas “Y Dios dijo: Júntense las aguas que están debajo del cielo en un lugar, y aparezca el suelo seco” (Génesis 1:9). Sin embargo, las actividades realizadas por el hombre han alterado las características de este importante recurso “La transgresión marchito la naturaleza y se interpuso entre ella y el Dios de la naturaleza” (White, 2013)

Las aguas dulces nos fueron dadas para beber, hoy se han vuelto en el punto de descarga de aguas de origen doméstico, industrial y agrícola, degradando así su fin de utilidad. Ezequiel indica claramente como el hombre destruye sin conciencia alguna “¿Os es poco que comáis los buenos pastos, sino que también holláis con vuestros pies lo que de vuestros pastos queda; ¿y que, bebiendo las aguas claras, enturbiáis además con vuestros pies las que quedan?” (Ezequiel 34:18).

Es evidente que se ha corrompido la perfecta creación de Dios, surgiendo una crisis ecológica que ha puesto en peligro la salud y estilo de vida de las personas. Por eso el hombre ha buscado la manera de restaurar la creación de Dios mediante nuevas tecnologías y métodos. Dzul (2013) indica que los seres humanos fueron creados para cuidar el mundo que Dios nos ha brindado, explorando sus riquezas, administrándolas y desarrollándolas para beneficio de otros.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la eficacia del almidón de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*), como auxiliar del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua, para consumo humano en condiciones altoandinas.

1.4.2. Objetivos específicos

- Obtener el almidón de papa mediante prueba experimental basada en la metodología de Melian (2010) con modificaciones basadas en Chalco (2016).
- Obtener soluciones de almidón de papa, utilizando una base fuerte, basada en la metodología de Roncal & Siu (1990).
- Determinar la dosis óptima del almidón de cada variedad de papa como auxiliar del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua potable mediante prueba de jarras, siguiendo los lineamientos del CEPIS (2004).

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Un estudio relacionado con el tema de investigación fue realizado por Arantes, Ribeiro, Paterniani, Tateoka, & Silva (2014) cuyo objetivo fue “evaluar la eficacia de dos coagulantes extraídos de semillas de *Moringa oleifera* a base de tanino como auxiliares de filtración lenta con uso de geotextil sintético no tejido” (p.2). Aplicando para esto ensayos de coagulación, floculación y sedimentación, sobre un agua acondicionada con bentonita, con valores iniciales de turbidez de 101 y 110 UNT. Se preparó soluciones al 2% y 1% con la *Moringa oleifera* y tanino respectivamente. El proceso de tratamiento consistió en realizar una prueba de jarras que tenía anexada un filtro de geotextil sintético no tejido. Se logró reducir la turbiedad a 5 UNT en todos los ensayos, comprobando así la eficiencia de *Moringa oleifera* como coagulante.

En este orden de ideas se puede citar a Rodríguez, Lugo, Rojas, & Malaver (2007), quienes realizaron un estudio de tipo experimental, con el objetivo de “evaluar el proceso de coagulación de un agua superficial que sirve como fuente de abastecimiento para una planta potabilizadora convencional, mediante la aplicación y valoración del sulfato de aluminio tipo B, polielectrolito, almidón de yuca y almidón de maíz como coagulantes alternativos”. Mediante ensayos de prueba de jarras se analizó la efectividad de estos insumos en los parámetros de turbiedad (175 ± 5), color (70 ± 5) y pH (5.4 ± 0.5), los mejores resultados

fueron para el almidón de maíz con valores de: 1.0 UNT, 25 UPC y pH 5.38 de remoción respectivamente. Concluyendo así que el almidón de maíz es una opción adaptable y flexible para tratar el agua.

Laines, Goñi, Adams, & Camacho (2008) determinaron “el potencial de coagulación-floculación de mezclas con proporciones variables de almidón de plátano, sulfato de aluminio y arcillas”, para tratar lixiviados del relleno sanitario de la Región Sierra. Mediante un diseño completamente al azar se hizo un análisis de varianza. Se usó el sulfato de aluminio (SA) y cloruro férrico, preparado en cuatro mezclas con almidón de plátano. Mediante prueba de jarras se evaluó la efectividad de las mezclas, se logró reducir la turbiedad de 126 UNT a un valor menor a 5 UNT con la mezcla SA y almidón de plátano (50:50), estableciendo así la factibilidad al aplicar mezclas de insumos con potencial coagulante en el tratamiento de aguas residuales.

La cáscara de papa y su potencial como coagulante-floculante ha sido investigado en Colombia por Alvarado (2011). Dicho trabajo se realizó con el objetivo de “aprovechar las cáscaras de papa para determinar si sirven como agente coagulante en el tratamiento de agua potable de la planta La Diana (Villa de Leyva)” (p.3). Este estudio corresponde a un diseño experimental, se usó una prueba de jarras para simular los procesos de coagulación y floculación. Se estudiaron distintas proporciones de cáscara de papa y $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: 25 % (tratamiento 1), 50% (tratamiento 2) y 100% cáscara de papa (tratamiento 3). Los valores de pH finales presentaron un descenso debido a las reacciones del Aluminio, excepto para el tratamiento 3 la cual se mantuvo dentro del rango de neutralidad (7.46), la remoción de turbiedad fue menor a 2 UNT para los tres tratamientos, sin embargo, la mejor formación de flóculos y reducción de color (<10 UPC) fueron para el tratamiento 3, comprobando así la eficacia de este insumo natural.

Una investigación semejante fue desarrollada por Carrasquero et al., (2017), el cual tuvo el objetivo: “Evaluar la eficiencia de remoción de turbiedad y color utilizando coagulantes naturales obtenidos de cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) y residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) durante el tratamiento de aguas sintéticas de baja, media y alta turbiedad” (p.91). Se aplicó un diseño completamente al azar con dos tratamientos. Se llevó a cabo la prueba de jarras con dosis de 10, 25, 50, 100, 250 y 500 mg/L y turbiedades de 10, 15, 25, 75, 100 y 200 UNT. El porcentaje de remoción para la cáscara de papa y plátano fue de 99.6% y 99.5% respectivamente, al aplicar una dosis de 500 mg/L en un agua de 200 UNT. Concluyendo que ambos residuos pueden ser usados como coagulantes primarios.

En la investigación realizada por Herrera (2015) se persiguió “demostrar que con el uso y modificación del almidón nativo de la especie de papa (*Solanum tuberosum*) proveniente del Departamento de Boyacá, se cuenta con la capacidad para la remoción de turbiedad de aguas contaminadas y una posible alternativa y sustituto de los polímeros sintéticos debido a su alto costo”. El agua residual a tratar presento un valor de turbiedad inicial de 355 UNT. Para hallar la dosis óptima se usó la prueba de jarras. Los valores de turbiedad redujeron a 20 UNT y 20.4 UNT al usar sulfato y almidón de papa respectivamente, lo que comprobaría la eficiencia del almidón nativo. Así mismo, el uso de polímeros incrementa la velocidad de sedimentación, generando menor producción de lodos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Chalco (2016) desarrollo una investigación con el objetivo de “determinar la eficacia del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) como auxiliar de coagulación del sulfato de aluminio en la remoción de turbiedad del agua del río Caplina” (p.12). Dicha investigación es de tipo experimental. La variedad de papa estudiada fue Canchán. Se preparó muestras de agua con turbiedad de 70 UNT, 500 UNT y 700 UNT, a estas se les aplicó distintas dosis de sulfato

de aluminio y almidón de papa. Los resultados demostraron que el almidón de papa es un auxiliar eficiente, pues se obtuvieron valores de remoción de 700 UNT a 5.82 UNT.

Por otra parte, Chama (2017) realizó una investigación con el objetivo de “evaluar el poder coagulante del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) variedad única y el policloruro de aluminio para la remoción de la turbiedad al ingreso de las aguas a la planta de tratamiento Samegua, Moquegua 2016” (p. 3). Se aplicó un diseño factorial 3 x 3 con un arreglo factorial A y B. Para las pruebas de laboratorio se usó un equipo de prueba de jarras, los valores de turbiedad inicial, temperatura y pH fueron de 16.1 UNT, 26°C y 7.4 respectivamente. Se logró reducir la turbiedad a 6.3 UNT con almidón de papa y 9.1 UNT con policloruro de aluminio. Al unir ambas sustancias se obtuvo una remoción de 7.8 UNT, concluyendo que la variedad de papa única reporta mejores resultados en la remoción de turbiedad.

Alatriza, Quiroz, & Butrón (2015) desarrollaron una investigación con el objetivo de “evaluar el tratamiento de efluentes textiles por coagulación-floculación utilizando almidón de *Triticum aestivum L.* como ayudante de proceso”. Este estudio corresponde a un diseño experimental factorial aleatorizado. Se tomaron muestras del punto de salida del efluente midiendo insitu pH y temperatura. Para conocer la dosis óptima se usó una prueba de jarras usando sulfato de $Al_2(SO_4)_3$, perfloc y almidón de trigo hidrolizado con hidróxido de sodio (NaOH). La dosis de perfloc y aluminio redujo en un 82% y 89% el color para efluentes de alta y baja carga respectivamente. Sin embargo, al aplicar el almidón de trigo y perfloc se observó una reducción de 90.6 % para el mismo parámetro. Concluyendo que el uso de *Triticum aestivum L.* mostro mejor capacidad como ayudante del proceso para tratar efluentes textiles, dejando un agua de mejor calidad.

Las propiedades de la goma de tara fue estudiado por Aguilar (2010), con el objetivo de “determinar la eficiencia de la goma de tara como ayudante de coagulación en el tratamiento

de aguas” (p. 3). Para lo cual se preparó un agua sintética con turbiedad de 390 UNT (Tipo I) y 25 UNT (Tipo 2), con el equipo de prueba de jarras se realizaron ensayos, usando primeramente sulfato de aluminio y posteriormente añadiendo goma de tara para mejorar el rendimiento. Utilizando goma de tara se redujo en un 17% y 10 % el sulfato de aluminio para el agua de Tipo I y Tipo II respectivamente.

2.2. Revisión de literatura

2.2.1. El agua

El agua es el recurso más abundante e indispensable para la humanidad y el desarrollo industrial. Su calidad y cantidad depende en gran medida del clima, geografía y sobre todo las actividades humanas. Actividades que provocarían un gran deterioro ambiental debido a la descarga de efluentes, siendo necesario aplicar tratamientos avanzados para descontaminarla (Barba, 2002; CEPIS, 2004) Esta situación hace necesario realizar monitoreo y análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de un cuerpo de agua, antes de ser usada como un punto de captación.

2.2.1.1. Características físicas

La turbiedad, sólidos totales, temperatura, color, olor y sabor del agua puede ser percibidas por los cinco sentidos, razón por la cual se les denomina como características físicas y son las que influyen en la estética y aceptabilidad del agua por parte de la población (Sierra, 2011).

A. Turbiedad.

Es la capacidad que tiene el material suspendido de dificultar el paso de la luz, se expresa en Unidades Nefelometría de Turbiedad (UNT). Las principales causas de turbiedad pueden ser:

- Erosión natural de las cuencas o el desprendimiento de arcillas, arenas, etc.

- La contaminación generada por el vertimiento de residuos domésticos e industriales.

B. Sólidos totales

Son aquellos residuos que quedan después de evaporar una muestra de agua a 105°C, es decir, todo aquel material presente en la muestra que no es agua.

C. Color

Este parámetro está relacionado con la turbiedad del agua, pero a diferencia de esta es causada por sustancias disueltas y por coloides o la descomposición natural de material vegetal (humus) o la emulsión de sustancias minerales como hierro y magnesio.

D. Olor y sabor

Su presencia está relacionada con el plancton, algas o compuestos orgánicos, incluso la descomposición de estos.

E. Temperatura

Este parámetro afecta la viscosidad del agua, la velocidad de las reacciones química y con esto la coagulación y sedimentación.

2.2.2. Procesos dentro del tratamiento de agua

Antiguamente el agua era tratada por calor (hirviéndola), exponiéndola al sol, mediante sedimentación o filtración con arena para purificarla. Hoy en día se cuentan con plantas de tratamiento, donde se potabiliza el agua para consumo humano, la cual conlleva una serie de procesos. Disminuyendo con esto la proliferación de enfermedades: la fiebre tifoidea, el cólera y la hepatitis (Arellano, 2002).

2.2.2.1. Coagulación

La coagulación tiene por objetivo desestabilizar las partículas coloidales en suspensión mediante la adición de $Al_2(SO_4)_3$ o $Fe_2(SO_4)_3$. Una vez añadidos estos reaccionan y forman

especies hidrolizadas con carga positiva, las cuales hacen contacto con las impurezas del agua (sustancias húmicas, partículas coloidales y microorganismos) que tienen una carga superficial negativa (CEPIS, 2004). Esta acción favorece la aglomeración y sedimentación, dejando así un agua clara con una reducción de materia orgánica y microorganismos (Andía, 2000).

A. Etapas del proceso de coagulación

La coagulación inicia una vez se ha añadido el coagulante al agua, lo que causa la desestabilización de las partículas en suspensión, formando productos hidrolizados cargados positivamente. Las cadenas poliméricas son adsorbidas por los coloides, luego se produce una adsorción mutua entre los coloides y finalmente se da la acción de barrido y sedimentación.

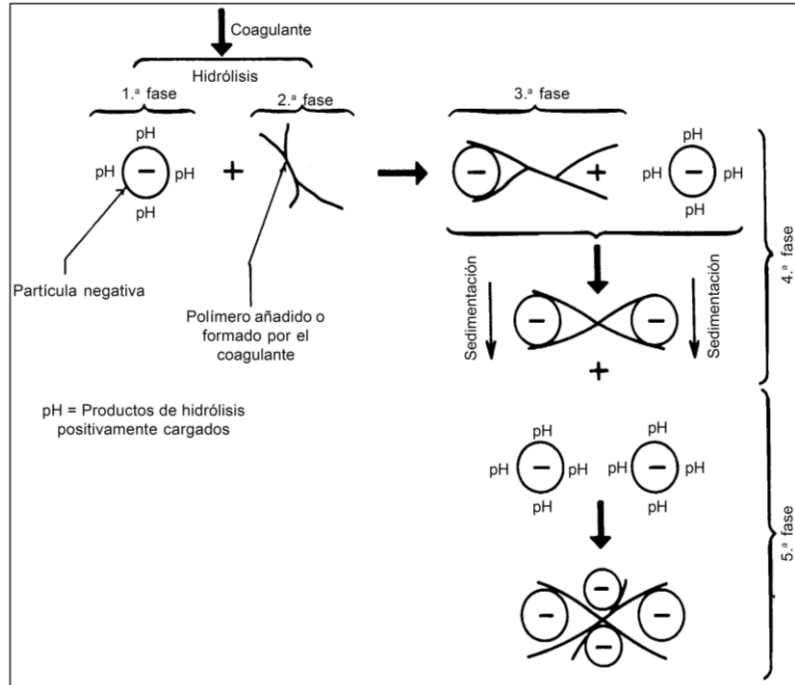


Figura 1. Modelo esquemático del proceso de coagulación
Fuente: CEPIS (2004)

B. Factores que influyen en la coagulación

Antes de llevar a cabo el proceso de coagulación se deben analizar los siguientes parámetros (Barrera, 2014).

B.1. Temperatura

Este parámetro se hace de suma consideración en zonas donde la temperatura llega a la congelación, pues la viscosidad del agua incrementa y siendo esta inversamente proporcional a la agitación pericinetica está disminuye no siendo posible la aglomeración de las partículas menores a un micrón.

B.2. Características del agua cruda

Las características fisicoquímicas (alcalinidad) del agua cruda intervienen en la coagulación y floculación. El pH, la temperatura y la concentración, tamaño u naturaleza de las partículas tienen una influencia en el proceso de floculación. La floculación se lleva de forma exitosa en agua con alta turbiedad y que presente una amplia gama de partículas.

B.3. pH.

El pH del agua determina el tipo de coagulante a usar, en caso que el pH del agua no sea el óptimo puede requerirse dosis más altas de coagulante.

B.4. Dosis óptima del coagulante

Dosis inadecuadas de coagulante no aseguran la neutralización total de la carga coloidal, no formándose microflóculos y, por consecuente, la disminución de turbiedad seria mínima. Por el contrario, añadir dosis elevadas de coagulante provoca una inversión en la carga coloidal, la cual conlleva a la formación de microflóculos, los cuales sedimentan en largos periodos de tiempo y los resultados de turbiedad suelen ser elevados.

B.5. Influencia de la mezcla

Una agitación homogénea en el agua ayuda a una dispersión uniforme del coagulante, garantizando así una reacción química de neutralización de cargas coloidales.

C. Zonas de coagulación

Al añadirse distintas dosis de coagulante de manera ascendente hace que surjan diferentes zonas de coagulación (Andía, 2000).

- Zona 1: La dosis de coagulante aplicada no desestabiliza las partículas en suspensión por lo que no se produce la coagulación.
- Zona 2: “Al incrementar la dosis de coagulantes, se produce una rápida aglutinación de los coloides”
- Zona 3: Al añadir dosis más altas, no se produce una buena coagulación, puesto que los coloides vuelve a estabilizarse.
- Zona 4: Al aumentar aún más la dosis, hasta producir una súper saturación se produce de nuevo una rápida precipitación de los coagulantes que hace un efecto de barrido, arrastrando en su descenso las partículas que conforman la turbiedad.

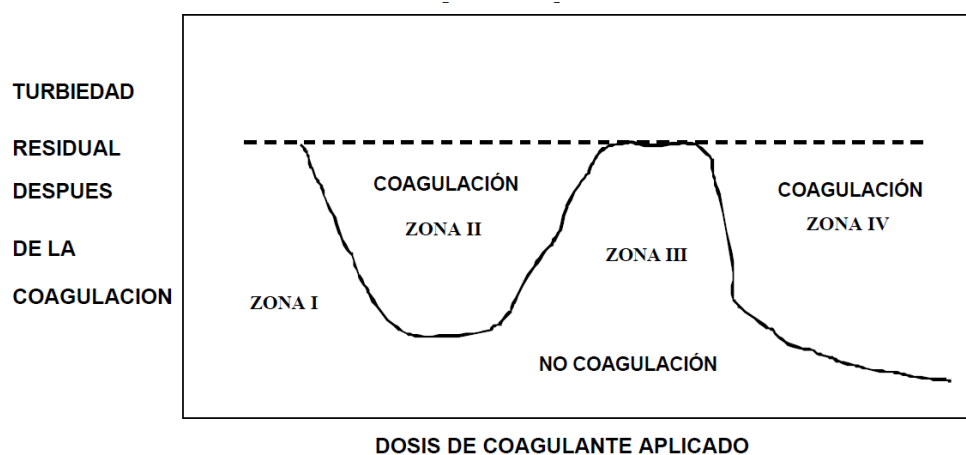


Figura 2. Diagrama de remoción de turbiedad
Fuente: Andía (2000)

D. Coagulantes convencionales

Los principales compuestos químicos con la capacidad de reaccionar químicamente con los componentes del agua y producir una desestabilización de partículas, formando un precipitado voluminoso, son los llamados coagulantes químicos. Las sustancias usadas como coagulantes reaccionan con la alcalinidad del agua formando precipitados (Andía, 2000). Los coagulantes más usados son:

- Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$
- Cloruro de aluminio $AlCl_3$
- Cloruro férrico $FeCl_3$
- Sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3$
- Sulfato ferroso $FeSO_4$

E. Ayudantes de coagulación

Algunos ayudantes de coagulación son sustancias químicas, éstas optimizan la formación de un flóculo más fuerte y sedimentable. Su uso reduce la dosis del coagulante requerido y disminuye la producción de lodos (J. Romero, 1996).

- Sílice activada: Su uso reduce la dosis de alumbre además de ampliar el rango de pH, y aumenta la probabilidad de coagulación, fortalece el flóculo formado haciéndolo más denso y grande con una capacidad de sedimentación rápida, mejorando el color del agua. Debe ser añadido después del alumbre o antes del coagulante, pero nunca directamente con el alumbre, pues reacciona con este compuesto.
- Polielectrólitos: Existen diferentes tipos de polielectrolitos capaces de ser usados como ayudantes en el proceso de coagulación. Se clasifican en catiónicos (iones de

carga positiva), aniónicos (iones de carga negativa) y los no iónicos (iones positivos y negativos).

- Polímeros: Pueden ser sintéticos o naturales, en el segundo caso son usados para reducir el uso de coagulante primario. Su toxicidad es nula, razón por la cual suelen ser usados como agregados alimenticios.

F. Polímeros como coagulantes-floculantes

Los polímeros se originan de las reacciones bioquímicas de las plantas, están formados por varios polisacáridos (almidón, celulosa, glucósidos, etc.) y proteínas (caseína, olieratina, gelatina, etc.). Muchos de estos tienen propiedades coagulantes o floculantes, siendo necesario realizar ensayos de laboratorios para comprobar su eficacia. Para su uso es necesario que se extraiga los polisacáridos o proteínas presente en ellos y su toxicidad es mínima o nula (CEPIS, 1975a).

Almidón de papa

El almidón es un polisacárido de glucosa, formado en los cloroplastos de las plantas verdes con la energía de la luz solar. El almidón de papa está compuesto por amilopectina en un 80% y amilasa en un 20%, siendo esta última más soluble en agua. Además de tener en su composición pequeñas cantidades de fósforo en forma del grupo éster del ácido fosfórico, su carga le imparte el carácter de polielectrolito, convirtiéndolo en un insumo capaz de ser usado como ayudante de floculación (CEPIS, 1975b).

La mayor desventaja que tiene el uso de almidones en plantas potabilizadoras, es su insolubilidad en agua fría razón, por la cual es necesario el estudio de procesos que logren solucionar este problema (CEPIS, 1975a).

En el altiplano peruano, la papa es un tubérculo cosechado en 19 de los 24 departamentos del Perú, convirtiéndose en uno de los cultivos más importantes. En la sierra se encuentran

variedades nativas y mejoradas. A continuación, se describen algunas variedades cultivadas en la región Puno.

Tabla 1

Variedades de papa en el altiplano peruano

Nombre (s) del cultivar	Especie	Color predominante	Adaptación	Foto
Sani imilla	<i>Solanum tuberosum ssp</i> indígena	Morado	De buena adaptación en las condiciones de la sierra sur y centro, desde 3,830 a 3,900 msnm	
Imilla Negra, Chiar Imilla o Yana Imilla	<i>Solanum tuberosum ssp</i> indígena	Morado	Sierra Sur, desde 3830 a 3900 msnm.	
Ccompis, Imilla rosada o Yurac sisa	<i>Solanum tuberosum ssp</i> indígena	Rosado	Sierra sur, desde 3,830 a 3,900 msnm	
Ocucuri morado, chequepito o ugrushiri morado	<i>Solanum curtilobum</i>	Morado azulado	Sierra altiplánica desde 3230 a más de 4000 msnm	
Ocucuri blanco, Janko Ocucuri, Yarac, Waña	<i>Solanum curtilobum</i>	Blanco crema	Zonas alto andinas de la Sierra sur desde 3,820 a 3,900 msnm	
Piñaza o Piñaza lucki	<i>Solanum juzepczukii</i>	Blanco-crema	Sierra altiplánica desde 3,230 a más de 4,000 msnm	
Lock'a	<i>Solanum juzepczukii</i>	Crema	Sierra sur desde 3,830 a 4,200 msnm	

Fuente: INIA (2009)

2.2.2.2. Floculación

Comprende la mezcla lenta que favorece la aglomeración de flóculos formados durante la coagulación, los cuales ganan peso logrando sedimentar. La velocidad de floculación debe ser la adecuada, para evitar que los flóculos formados se rompan (Andía, 2000).

A. Factores que influyen en la floculación

A.1. Naturaleza del agua cruda

La alcalinidad, el pH y la turbiedad del agua intervienen en la coagulación y floculación. Es así que un agua con alta turbiedad facilitara la formación de flóculos.

A.2. Influencia de la gradiente de velocidad

La aglomeración de partículas es más rápida si la gradiente de velocidad es mayor; sin embargo, se debe evitar altos gradientes pues romperían las partículas ya formadas.

A.3. Tiempo de floculación

El tiempo necesario para que las partículas desestabilizadas se unan y formen una partícula sedimentable es proporcional al tiempo. Si el proceso no es llevado a cabo en un tiempo óptimo los resultados no serán favorables, por lo cual es recomendable realizar pruebas de laboratorio.

2.3. Marco legal

2.3.1. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano

Mediante D.S. N° 031-2010-SA, se aprueba el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, con la finalidad de garantizar la inocuidad, prevenir los factores de riesgos sanitarios, así como proteger y promover la salud y bienestar de la población.

Tabla 2

Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Potencial de Hidrógeno (pH)	Valor de pH	6,5-8,5
Turbiedad	UNT	5

Fuente: Dirección General de Salud Ambiental (MINSA, 2011)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo experimental, se manipuló la variable independiente (eficacia del almidón de papa), mediante ensayos de laboratorio para recolectar datos y realizar un análisis estadístico.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño experimental usado para la presente investigación fue el de dosis óptima validado por el CEPIS, realizándose un total de 72 pruebas de laboratorio como se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3

Diseño para los ensayos de laboratorio

Variedad de papa	Tratamientos							
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8
Imilla Negra	IN-D1-R1	IN-D2-R1	IN-D3-R1	IN-D4-R1	IN-D5-R1	IN-D6-R1	IN-D7-R1	IN-D8-R1
	IN-D1-R2	IN-D2-R2	IN-D3-R2	IN-D4-R2	IN-D5-R2	IN-D6-R2	IN-D7-R2	IN-D8-R2
	IN-D1-R3	IN-D2-R3	IN-D3-R3	IN-D4-R3	IN-D5-R3	IN-D6-R3	IN-D7-R3	IN-D8-R3
Ccompis	CC-D1-R1	CC-D2-R1	CC-D3-R1	CC-D4-R1	CC-D5-R1	CC-D6-R1	CC-D7-R1	CC-D8-R1
	CC-D1-R2	CC-D2-R2	CC-D3-R2	CC-D4-R2	CC-D5-R2	CC-D6-R2	CC-D7-R2	CC-D8-R2
	CC-D1-R3	CC-D2-R3	CC-D3-R3	CC-D4-R3	CC-D5-R3	CC-D6-R3	CC-D7-R3	CC-D8-R3
Sani imilla	SI-D1-R1	SI-D2-R1	SI-D3-R1	SI-D4-R1	SI-D5-R1	SI-D6-R1	SI-D7-R1	SI-D8-R1
	SI-D1-R2	SI-D2-R2	SI-D3-R2	SI-D4-R2	SI-D5-R2	SI-D6-R2	SI-D7-R2	SI-D8-R2
	SI-D1-R3	SI-D2-R3	SI-D3-R3	SI-D4-R3	SI-D5-R3	SI-D6-R3	SI-D7-R3	SI-D8-R3

Fuente: Elaboración propia

3.3. Materiales y equipos

- a) Muestra artificial de agua: Arcilla preparada roja, 4 baldes de 20 L.
- b) La materia prima, material del proceso de extracción, materiales de laboratorio, equipos, escritorio y reactivos usados en cada etapa de ejecución de la investigación, se describe a continuación.

Tabla 4

Materiales y equipos para la obtención del almidón

Materia prima	Materiales del proceso	Materiales de laboratorio	Equipos
5 kg de cada variedad de papa: Imila Negra, Ccompis y Sani Imilla.	Agua destilada	1 Embudo Buhner	Bomba de Vacío Marca JISICO WOO
	Batea	3 Frascos de vidrio	Centrifuga
	Baldes de plástico Cuchillo	1 Matraz Kitasato Papel filtro	Licadora
	Muselina	Tamiz de 10, 60 y 200 micras	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5

Materiales, equipos y reactivos para la preparación de soluciones

Materiales de laboratorio	Equipos	Reactivos
Bagueta	Balanza Analítica Marca SARTORIUS	Sulfato de aluminio tipo B
Espátula		Hidróxido de sodio (NaOH)
4 Fiolas de 1000 ml		Ácido clorhídrico (HCl)
2 Fiolas de 100 ml		
Luna de reloj		

Tabla 6

Materiales, equipos para la prueba de jarras y análisis de parámetros

Materiales de laboratorio	Equipos	Materiales de escritorio
12 Jeringas de 10 ml	Bureta de 25 ml	Bolígrafos
4 Matraz de 50 ml	Floculador de Jarras Marca VELP modelo JLT6 Serie 353871	Cuaderno de apunte
Pipetas de 5 y 10 ml	Potenciómetro de mesa Marca MILWAUKEE modelo Mi 150	Cinta masking
1 Probeta de 1000 ml	Termostato Marca VENUSAQUA 60 Hz	
6 Vasos precipitados de 50 ml	Turbidímetro Marca VELP SCIENTIFICA modelo TB1	
6 Vasos precipitados de 1000 ml		
6 Sifones		

3.4. Procedimientos

3.4.1. Preparación de la mezcla artificial de agua

Para las pruebas de laboratorio se preparó una mezcla artificial de agua con arcilla hasta obtener 40 UNT, con temperatura constante de 15°C.

3.4.2. Obtención del almidón de papa

Para la obtención del almidón de papa se usó la metodología propuesta por Melian (2010) con modificaciones basadas en Chalco (2016) la cual se describe a continuación.

- **Adquisición:** Se adquirió 5 kg de cada variedad de papa (Sani imilla, Imilla negra y Ccompis)
- **Lavado y corte:** Se procedió a lavar y cortar en pequeños cubos para realizar la molienda.
- **Molienda 1:** En la licuadora se trituro la papa con agua destilada en una relación 1:1 (Ver fotografía 1).

- **Filtrado 1:** La mezcla que se obtuvo de la molienda 1 se filtró con ayuda de una muselina, a la cual se le agregó 250 ml de agua destilada, con el fin de filtrar la mayor cantidad de almidón posible (Ver fotografía 3).
- **Molienda 2:** Lo retenido en la muselina se volvió a triturar con agua en una relación 1:1.
- **Filtrado 2:** La masa obtenida de la molienda 2 se filtró con la muselina adicionando también 250 ml. Lo recolectado del filtrado 1 y 2 se acopió en un balde y se dejó sedimentar por 3 horas, descartando el sobrenadante.
- **Centrifugación:** La muestra obtenida se centrifugó a 3000 rpm por 15 min (Ver Anexo 5).
- **Filtración:** La pasta obtenida se filtró con ayuda de una bomba de vacío y papel filtro (Ver fotografía 5).
- **Secado:** Finalmente la muestra obtenida en el papel filtro se llevó a secar a una estufa por 14 horas a 45 °C (Ver fotografía 7).
- **Tamizado:** Una vez obtenido la muestra de almidón seca se pasó por 3 tamices de 10, 60 y 200 micras con la que se obtuvo un polvo fino (Ver fotografía 8).
- **Envasado:** El almidón ya tamizado fue envasado en frascos de vidrio (Ver fotografía 9).

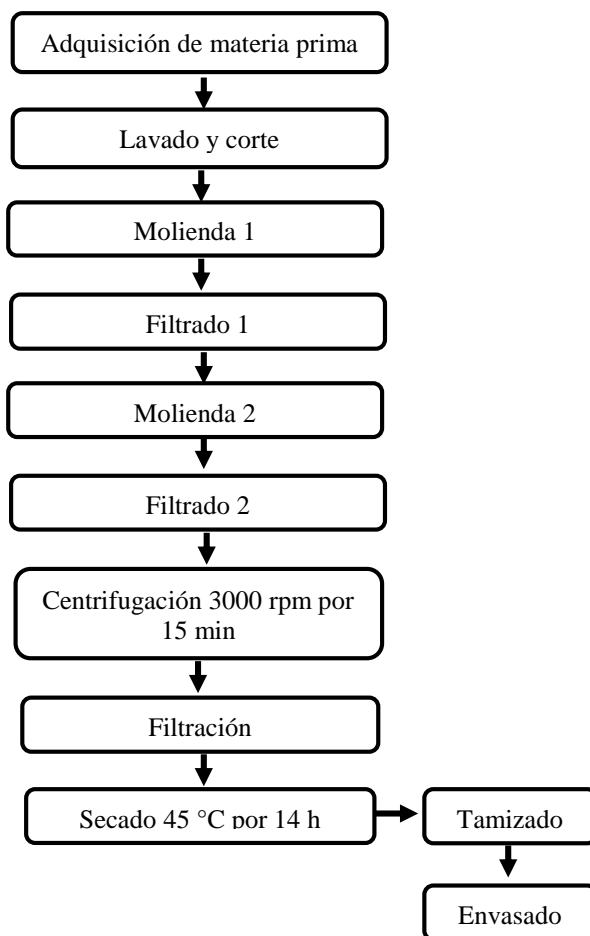


Figura 3. Obtención del almidón de papa
Fuente: Adaptado de Chalco (2016)

3.4.3. Preparación de la solución $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y almidón de papa

3.4.3.1. Preparación del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Para esta fase se consideró lo descrito en la guía del CEPIS (2004) el cual se detalla en el Anexo B.

3.4.3.2. Preparación de la solución de almidón de papa

Siguiendo la metodología planteada de Roncal & Siu (1990), se pesó 10g de almidón y se disolvió en 100g de agua destilada, a esta mezcla se le añadió 0.98g de NaOH previamente

diluida. Posteriormente ambas mezclas se unieron asegurando su completa homogenización, se aforo hasta completar un volumen de 1 000ml (Ver fotografía 13).

3.4.4. Determinación de la dosis, concentración y pH óptimos para el $Al_2(SO_4)_3$

Para esta etapa se empleó un equipo de jarras Marca VELP modelo JLT6 Serie 35387.

- Se evaluó un total de once dosis: 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 mg/L, estas fueron tomadas de la solución de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%.
- Seguidamente se evaluó concentraciones al: 0.5 %, 1%, 1.5%, 2%, 2.5 % y 3%.
- Las equivalencias en mililitros para las dosis y concentraciones se calcularon con la ecuación de balance de masas del CEPIS.

$$q (ml) = \frac{Q(l) * D\left(\frac{mg}{L}\right)}{C \text{ mg/L}} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

Donde:

D=dosis de coagulante en mg/L

Q= capacidad de la jarras en litros

q= volumen de la solución por aplicar (ml)

C= concentración de la solución en mg/L

- Para hallar el pH óptimo se modificó el pH natural del agua con NaOH y HCl al 0.1N hasta llegar a valores de 6.5, 7, 7.5 y 8.
- El proceso de coagulación y floculación se detalla en el Anexo B.

3.4.5. Ensayo de dosis óptima: sulfato de aluminio – almidón de papa

Esta fase consistió en dos etapas, las cuales se describen a continuación.

Etapa 1: Se mantuvo constante la dosis optima del $Al_2(SO_4)_3$ y se aplicó dosis variables de las soluciones de almidón de papa, tal como se describe en la Tabla 7.

Tabla 7.

Diseño para hallar la dosis óptima del almidón de papa

Agua superficial Turbiedad= 40 UNT Temperatura= 15°C Tratamiento	Dosis de mezcla rápida	Dosis de mezcla lenta
	Sulfato de aluminio (mg/L)	Dosis de almidón (mg/L)
	5 seg 300 rpm	20 min 40 rpm
1	Dosis óptima	5
2	Dosis óptima	10
3	Dosis óptima	15
4	Dosis óptima	20
5	Dosis óptima	25
6	Dosis óptima	30

Fuente: Elaboración propia

Etapa 2: Siguiendo lo descrito en la guía del CEPIS, para obtener la combinación más económica del coagulante químico y el ayudante de floculación, se redujo la dosis optima del $Al_2(SO_4)_3$ en un 50% y se aplicó la dosis óptima del almidón de papa (Ver tabla 8).

Tabla 8

Diseño para hallar dosis óptima de $Al_2(SO_4)_3$ y almidón de papa

Agua superficial Turbiedad= 40 UNT Temperatura= 15°C Tratamiento	Dosis de mezcla rápida	Dosis de mezcla lenta
	Sulfato de aluminio mg/L)	Dosis de almidón (mg/L)
	5 seg 300 rpm	20 min 40 rpm
Dosis 1 (T1)	Dosis óptima al 100 %	
Dosis 2 (T2)	Dosis óptima al 100 %	Dosis óptima
Dosis 3 (T3)	Dosis óptima al 92 %	Dosis óptima
Dosis 4 (T4)	Dosis óptima al 83 %	Dosis óptima
Dosis 5 (T5)	Dosis óptima al 75 %	Dosis óptima
Dosis 6 (T6)	Dosis óptima al 67 %	Dosis óptima
Dosis 7 (T7)	Dosis óptima al 58 %	Dosis óptima
Dosis 8 (T8)	Dosis óptima al 50 %	Dosis óptima

Fuente: Elaboración propia

Nota: Tratamiento (T)

3.4.6. Análisis de parámetros

- a. **Parámetros físico-químicos.** En la Tabla 9 se indica el método usado para el análisis de los parámetros de turbiedad y pH.

Tabla 9

Métodos de análisis para parámetros

Parámetro	Método	Anexo
Turbiedad	“Método de Ensayo Estándar para Determinar Turbidez del Agua (ASTMD 1889, 2005)”.	Anexo C
pH-Temperatura	Método Estándar para Prueba de pH del Agua (ASTMD 1293, 2005)”	Anexo D

Fuente: Elaboración propia

Para hallar el porcentaje de remoción de turbiedad se usó la siguiente ecuación.

$$\% \text{remoción} = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{turbidez final}}{\text{Turbidez inicial}} * 100 \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

b. Alcalinidad total

La alcalinidad del agua cruda fue determinada según lo descrito por Romero (2002). Se registró la cantidad de ml de NaOH y HCl al 0.02 N necesario para modificar el pH del agua a valores ácidos (4.4) y básicos (8.5). Posteriormente se añadió gotas de fenolftaleína y naranja de metileno hasta observar el viraje de color rosado a pH mayores de 8.3 e incolora a pH menores de 8.3. El metil naranja vira a color amarillo a pH mayor de 4.5 y vira a color naranja en condiciones acidas. La alcalinidad total se calculó con la suma de carbonatos y bicarbonatos.

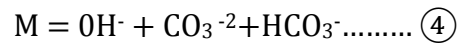
F: volumen de reactivo necesario para hacer virar la fenolftaleína de rosado a incoloro pH= 8.3. Indica la presencia de carbonatos en la muestra de agua.

$$F = \frac{\text{mlHCl} * N * 50\ 000}{\text{ml de muestra utilizada}}$$

$$F = \text{OH} + \frac{1}{2} * \text{CO}_3 \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

M=volumen de reactivo necesario para hacer virar el metil naranja de amarillo a naranja
pH= 4.5. Indica la presencia de bicarbonatos en la muestra de agua.

$$M = \frac{\text{ml HCl} * N * 50\ 000}{\text{ml de muestra utilizada}}$$



Donde:

N: Normalidad del HCl

3.5. Análisis de datos

Para evaluar la eficacia del almidón de papa como auxiliar del sulfato de aluminio, se aplicó el diseño de dosis óptima del CEPIS. A su vez para validar los resultados obtenidos se usó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 3A8B (Factor A: almidón de papa; Factor B: dosis de sulfato de aluminio). Los tratamientos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANVA) para observar si existía o no diferencias estadísticas. Se aplicó la prueba de Duncan para un análisis de medias y seleccionar el tratamiento y variedad de papa con el mejor promedio de remoción de turbiedad y pH, mediante el programa estadística SPSS versión 20.0.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Obtención del almidón de papa

Las variedades de papa de las cuales se extrajo el almidón fueron: Imilla Negra, Ccompis y Sani Imilla (Ver figura 4). Adquiriendo 5 kg de cada una de estas variedades.



Figura 4. Variedades de papa evaluadas.

Una vez llevado el proceso de extracción del almidón según la metodología de Chalco (2015), se procedió a calcular el porcentaje de rendimiento (Ver tabla 10). El cual fue menor al obtenido por Chalco (2016). Para Herrera (2015), un porcentaje de rendimiento bajo se debería a que a que durante el proceso de lavado y pelado existió una pérdida de almidón. Ante esto, Melian (2010) sugiere, “mejorar el rendimiento del almidón mediante la adición de una mayor cantidad de agua en las etapas de molienda y filtración” (p. 66).

Tabla 10

Cantidad y porcentajes del almidón obtenido

Variedad de papa	Cantidad de almidón obtenido en g	% de rendimiento
Imilla Negra	123.8	2.5
Ccompis	108	2.16
Sani imilla	73.1	1.5

3.2. Resultados del ensayo de dosis, concentración y pH óptimos

Los resultados que se muestran a continuación se desarrollaron en base a los siguientes lineamientos del CEPIS (2004).

- Volumen de jarra de 1 000 ml.
- Mezcla rápida de 300 rpm por 5 segundos.
- Mezcla lenta de 40 rpm por 20 minutos.
- Tiempo de sedimentación de 20 minutos.

3.2.1. Dosis óptima

En la Tabla 11 se presentan los resultados de la prueba de jarras para determinar la dosis óptima del $Al_2(SO_4)_3$, el cual es el reactivo más usado en las plantas de tratamiento para los procesos de coagulación y floculación (Andía, 2000). La dosis de 30 mg/L resultó ser la más eficiente reportando una turbiedad final de 3.55 UNT y un pH de 7.34, los cuales se encontraron dentro del LMP del D.S. 031-2010- SA. Esta misma dosis registro un índice de Willcomb de 4 a los 2 minutos.

Tabla 11

Resultados de ensayo de dosis óptima

Cód. ensayo	Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Observación visual		Agua sedimentada	
		Tiempo de formación de flóculos (min)	Índice de Wilcomb	Turbidez (UNT)	pH
DO-01	10	4	2	7.61	7.4
DO-02	15	2	4	4.68	7.37
DO-03	20	2	4	4.41	7.35
DO-04	25	2	4	4.05	7.35
DO-05	30	2	4	3.55	7.34
DO-06	35	2	4	6.75	7.07
DO-07	40	2	4	6.79	6.79
DO-08	45	2	4	4.45	7.11
DO-09	50	2	4	5.14	7.06
DO-10	55	1	4	5.01	7.07
DO-11	60	1	4	7.75	7.19

Con los resultados obtenidos en la tabla 11 se realizó la gráfica de dosis óptima (Ver figura 5). De esta se puede constatar que, una baja dosis de coagulante no desestabiliza las partículas, obteniendo valores de turbiedad final elevados, por el contrario una dosis elevada provoca una inversión en la carga de la partícula (Andía, 2000), reportando también valores de turbiedad final elevados.

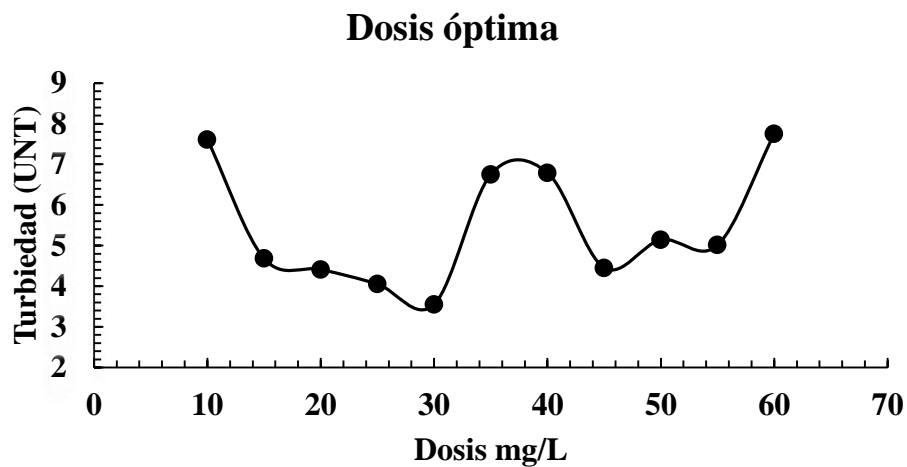


Figura 5. Dosis de sulfato de aluminio versus turbiedad final.

3.2.2. Concentración óptima

Según, los resultados registrados en la Tabla 12, la concentración óptima fue al 1%, con el cual se obtuvo una turbiedad final de 3.77 UNT y un pH de 7.02. Concentración que es coincidente con el recomendado por el CEPIS (2004), para proyectos o en la operación de plantas de tratamiento.

Tabla 12

Resultados de ensayo de concentración óptima

Mezcla artificial de agua	Alcalinidad total: 135 mg/L CaCO ₃ Turbidez: 40 UNT Temperatura: 15°C pH: 7.13					
Cód. ensayo	Concentración de sulfato de aluminio (%)	Concentración de sulfato de aluminio (mg/L)	Observación visual		Agua sedimentada	
			Tiempo de formación de flóculos (min)	Índice de Wilcomb	Turbidez (UNT)	pH
CO-01	0.5	6	3	2	9.66	7.05
CO-02	1	3	4	2	3.77	7.02
CO-03	1.5	2	5	2	7.53	7.11
CO-04	2	1.5	8	2	10.71	7.05
CO-05	2.5	1.2	11	2	16.5	7.03
CO-06	3	1	12	2	18.25	7.15

Fuente: Elaboración propia.

Considerando los resultados descritos anteriormente, se procedió a realizar la gráfica de concentración óptima (Ver figura 6). Se observa que a concentraciones altas los valores de turbiedad final elevadas, debido a que “se degrada el proceso de floculación, y cada partícula formada se une a una sola siendo difícil que se formen los puentes moleculares (Ebeling, Rishel, & Sibrell, 2005).

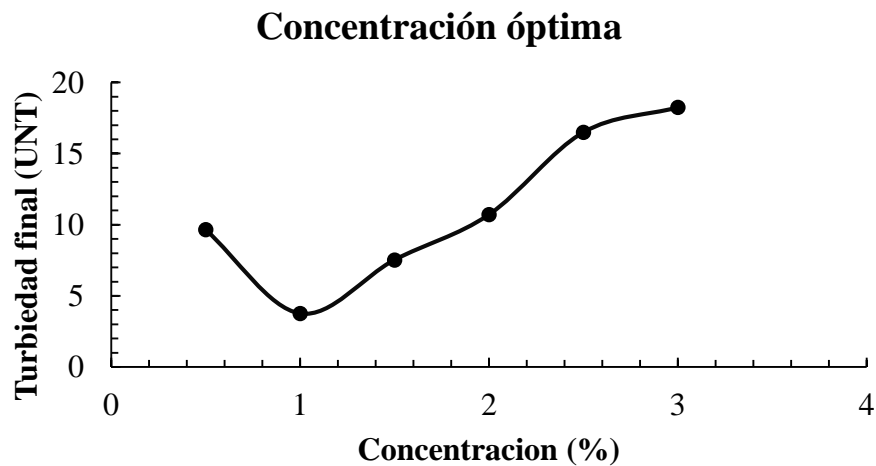


Figura 6. Concentración de sulfato de aluminio versus turbiedad final.

3.2.3. pH óptimo

Con los valores de dosis y concentración se evaluó el pH óptimo. El pH natural del agua se encontraba dentro del rango de acción del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (6.5 - 8.0) (Andía, 2000), obteniendo una remoción de turbiedad efectiva en comparación a los demás tratamientos (Ver tabla 13), optando trabajar con este valor.

Tabla 13

Resultados de ensayo de pH óptimo

Cód. ensayo	pH	Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Observación visual		Agua sedimentada	
			Tiempo de formación de flóculos (min)	Índice de Wilcomb	Turbidez (UNT)	pH
PO-01	6.5	30	10	2	11.48	6.6
PO-02	7	30	5	2	7.05	7.04
PO-03	natural	30	3	4	2.41	7.07
PO-04	7.5	30	3	2	2.71	7.52
PO-05	8	30	3	2	3.09	7.63

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta los valores obtenidos en la Tabla 13 se realizó el gráfico de pH óptimo (Ver figura 7). Se puede observar que la modificación del pH con NaOH y HCl, degrada la eficiencia de acción del sulfato de aluminio, reportando valores de turbiedad final elevados. En base a estos resultados se infiere que es conveniente realizar los ensayos de coagulación-floculación con el pH natural del agua, (Aguilar, 2010).

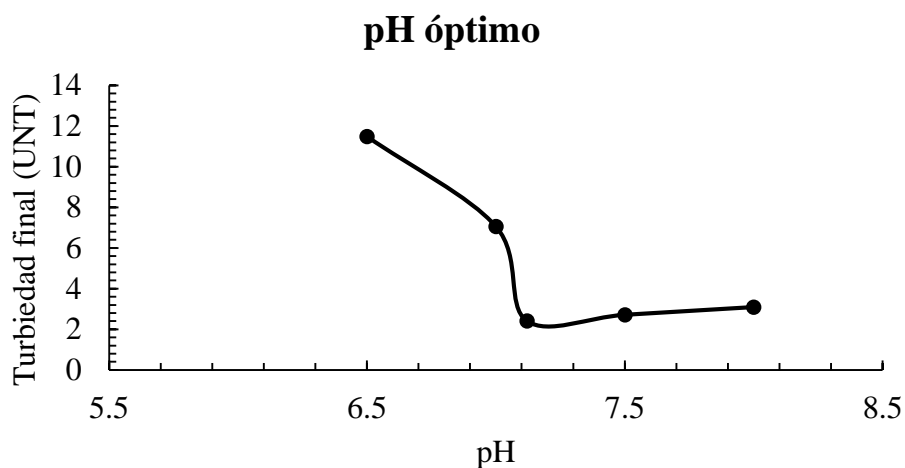


Figura 7. pH vs turbiedad final.

3.3. Dosis óptima: sulfato de aluminio - almidón de papa variedad Imilla Negra

Etapa 1: Dosis óptima del almidón de papa variedad Imilla Negra

Se realizó una evaluación de dosis óptima del almidón de papa variedad Imilla Negra y $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, manteniendo la dosis óptima de este último constante (Ver tabla 14). La mejor remoción de turbiedad se obtuvo con una dosis de 15 mg/L de almidón de papa, la cual fue usada para los ensayos en la etapa 2. Los valores de pH se incrementaron en pequeña proporción debido a que el almidón de papa fue solubilizado con NaOH “y está por su carácter básico hace que se incremente este parámetro en relación directa con el aumento de las dosis de coagulante” (Jiménes & Piscal, 2015).

Así mismo, con la adición del polímero se observó formación de flóculos más densos (Ver fotografía 19), similar a lo registrado por Herrera (2015).

Tabla14

Dosis óptima para el almidón de papa variedad Imilla Negra

Cód. ensayo	Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Dosis de almidón (mg/L)	Observación visual		Agua sedimentada	
			Tiempo de formación de flóculos (min)	Índice de Willcomb	Turbidez (UNT)	pH
IN-DO-1	30	5	2	2	5.32	7.75
IN-DO-2	30	10	2	4	2.54	7.61
IN-DO-3	30	15	2	4	2.04	7.61
IN-DO-4	30	20	2	4	2.23	7.62
IN-DO-5	30	25	2	4	2.65	7.58
IN-DO-6	30	30	2	4	2.76	7.6

Fuente: Elaboración propia.

Etapa 2: Dosis óptima: $Al_2(SO_4)_3$ - almidón de papa variedad Imilla Negra

En base a los resultados obtenidos en la etapa 1, se realizó una nueva prueba disminuyendo la dosis óptima del $Al_2(SO_4)_3$ en un 50 % y manteniendo constante la dosis óptima del almidón (15 mg/L) (Ver tabla 15). Para todas las jarras se registró un índice de Willcomb de 4, los valores de pH se mantuvieron dentro del LMP (6.5-8.5). En cuanto a la alcalinidad esta fue suficiente para reaccionar con el sulfato de aluminio, “por cada parte de este coagulante, se consume aproximadamente 0.5 partes de la alcalinidad, es decir 1 mg/L reacciona con 0.5 mg/L de alcalinidad natural (Jiménes & Piscal, 2015).

Tabla 15

Dosis óptima de Al₂(SO₄)₃ y almidón de papa variedad Imilla Negra

Mezcla artificial de agua		Alcalinidad total: 150 mg/L CaCO ₃ Turbidez : 40 UNT Temperatura: 15°C pH: 7.34					
Cód. ensayo	Tratamiento	Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Dosis de almidón (mg/L)	Observación visual		Agua sedimentada	
				Tiempo de formación de flóculos (min)	Índice de Wilcomb	Turbidez (UNT)	pH
IN-D1-R1	T1	30		2	4	4.00	7.01
IN-D2-R1	T2	30	15	2	4	1.52	7.02
IN-D3-R1	T3	27.5	15	2	4	1.72	7.04
IN-D4-R1	T4	25	15	2	4	1.79	7.03
IN-D5-R1	T5	22.5	15	2	4	1.92	7.06
IN-D6-R1	T6	20	15	2	4	2.43	7.01
IN-D7-R1	T7	17.5	15	2	4	3.43	7.59
IN-D8-R1	T8	15	15	2	4	3.44	7.53
IN-D1-R2	T1	30		3	4	4.68	7.06
IN-D2-R2	T2	30	15	3	4	1.62	7.06
IN-D3-R2	T3	27.5	15	3	4	1.93	7.02
IN-D4-R2	T4	25	15	3	4	1.96	7.01
IN-D5-R2	T5	22.5	15	3	4	2.10	7.04
IN-D6-R2	T6	20	15	3	4	2.27	7.04
IN-D7-R2	T7	17.5	15	2	4	2.37	7.56
IN-D8-R2	T8	15	15	2	4	3.32	7.57
IN-D1-R3	T1	30		2	4	4.32	7.12
IN-D2-R3	T2	30	15	2	4	2.52	7.09
IN-D3-R3	T3	27.5	15	2	4	1.49	7.19
IN-D4-R3	T4	25	15	2	4	1.99	7.43
IN-D5-R3	T5	22.5	15	2	4	2.09	7.28
IN-D6-R3	T6	20	15	2	4	2.31	7.16
IN-D7-R3	T7	17.5	15	2	4	2.33	7.54
IN-D8-R3	T8	15	15	2	4	4.06	7.59

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados expuestos en la tabla 15, se procedió a realizar el cálculo del promedio de remoción de turbiedad de los ocho tratamientos aplicados (Ver tabla 16). El tratamiento 3 obtuvo una remoción de turbiedad de 1.71 UNT. Este resultado es igual al obtenido por Alvarado (2011), quien al emplear la formulación de cáscara de papa y Al₂(SO₄)₃ adquirió una reducción de turbiedad menor a 2 UNT. Así mismo, con este tratamiento se consiguió una reducción del 8% de Al₂(SO₄)₃ y con el tratamiento 4 un 17%, igual al reportado por Aguilar (2010), al usar tara como ayudante de floculación. En todas las pruebas se obtuvo valores de turbiedad dentro del LMP.

Tabla 16

Promedio de remoción de turbiedad almidón de papa variedad Imilla Negra

Variedad de papa	TURBIEDAD FINAL (UNT)							
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8
	4	1.52	1.72	1.79	1.92	2.43	3.43	3.44
Imilla Negra	4.68	1.62	1.93	1.96	2.1	2.27	2.37	3.32
	4.32	2.52	1.49	1.99	2.09	2.31	2.33	4.06
Promedio	4.33	1.89	1.71	1.91	2.04	2.34	2.71	3.61
% Remoción	89.17	95.28	95.72	95.22	94.91	94.16	93.23	90.98

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Dosis óptima: sulfato de aluminio - almidón de papa variedad Ccompis*Etapa 1: Dosis óptima del almidón de papa variedad Ccompis*

Para el almidón de la variedad de papa Ccompis se constató que la mejor reducción de turbiedad se obtuvo con la dosis de 10 mg/L (Ver tabla 17), optando trabajar con este valor para los ensayos de la etapa 2, también se observó formación de flóculos más densos con la adición del polímero.

Tabla 17

Dosis óptima del almidón de papa variedad Ccompis

Cód. ensayo	Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Dosis de almidón (mg/L)	Observación visual		Agua sedimentada	
			Tiempo de formación de flóculos (min)	Índice de Wilcomb	Turbidez (UNT)	pH
Mezcla artificial de agua Alcalinidad total: 153 mg/L CaCO ₃ Turbidez: 40 UNT Temperatura: 15°C pH: 7.36						
CC-DO-1	30	5	2	4	2.94	7.25
CC-DO-2	30	10	2	4	1.95	7.3
CC-DO-3	30	15	2	4	2.3	7.36
CC-DO-4	30	20	2	4	2.65	7.27
CC-DO-5	30	25	2	4	3.4	7.27
CC-DO-6	30	30	2	4	3.6	7.31

Fuente: Elaboración propia.

Etapa 2: Dosis óptima: Al₂(SO₄)₃ - almidón de papa variedad Ccompis

En la Tabla 18 se aprecia los resultados de los tratamientos aplicados para determinar la dosis óptima de Al₂(SO₄)₃ y almidón de papa variedad Ccompis. Se registró un índice de

Willcomb de 4 para todos los tratamientos. En cuanto a los valores de pH estos se incrementaron en pequeñas proporciones, debido a la solubilización con NaOH. Con respecto al valor de alcalinidad, esta fue suficiente para reaccionar con el sulfato de aluminio.

Tabla 18

Dosis óptima de $Al_2(SO_4)_3$ y almidón de papa variedad Ccompis

Mezcla artificial de agua		Alcalinidad total: 145 mg/L $CaCO_3$ Turbidez: 40 UNT Temperatura: 15°C pH: 7.15					
Cód. ensayo	Tratamiento	Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Dosis de almidón (mg/L)	Observación visual		Agua sedimentada	
				Tiempo de formación de flóculos (min)	Índice de Wilcomb	Turbidez (UNT)	pH
CC-D1-R1	T1	30		3	4	4.33	7.40
CC-D2-R1	T2	30	10	3	4	2.68	7.34
CC-D3-R1	T3	27.5	10	3	4	2.38	7.36
CC-D4-R1	T4	25	10	3	4	2.10	7.36
CC-D5-R1	T5	22.5	10	3	4	3.23	7.42
CC-D6-R1	T6	20	10	3	4	4.05	7.43
CC-D7-R1	T7	17.5	10	5	4	3.73	7.4
CC-D8-R1	T8	15	10	6	4	4.47	7.36
CC-D1-R2	T1	30		4	4	4.36	7.27
CC-D2-R2	T2	30	10	3	4	2.70	7.29
CC-D3-R2	T3	27.5	10	3	4	2.23	7.25
CC-D4-R2	T4	25	10	3	4	2.68	7.34
CC-D5-R2	T5	22.5	10	3	4	3.17	7.3
CC-D6-R2	T6	20	10	3	4	3.92	7.34
CC-D7-R2	T7	17.5	10	5	4	3.81	7.28
CC-D8-R2	T8	15	10	7	4	4.26	7.25
CC-D1-R3	T1	30		4	4	3.98	7.46
CC-D2-R3	T2	30	10	3	4	2.18	7.44
CC-D3-R3	T3	27.5	10	3	4	2.07	7.44
CC-D4-R3	T4	25	10	3	4	2.59	7.42
CC-D5-R3	T5	22.5	10	3	4	2.63	7.43
CC-D6-R3	T6	20	10	3	4	3.92	7.45
CC-D7-R3	T7	17.5	10	4	4	3.93	7.26
CC-D8-R3	T8	15	10	5	4	3.87	7.26

Fuente: Elaboración propia.

Considerando los resultados de la Tabla 18, se procedió al cálculo del promedio de remoción (Ver tabla 19). En todos los tratamientos se obtuvo remociones de turbiedad menores a 5 UNT, resultados superiores a los reportados por Chama (2017), quien al usar la variedad de papa Única como auxiliar del policloruro de aluminio consiguió una remoción de 7.8 UNT. En cuanto al porcentaje de remoción, con el tratamiento 3 se obtuvo un 94.43%,

porcentaje superior al adquirido por Alatrística, et al., (2015), quienes lograron una reducción de 90.6% al usar almidón de trigo como auxiliar del proceso. Con este mismo tratamiento se consigue una reducción de 8 % de $Al_2(SO_4)_3$.

Tabla 19

Promedio de remoción de turbiedad almidón de papa variedad Ccompis

Variedad de papa	TURBIEDAD FINAL (UNT)							
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8
Ccompis	4.33	2.68	2.38	2.1	3.23	4.05	3.73	4.47
	4.36	2.7	2.23	2.68	3.17	3.92	3.81	4.26
	3.98	2.18	2.07	2.59	2.63	3.92	3.93	3.87
Promedio	4.22	2.52	2.23	2.46	3.01	3.96	3.82	4.2
% Remoción	89.44	93.7	94.43	93.86	92.48	90.09	90.44	89.5

Fuente: Elaboración propia.

3.1. Dosis óptima: $Al_2(SO_4)_3$ y almidón de papa variedad Sani Imilla

Etapa 1: Dosis óptima del almidón de papa variedad Sani Imilla

Para la variedad Sani Imilla se obtuvo una dosis óptima de 10 mg/L (Ver tabla 20). Se constató que al añadir una dosis de 30 mg/L de almidón se obtiene valores de turbiedad fuera del LMP, debido a que “una concertación muy alta de almidón puede degradar la efectividad de la floculación” (Ebeling et al., 2005), debido a la restabilización de coloides (Ver tabla 20).

Tabla 20

Dosis óptima del almidón de papa variedad Sani Imilla

Cód. ensayo	Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Dosis de almidón (mg/L)	Observación visual		Agua sedimentada	
			Tiempo de formación de flóculos (min)	Índice de Wilcomb	Turbidez (UNT)	pH
SI-DO-1	30	5	3	4	3.93	7.23
SI-DO-2	30	10	3	4	2.74	7.04
SI-DO-3	30	15	3	4	3.32	7.07
SI-DO-4	30	20	3	4	3.5	7.00
SI-DO-5	30	25	3	4	4.79	7.00
SI-DO-6	30	30	3	4	6.47	7.03

Etapa 2: Dosis óptima: $Al_2(SO_4)_3$ - almidón de papa variedad Sani Imilla

Como se puede observar en la tabla 21, los valores de turbiedad y pH final se mantuvieron dentro del LMP del D.S. 031-2010-SA. Se observó formación de flóculos más densos con el almidón de papa, registrando un índice de Willcomb de 4 a los 2 minutos.

Tabla 21

Dosis óptima de $Al_2(SO_4)_3$ y almidón de papa variedad sani imilla

Mezcla artificial de agua		Alcalinidad total: 145 mg/L $CaCO_3$ Turbidez: 40 UNT Temperatura: 15°C pH: 7.20					
Cód. ensayo	Tratamiento	Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Dosis de almidón (mg/L)	Observación visual		Agua sedimentada	
				Tiempo de formación de flóculos (min)	Índice de Willcomb	Turbidez (UNT)	pH
SI-D1-R1	T1	30		3	4	4.04	7.14
SI-D2-R1	T2	30	10	2	4	2.23	7.09
SI-D3-R1	T3	27.5	10	2	4	2.32	7.08
SI-D4-R1	T4	25	10	2	4	2.52	7.10
SI-D5-R1	T5	22.5	10	2	4	2.69	7.07
SI-D6-R1	T6	20	10	2	4	3.83	7.12
SI-D7-R1	T7	17.5	10	3	2	3.59	7.22
SI-D8-R1	T8	15	10	3	2	3.77	7.16
SI-D1-R2	T1	30		3	4	4.10	7.34
SI-D2-R2	T2	30	10	2	4	2.52	7.29
SI-D3-R2	T3	27.5	10	2	4	2.44	7.17
SI-D4-R2	T4	25	10	2	4	2.33	7.21
SI-D5-R2	T5	22.5	10	2	4	2.95	7.18
SI-D6-R2	T6	20	10	2	4	3.98	7.21
SI-D7-R2	T7	17.5	10	3	2	3.5	7.23
SI-D8-R2	T8	15	10	3	2	3.12	7.19
SI-D1-R3	T1	30		3	2	4.42	7.12
SI-D2-R3	T2	30	10	2	4	2.36	7.31
SI-D3-R3	T3	27.5	10	2	4	2.45	7.25
SI-D4-R3	T4	25	10	2	4	2.72	7.09
SI-D5-R3	T5	22.5	10	2	4	3.26	7.1
SI-D6-R3	T6	20	10	2	4	3.76	7.1
SI-D7-R3	T7	17.5	10	3	2	3.62	7.29
SI-D8-R3	T8	15	10	3	2	3.21	7.2

Fuente: Elaboración Propia.

Con los resultados obtenidos en la Tabla 21, se procedió al cálculo de los promedios de remoción (Ver tabla 21). Los ocho tratamientos reportaron valores de turbiedad menores a 5 UNT, similar al obtenido por Laines et al., (2008), utilizando sulfato de aluminio y almidón

de plátano. Pero superiores a los alcanzados por Chalco (2016), quien obtuvo una remoción de 5.82 UNT, al usar la variedad Canchán como ayudante del sulfato de aluminio.

Por otro lado, los porcentajes de remoción calculados, indican el tratamiento 2 fue el más eficiente con un porcentaje de remoción de 94.08%, sin embargo, esta no supondría una reducción del coagulante químico, pues requiere el 100 % de su dosis óptima para alcanzar dicho porcentaje, su eficacia se vería reflejada en la remoción de turbiedad.

Tabla 22

Promedio de remoción de turbiedad almidón de papa variedad Sani Imilla

Variedad de papa	TURBIEDAD FINAL (UNT)							
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8
Sani imilla	4.04	2.23	2.32	2.52	2.69	3.83	3.59	3.77
	4.1	2.52	2.44	2.33	2.95	3.98	3.5	3.12
	4.42	2.36	2.45	2.72	3.26	3.76	3.62	3.21
Promedio	4.19	2.37	2.4	2.52	2.97	3.86	3.57	3.37
% Remoción	89.53	94.08	93.99	93.69	92.58	90.36	91.08	91.58

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Diseño de dosis óptima del CEPIS

En base a los resultados obtenidos se realizó la gráfica de dosis óptima del CEPIS (Ver figura 8), donde se aprecia que la variedad Imilla Negra presento los mejores valores de remoción promedio de turbiedad con el tratamiento 2. Mientras que las otras dos variedades presentan valores de remoción análogos.

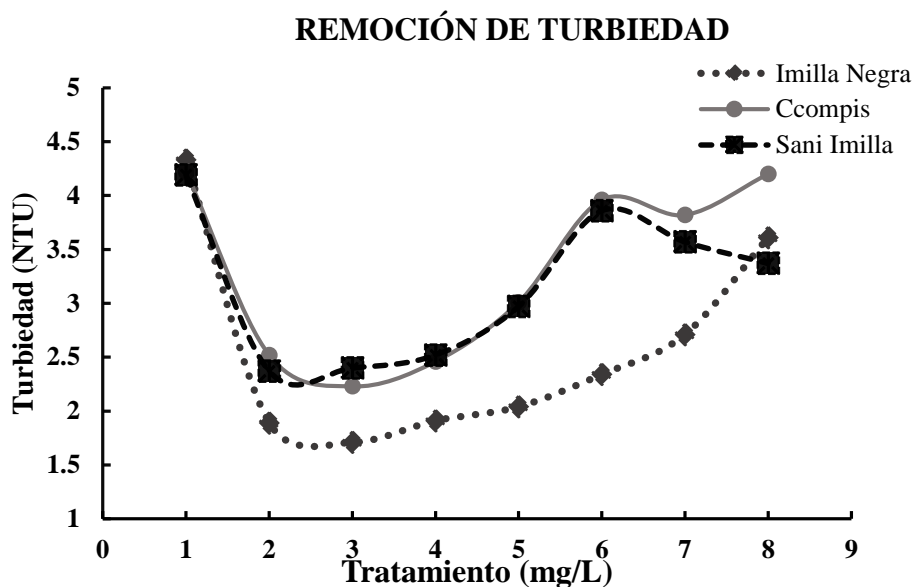


Figura 8. Dosis versus porcentaje de remoción de turbiedad por variedad de papa.

Se infiere que la remoción de turbiedad se realizó por adsorción–formación de puente interparticular, debido a que la papa posee almidón, aportando moléculas poliméricas de alto peso molecular compuestas por largas cadenas de iones, que pueden adsorber químicamente las partículas coloidales en uno o más puntos fijos de adsorción, dejando el resto de la cadena libre, de forma que puede flotar en el líquido y adherirse a su vez a otro coloide, formando así un puente molecular que une una partícula con otra, la repetición de este fenómeno entre diversas partículas es lo que permite la aglutinación de ellas en masas (Carrasquero et al., 2017, p. 34).

3.3. Análisis estadístico

3.3.1. Análisis de normalidad para turbiedad y pH

En base al porcentaje de remoción de turbiedad y los valores finales de pH, se realizó una prueba de normalidad, el cual indica que existe evidencia suficiente para afirmar que se cumple la normalidad de los datos a lo largo de todos los tratamientos, tanto para el porcentaje de la turbiedad como del pH al 95% de confianza ($p > 0.05$. Prueba de Shapiro – Wilk) (Ver tabla 23).

Tabla 23

Prueba de normalidad para turbiedad y pH

	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
% Remoción de turbiedad	1	.182	3	.	.999	3	.935
	2	.358	3	.	.813	3	.145
	3	.331	3	.	.865	3	.281
	4	.353	3	.	.824	3	.174
	5	.373	3	.	.779	3	.065
	6	.192	3	.	.997	3	.894
	7	.181	3	.	.999	3	.940
	8	.177	3	.	1.000	3	.972
	9	.365	3	.	.797	3	.107
	10	.338	3	.	.853	3	.248
	11	.331	3	.	.866	3	.283
	12	.176	3	.	1.000	3	.977
	13	.364	3	.	.800	3	.114
	14	.353	3	.	.824	3	.174
	15	.191	3	.	.997	3	.900
	16	.292	3	.	.923	3	.463
	17	.385	3	.	.750	3	.000
	18	.265	3	.	.954	3	.586
	19	.374	3	.	.777	3	.061
	20	.219	3	.	.987	3	.780
	21	.285	3	.	.932	3	.497
	22	.329	3	.	.868	3	.290
	23	.246	3	.	.970	3	.665
	24	.339	3	.	.850	3	.240
pH	1	.191	3	.	.997	3	.900
	2	.262	3	.	.957	3	.600
	3	.356	3	.	.818	3	.157
	4	.204	3	.	.993	3	.843
	5	.253	3	.	.964	3	.637
	6	.356	3	.	.818	3	.157
	7	.346	3	.	.837	3	.206
	8	.208	3	.	.992	3	.826
	9	.182	3	.	.999	3	.935
	10	.370	3	.	.786	3	.081
	11	.292	3	.	.923	3	.463
	12	.358	3	.	.812	3	.144
	13	.358	3	.	.812	3	.144
	14	.361	3	.	.807	3	.132
	15	.282	3	.	.936	3	.510
	16	.314	3	.	.893	3	.363
	17	.321	3	.	.881	3	.328
	18	.321	3	.	.881	3	.328
	19	.219	3	.	.987	3	.780
	20	.337	3	.	.855	3	.253
	21	.337	3	.	.855	3	.253
	22	.253	3	.	.964	3	.637
	23	.356	3	.	.818	3	.157
	24	.292	3	.	.923	3	.463

a Corrección de la significación de Lilliefors

3.3.2. Análisis estadístico para turbiedad

a. Análisis de varianza para turbiedad

En la Tabla 24 se muestra el ANVA para el parámetro de turbiedad, el cual indica que al menos uno de los tratamientos reporta un porcentaje promedio de remoción de turbiedad significativamente diferente a los demás (Prueba ANVA $p=0.000<0.05$).

Tabla 24

Análisis de varianza por tratamientos para turbiedad

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Tratamiento	317.354	23	13.798	28.759	.000*
Error	23.030	48	.480		
Total corregida	340.384	71			

Variable dependiente: % de remoción de turbiedad.

b. Análisis de varianza por factores para turbiedad

Mediante la prueba de efectos inter-sujetos se concluye que existe un efecto significativo del Factor A (almidón de papa), Factor B (Dosis de sulfato de aluminio) y de la interacción AB ($p=0.000<0.05$, prueba ANVA), sobre el porcentaje de remoción de la turbiedad (Ver tabla 25).

Tabla 25

Análisis de varianza por factor para turbiedad

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
A	45.460	2	22.730	47.375	.000*
B	241.906	7	34.558	72.028	.000*
A * B	29.988	14	2.142	4.465	.000*
Error	23.030	48	.480		
Total corregida	340.384	71			

Prueba ANVA.

c. Comparaciones múltiples de promedio del porcentaje de remoción de turbiedad por variedad de papa

Para conocer que variedad de papa tiene el mejor porcentaje de remoción de turbiedad se realizó una prueba de Duncan (Ver tabla 26). El cual afirma que el almidón de papa variedad Imilla Negra reporta un promedio de 93.58%, en comparación al almidón de las otras dos variedades las cuales forman un grupo homogéneo, no habiendo diferencias significativa entre ellas, reportando menor porcentaje promedio de remoción de turbiedad (Prueba Duncan $p < 0.05$).

Tabla 26

Prueba de Duncan para remoción de turbiedad por variedad de papa

Almidón por variedad de papa	Media*	N	Desv. típ.
Almidón de papa Imilla Negra	93.5846a	24	2.36742
Almidón de papa Ccompis	91.7454b	24	2.06766
Almidón de papa Sani imilla	92.1133b	24	1.71548
Total	92.4811	72	2.18955

*) Letras iguales indican diferencias no significativas (Prueba Duncan, $p < 0.05$)

Estos resultados se comparan con el reportado por Shahriari, Bidhendi, & Shahriani (2012), quienes emplearon 10 mg/L $FeCl_3$ y 0.2 mg/L de almidón, mezcla que permitió una remoción de turbiedad de 86.5% y 92.4%.

Tabla 27

Medias para grupos homogéneos

Almidón por variedad de papa	N	Sub-conjunto	
		1	2
Almidón de papa Ccompis	24	91.7454	
Almidón de papa Sani imilla	24	92.1133	
Almidón de papa Imilla Negra	24		93.5846
Significación		.072	1.000

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = .480.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 24.000

b Alfa = .05.

d. Comparaciones múltiples de promedio de remoción de turbiedad por dosis aplicada

Las comparaciones múltiples de promedio reportan 5 grupos homogéneos, donde el quinto grupo formado por los tratamientos 2, 3 y 4, tienen el mejor porcentaje de remoción promedio de turbiedad (Prueba Duncan, $p < 0.05$) (Ver tabla 28 y 29).

Tabla 28.

Prueba Duncan para dosis

Dosis de sulfato de aluminio	Media*	N	Desv. típ.
Dosis 1 (T1)	89.3811	9	.58552
Dosis 2 (T2)	94.3533a	9	1.07522
Dosis 3 (T3)	94.7167a	9	.85140
Dosis 4 (T4)	94.2578a	9	.86959
Dosis 5 (T5)	93.3256b	9	1.31487
Dosis 6 (T6)	91.5389c	9	1.98163
Dosis 7 (T7)	91.5844c	9	1.49251
Dosis 8 (T8)	90.6911d	9	1.20265
Total	92.4811	72	2.18955

*) Letras iguales indican diferencias no significativas (Prueba Duncan, $p < 0.05$)

Nota: Tratamiento (T)

Estos porcentajes son similares al 95% de remoción obtenido por López, Laines, Hernández & Aparicio (2014) al aplicar 15mg/L de almidón nativo de malanga con 35mg/L de $Al_2(SO_4)_3$.

Tabla 29

Medias para grupos homogéneos para turbiedad

Dosis de sulfato de aluminio		N	Subconjunto				
			1	2	3	4	5
Duncan(a,b)	Dosis 1 (T1)	9	89.3811				
	Dosis 2 (T2)	9		90.6911			
	Dosis 3 (T3)	9			91.5389		
	Dosis 4 (T4)	9			91.5844		
	Dosis 5 (T5)	9				93.3256	
	Dosis 6 (T6)	9					94.2578
	Dosis 7 (T7)	9					94.3533
	Dosis 8 (T8)	9					94.7167
Significación			1.000	1.000	.890	1.000	.191

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = .480.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 9.000

b Alfa = .05.

3.3.3. Análisis estadístico para pH

a. Análisis de varianza por tratamiento para pH

En la Tabla 30 se indica que al menos uno de los tratamientos reporta un pH promedio diferente que los demás, al 95% de confianza ($p=0.000<0.05$, prueba ANVA).

Tabla 30

Análisis de varianza por tratamientos para pH

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Tratamiento	1.531	23	.067	8.467	.000*
Error	.377	48	.008		
Total corregida	1.908	71			

b. Análisis de varianza por factor para pH

Existe un efecto significativo del Factor A (almidón de papa), Factor B (Dosis de sulfato de aluminio) y de la interacción AB ($p=0.000<0.05$, prueba ANVA) (Ver tabla 31).

Tabla 31

Análisis efecto para pH

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
A	.434	2	.217	27.636	.000*
B	.307	7	.044	5.578	.000*
A * B	.789	14	.056	7.174	.000*
Error	.377	48	.008		
Total corregida	1.908	71			

c. Comparaciones múltiples de promedio de pH por variedad de papa

El almidón de papa Ccompis reporta el más alto pH promedio (7.3563) mientras que las otras dos variedades que forman un grupo homogéneo reportan un pH más bajo ($p<0.000$, prueba Duncan) (Ver Tabla 32 y 33).

Tabla 32

Medias para grupos homogéneos pH

Almidón por variedad de papa	N	Subconjunto	
	1	1	2
Almidón de papa Sani imilla	24	7.1775	
Almidón de papa Imilla Negra	24	7.2104	
Almidón de papa Ccompis	24	7.3563	
Significación		.205	1.000

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.
 Basado en la suma de cuadrados tipo III
 El término error es la Media cuadrática (Error) = .008.
 a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 24.000
 b Alfa = .05.

Tabla 33

Prueba Duncan efecto de variedad de papa sobre el pH

Almidón por variedad de papa	Media*	N	Desv. típ.
Almidón de papa Imilla Negra	7.2104b	24	.22934
Almidón de papa Ccompis	7.3563a	24	.07198
Almidón de papa Sani imilla	7.1775b	24	.07930
Total	7.2481	72	.16393

*) Letras iguales indican diferencias no significativas (Prueba Duncan, $p < 0.05$)

d. Comparaciones múltiples de promedio de pH por dosis aplicada

Los tratamiento 7 y 8 mostraron los promedios de pH más elevados ($p < 0.000$, Prueba Dunacan) (Ver tabla 34 y 35). Esto se debería a que las soluciones de almidón de papa fueron solubilizados con NaOH, “y está por su carácter básico hace que se incremente este parámetro en relación directa con el aumento de las dosis de coagulante (Jiménes & Piscal, 2015).

Tabla 34

Medias para grupos homogéneos-efectos dosis sobre pH

Dosis de sulfato de aluminio	N	Subconjunto	
		1	2
Dosis 1 (T1)	9	7.2000	
Dosis 2 (T2)	9	7.2067	
Dosis 3 (T3)	9	7.2089	
Dosis 4 (T4)	9	7.2133	
Dosis 5 (T5)	9	7.2144	
Dosis 6 (T6)	9	7.2211	
Dosis 7 (T7)	9		7.3456
Dosis 8 (T8)	9		7.3744
Significación		.664	.493

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = .008.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 9.000

b Alfa = .05.

Tabla 35

Efecto de dosis aplicada sobre pH

Dosis de sulfato de aluminio	Media*	N	Desv. típ.
Dosis 1 (T1)	7.2133b	9	.15914
Dosis 2 (T2)	7.2144b	9	.14993
Dosis 3 (T3)	7.2000b	9	.14213
Dosis 4 (T4)	7.2211b	9	.16944
Dosis 5 (T5)	7.2089b	9	.15390
Dosis 6 (T6)	7.2067b	9	.16371
Dosis 7 (T7)	7.3744a	9	.15117
Dosis 8 (T8)	7.3456a	9	.17343
Total	7.2481	72	.16393

*) Letras iguales indican diferencias no significativas (Prueba Duncan, $p < 0.05$)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En base a los ensayos y análisis realizados se establecen las siguientes conclusiones:

- El almidón de la variedad Imilla Negra y el tratamiento 3 presentaron el mejor promedio de remoción de turbiedad con 93.58%, en comparación al 91.74% y 92.11% de las variedades Ccompis y Sani Imilla respectivamente.
- La dosis óptima para la variedad Imilla Negra fue de 27.5 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ y 15 mg/L de almidón solubilizado, obteniendo una remoción de 1.71 UNT y pH de 7.08.
- La variedad de papa Sani Imilla no reporta un porcentaje de reducción en cuanto al uso de $Al_2(SO_4)_3$, sin embargo, mejora la remoción de turbiedad.
- En todos los ensayos se observó formación de flóculos más denso con la adición de almidón de papa.
- Los valores de pH final se incrementaron en pequeñas proporciones debido a que las soluciones de almidón de papa fueron solubilizadas con NaOH.
- La reducción del 50% de la dosis optima del $Al_2(SO_4)_3$ no supone una reducción de la efectividad del proceso de coagulación-floculación, todos los valores obtenidos se encontraron dentro del LMP del D.S. 031-2010-SA.

- En base a estos resultados se deduce que las condiciones alto andinas en lo que respecta temperatura del agua (15°C) no significó una reducción de la eficacia del almidón de papa como auxiliar del sulfato de aluminio.

5.2. Recomendaciones

- Es conveniente realizar comparaciones con otras variedades de papa estudiadas por otros autores y la variedad Imilla Negra, bajo las mismas condiciones.
- Realizar ensayos con el almidón de papa Imilla Negra como coagulante - floculante con diferentes niveles de turbiedad y tipos de agua. Además de analizar otros parámetros.
- Experimentar con diferentes velocidades de agitación y tiempos de floculación.
- Realizar un análisis de costos de aplicación del producto a gran escala.

REFERENCIAS

- Aguilar, E. (2010). *Utilización de las semillas de tara (Caesalpinia Spinosa) como ayudante de coagulación en el tratamiento de aguas*. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental.
- Alatrística, G., Quiroz, A., & Butrón, M. (2015). Tratamiento de efluentes textiles por coagulación - floculación utilizando almidón de *Triticum Aestivum* L. como ayudante del proceso. *The Biologist*, 13, 297–312.
- Alvarado, L. (2011). Uso de las cáscaras de papa como coagulante natural en el tratamiento de aguas potables de la planta La Diana. *UNAD. Revista Especializada En Ingeniería de Procesos En Alimentos y Biomateriales*, 115–121.
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua. Coagulación y floculación*. (SEDAPAL, Ed.). Lima.
- Arantes, C. C., Ribeiro, T. A. P., Paterniani, J. E. S., Tateoka, M. S. S., & Silva, G. K. E. (2014). Uso de coagulantes naturais à base de moringa oleifera e tanino como auxiliares da filtração em geotêxtil sintético não tecido. *Engenharia Agrícola Jaboticabal*, 34(4), 780–788. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000400017>
- Arellano, J. (2002). *Introducción a la Ingeniería Ambiental*. (Alfaomega grupo editor S.A. de C.V., Ed.) (Primera Edición). México. Retrieved from <https://es.slideshare.net/vladyvostok/introduccion-a-la-ingenier>
- ASTMD 1293. Standard Test Methods for pH of Water D 1293-99 (2005).
- ASTMD 1889. Standard test method for turbidity of water D 1889-00 (2005).

- Barba, L. (2002). *Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición*. Santiago de Cali.
- Barrera, C. (2014). *Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales*. (Reverté S.A, Ed.). Barcelona. Bogotá. Buenos Aires. Caracas. México.
- Carrasquero, S., Montiel, S., Faría, E., Parra, P., Marín, J., & Díaz, A. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(2), 90–99. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1941>
- CEPIS. (1975a). *Polimeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación*. Lima. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd26/004200.pdf>
- CEPIS. (1975b). *Polimeros naturales y su aplicación como ayudates de floculación*. *Nucleic Acids Research* (Centro Pan, Vol. 34). Lima.
- CEPIS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida* (Tomo I). Lima.
- Chalco, M. (2016). *Determinación de la eficiencia del almidón de papa (Solanum Tuberosum) como auxiliar de coagulación del sulfato de aluminio en la remoción de turbidez del agua del río caplina*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna; Facultad de Ingeniería; Escuela Académico Profesional de Ingeniería Química.
- Chama, J. R. (2017). *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*. Universidad José Carlos Mariátegui, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela

- Profesional de Ingeniería Ambiental. Retrieved from http://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/ujcm/202/Jenni_Tesis_titulo_2017.pdf?sequence=1
- Dzul, J. (2013). La mayordomía y el medioambiente. In *Lección de Escuela Sabatica: Los Origenes* (Vol. 124(1967), pp. 68–74). Retrieved from <http://www.escuela-sabatica.com/files/2013/1/com/2013-01-10ComentarioESUvq92.pdf>
- Ebeling, J. M., Rishel, K. L., & Sibrell, P. L. (2005). Screening and evaluation of polymers as flocculation aids for the treatment of aquacultural effluents. *Aquacultural Engineering*, 33(4), 235–249. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.02.001>
- El comercio. (2018, April 23). Producción de papa se incrementó 3,7% en febrero. Retrieved from <https://elcomercio.pe/economia/peru/produccion-papa-incremento-3-7-febrero-noticia-514347>
- González, M., Hernández, C., & Kaehler, J. (1991). *Determinación de aluminio en el agua potable de Valencia y localidades cercanas*.
- Herrera, M. E. T. (2015). Evaluación Del Almidón De Papa Como Floculante Para El Tratamiento De Aguas Residuales Domesticas. @limentech, *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(2), 123–135. Retrieved from http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/1877/1027
- INIA. (2009). *Caracterización morfológica y agronomica de 61 variedades nativas de papa*.
- Jiménes, D., & Piscal, B. (2015). *Estudio y evaluación del almidón de maíz como*

alternativa natural en el proceso de coagulación de agua para consumo humano.

Universidad de Nariño; Facultad de Ingeniería; Programa de Ingeniería Civil; San Juan de Pasto.

Laines, J., Goñi, J., Adams, R., & Camacho, W. (2008). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. *Interciencia*, 33, 22–28.

López, R., Laines, J., Hernández, J., & Aparicio, M. (2014). Evaluación de almidones de malanga (*Colocasia esculenta*) como agentes coadyuvantes en la remoción de turbiedad en procesos de potabilización de agua. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13(3), 855–863.

Melian, D. (2010). *Ensayo comparativo de dos metodologías de extracción de almidón de papa usando muestras de diez variedades nativas de chiloé y dos variedades comerciales*. Universidad Austral de Chile; Escuela Ingeniería de los Alimentos.

MINSA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, D.S N° 031-2010-SA (2011).

OMS. (2011). *Guidelines for drinking-water quality*. (W. H. Organization, Ed.) (Fourth Edi). [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00006-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00006-6)

Rodriguez, J., Lugo, I., Rojas, A., & Malaver, C. (2007). Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora. *Umbral Científico*, 11, 8–16.

Romero, J. (1996). *Acuiquímica*. (Presehcia, Ed.) (Primera Edición). Colombia.

Romero, J. A. (2002). *Calidad del agua*. (Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Ed.) (Segunda Ed). Colombia.

- Roncal, S., & Siu, R. (1990). *Utilización de almidones como ayudantes de floculación en el tratamiento de aguas para consumo humano*. Universidad Nacional de Ingeniería; Facultad de Ingeniería Ambiental.
- Shahriari, T., Bidhendi, N., & Shahriari, S. (2012). Evaluating the efficiency of *Plantago ovata* and starch in water turbidity removal. *International Journal of Environmental Research*, 6(1), 259–264. <https://doi.org/10.22059/IJER.2011.491>
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y Diagnostico*. (Leonardo David López Escobar, Ed.) (Primera Edición). Colombia.
- Trejo, R., & Hernández, V. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable. *Conciencia Tecnológica*, 25. Retrieved from <http://www.nutritionfoundationofindia.org/ARCH>
- White, E. G. (2013). *Declaraciones de Elena De White sobre ciencias de la tierra*. (Centro de Investigación White, Ed.). Argentina.
- Yin, C. Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45(9), 1437–1444. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>

ANEXOS

ANEXO A. Panel fotográfico



Fotografía 1. Licuado de papa



Fotografía 2. Mezcla obtenida del licuado de papa



Fotografía 3. Filtrado de la mezcla del licuado



Fotografía 4. Centrifugado de la mezcla obtenida



Fotografía 5. Filtración de la muestra obtenida



Fotografía 6. Almidón obtenido del proceso de filtración



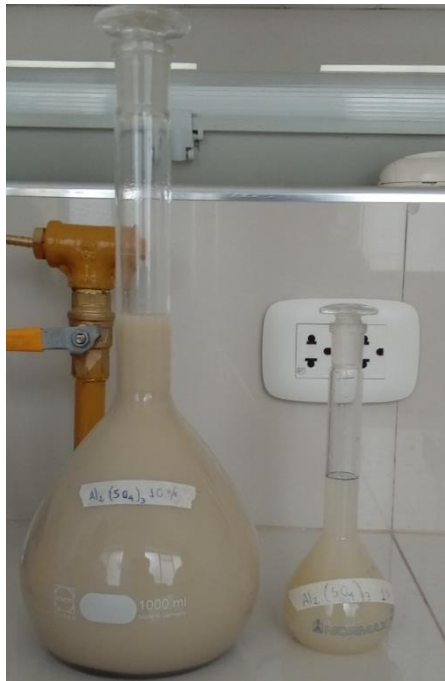
Fotografía 7. Proceso de secado del almidón obtenido



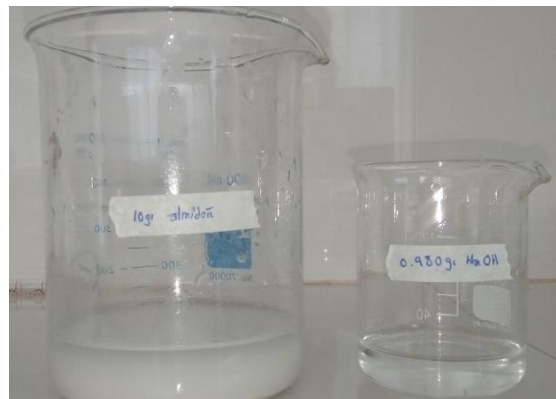
Fotografía 8. Tamizado del almidón obtenido



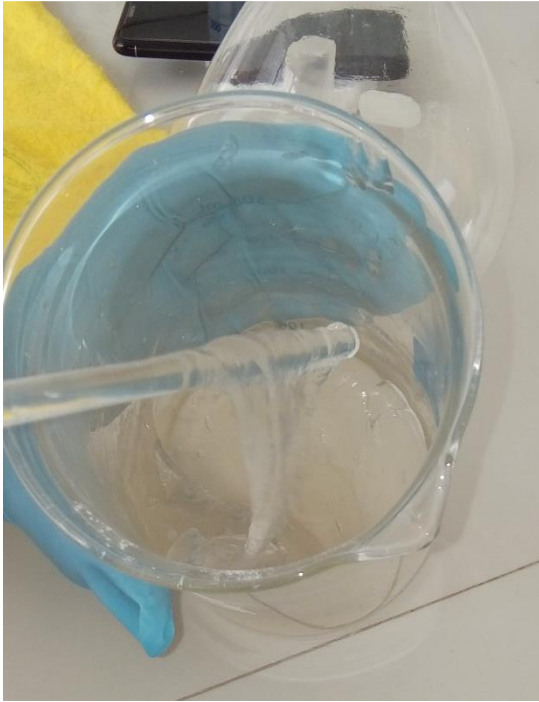
Fotografía 9. Almacenado del almidón obtenido



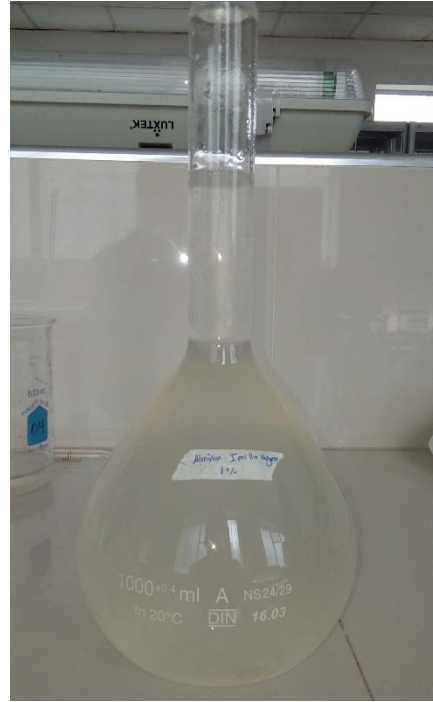
Fotografía 10. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ al 10 % y 1 %



Fotografía 11. Solubilización del almidón con NaOH



Fotografía 12. Almidón de papa gelatinizado



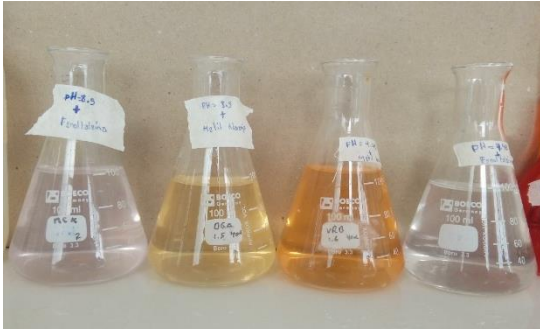
Fotografía 13. Solución de almidón de papa al 1%



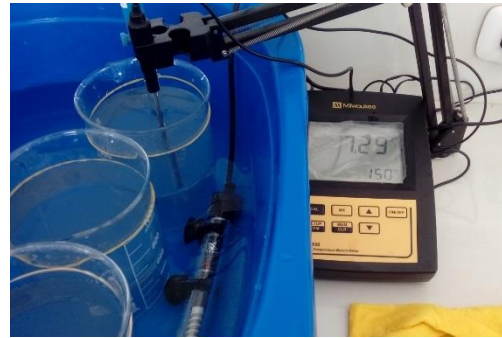
Fotografía 14. Muestra de agua a 40 UNT



Fotografía 15. Titulación para alcalinidad total



Fotografía 16. Viraje de color de alcalinidad total



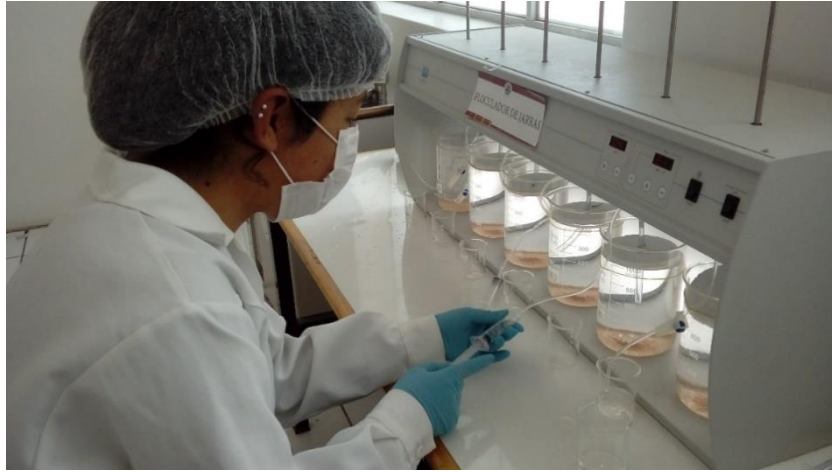
Fotografía 17. Estabilización de la T^a del agua



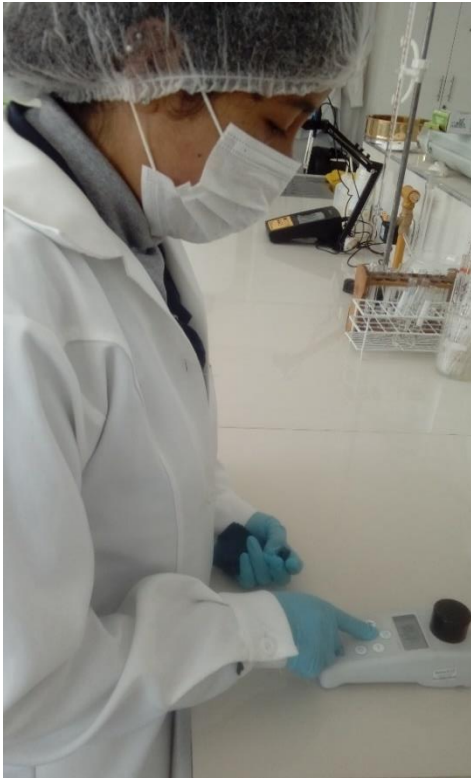
Fotografía 18. Proceso de coagulación-floculación con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$



Fotografía 19. Proceso de coagulación-floculación con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y almidón



Fotografía 20. Toma de muestras para análisis fisicoquímico



Fotografía 21. Medición de turbiedad



Fotografía 22. Medición de pH

ANEXO B. Método para prueba de jarras CEPIS

2.3 Consideraciones generales para la ejecución de ensayos en la prueba de jarras

En los ensayos experimentales se imponen ciertos controles que sirven para evaluar los efectos producidos al variar el valor del parámetro que está siendo medido. Cuando los ensayos se efectúan con el equipo de prueba de jarras, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) equipo usado para la prueba;
- 2) análisis de laboratorios requeridos;
- 3) dosis de coagulante;
- 4) concentración del coagulante;
- 5) sistema de adición del coagulante;
- 6) dosificación del ayudante de floculación;
- 7) sistema de adición del ayudante de floculación;
- 8) tiempo de duración y gradiente de velocidad de la mezcla rápida;
- 9) tiempo de duración y gradiente de velocidad de la mezcla lenta;
- 10) sistema de toma de muestra.

Entre las observaciones generales que se deben tener en cuenta al ejecutar la prueba de jarras, tenemos:

- a) El tiempo y secuencia de dosificación: en algunas oportunidades el coagulante se adiciona a cada vaso (muestra) a diferentes tiempos según su turno. Tal procedimiento es inefectivo, particularmente cuando se usan ayudantes de coagulación, debido a que el tiempo entre la adición del coagulante y el ayudante siempre es crítico.
- b) En todos los casos, después de dosificados y mezclados los coagulantes con el agua, se deben tener en cuenta las siguientes observaciones:

2.3.1 Soluciones químicas empleadas (1)

Las soluciones de coagulantes, ayudantes de coagulación y otros productos químicos que se van a usar en las pruebas de coagulación deben ser preparados en concentraciones tales que puedan ser medidas de manera conveniente y precisa. Véase el cuadro 11-5.

En los laboratorios de las plantas de tratamiento es mejor preparar las soluciones para los ensayos con los mismos coagulantes que se usan en la planta y no con reactivos purificados de laboratorio.

Cuadro 11-5. Soluciones patrón para la prueba de coagulación (9)

Producto químico	Concentración de la solución patrón o suspensión	Prepare una solución nueva después de	Notas
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	10% (0,86% Al)	1 ó 2 meses	
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	10% (2% Fe)	1 mes	Renovar la solución si se pone opalescente.
Almidón soluble	0,5%	2 días	Diluir 10 veces inmediatamente antes del uso.
Derivados de poliacrilamida	0,05%	1 mes	La solución debe tener, por lo menos, un día. Diluir 10 veces antes de su uso.
H_2SO_4	0,1 N	3 meses	
NaOH	0,1 N	1 mes	
Tierra fuller	0,5%	3 meses	Agitar bien antes de usar.

El reactivo principal es la solución de sulfato de aluminio, cloruro o sulfato férrico. Se prepara agregando agua destilada a 100 g de coagulante hasta completar el volumen de 1.000 mL, con lo que se obtiene una solución de 10% que se puede conservar como solución patrón, por uno, dos o tres meses.

El ensayo de prueba de jarras se hace diluyendo 10 mL de la solución patrón hasta completar 100 mL con agua destilada. Queda una solución al 1% que no se puede conservar por más de 24 horas *pues corre el riesgo de hidrolizarse y perder buena parte de su capacidad de coagulación.*

Cuando es necesario, debido a la baja alcalinidad de la muestra, hay que preparar una suspensión de cal añadiendo agua destilada a 10 g de dicho material hasta completar un volumen total de 1.000 mL. Debe anotarse el compuesto de cal que se ha utilizado, CaO o $\text{Ca}(\text{OH})_2$, y evitar el contacto de la suspensión así preparada con el aire, cuyo contenido de CO_2 puede reaccionar con el óxido de

calcio para formar carbonato que precipita. Antes de usar la suspensión, hay que agitarla.

2.3.2 Tamaño del flóculo producido

Se observa el tamaño del flóculo producido y se lo evalúa cualitativamente según sus características. Su tamaño puede expresarse en mm de acuerdo con el comparador desarrollado por el Water Research Institute de Inglaterra o según el índice de Willcomb, que se incluye en el cuadro 6 y la figura 11-9. Se escoge como dosis óptima la de la jarra que produce una partícula más grande, aunque no siempre el mayor tamaño de partículas produce la mayor velocidad de asentamiento aparente y que deje ver el agua más cristalina entre los flóculos.

2.3.3 Tiempo inicial de formación del flóculo

Determinar, en segundos, el tiempo que tarda en aparecer el primer indicio de formación de flóculo es uno de los sistemas para cuantificar la velocidad de la reacción. La iluminación de la base del agitador ayuda en esta determinación, que ni aún así suele ser fácil, pues cuando el flóculo recién se forma, es casi incoloro. Por otra parte, el flóculo que se forma más rápido no necesariamente es el mejor.

En esta evaluación debe tenerse en cuenta la diferencia de tiempo con que se agregaron los coagulantes a los vasos de precipitado. Si no se dispone de un sistema de aplicación simultánea que vierta la solución en las seis jarras al mismo tiempo, el coagulante tiene que agregarse con intervalos de 10 a 30 segundos en cada vaso y debe marcarse en los mismos, con lápiz de cera, el tiempo de aplicación en la forma siguiente: $t = 0$ (para el vaso 1), $t = 10 s$ (para el vaso 2), $t = 20 s$ (para el vaso 3), etcétera. El tiempo de aparición del primer flóculo será igual al tiempo inicial de aplicación del coagulante a la primera jarra, hasta que se note el primer indicio de flóculo, menos el tiempo que tarde en hacerse la aplicación a la jarra considerada.

Esta determinación es bastante subjetiva y depende del criterio del observador.

Cuadro 11-6. Índice de floculación de Willcomb (9)

Número del índice	Descripción
0	Flóculo coloidal. Ningún signo de aglutinación.
2	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado.
4	Disperso. Flóculo bien formado pero uniformemente distribuido. (Sedimenta muy lentamente o no sedimenta.)
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Flóculo que se deposita fácil pero no completamente.
10	Excelente. Flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina.

- **Determinación de la dosis óptima**

a) Propósito

El objetivo de este ensayo es determinar la dosis de coagulante que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales, que permita la formación de un flóculo grande, compacto y pesado, que pueda ser fácilmente retenido en los decantadores y que no se rompa y traspase el filtro. Debe observarse que no necesariamente el flóculo que sedimenta con rapidez es el que queda retenido en el filtro. El flóculo que se busca es el que dé el mayor rendimiento, con todo el conjunto de procesos.

b) Equipos, materiales y reactivos

- Equipo de prueba de jarras con 6 jarras de 2 litros, 6 deflectores, 6 tomadores de muestras y 6 jeringas hipodérmicas desechables de 10 cm³, con sus agujas.

- Turbidímetro con la sensibilidad suficiente para determinar con precisión turbiedades menores de 10.
- UNT, de preferencia un equipo nefelométrico de tipo digital.
- Colorímetro.
- Medidor de pH.
- Seis vasitos de 50 y 100 mL, de vidrio o plástico.
- El coagulante seleccionado.

c) *Procedimiento*

- 1) Determinar la temperatura, la turbiedad, el color, el pH, la alcalinidad y la dureza total del agua cruda con la que se va a trabajar. Determinar también la presencia de hierro y manganeso si esta es significativa.
- 2) Calcular la cantidad de coagulante que se va a aplicar a cada jarra mediante la ecuación de balance de masas:

$$P = D \times Q = q \times C$$

Donde:

P	=	peso de coagulante por aplicar
D	=	dosis de coagulante en mg/L
Q	=	capacidad de la jarra en litros
q	=	volumen de solución por aplicar (mL)
C	=	concentración de la solución en mg/L

Ejemplo:

Se debe aplicar una dosis de 10 mg/L a una jarra de 2 litros con una solución al 2%.

Calcular el volumen de solución que debe colocarse en la jeringa.

$$q = \frac{10 \text{ (mg/L)} \times 2 \text{ (L)} \times 1.000}{20.000 \text{ (mg/L)}} ; q = 1,0 \text{ mL}$$

- 3) Colocar las cantidades del coagulante que se va a aplicar a las jarras en cada vasito mediante una pipeta. Succione el contenido del vasito con una jeringa hipodérmica con la aguja puesta, para extraer hasta la última gota.
- 4) Retire la aguja y coloque la jeringa delante de la jarra correspondiente. Ponga en funcionamiento el equipo de prueba de jarras programando las memorias de la siguiente manera:

Memoria 1 = tiempo: 5 segundos, Velocidad = 300 rpm

Memoria 2 = tiempo: 20 minutos, Velocidad = 40 rpm

Si en el ábaco de la figura 5 entramos a las curvas que corresponden a una prueba con estatores con una velocidad de 300 rpm y temperatura promedio de 20 °C, podemos comprobar que en estas condiciones se consigue un gradiente de velocidad de aproximadamente 770 s⁻¹. Asimismo, durante la etapa de floculación con 40 rpm se estará aplicando un gradiente de velocidad de 52 s⁻¹ que corresponde a un gradiente de floculación promedio.

- 5) Inicie el funcionamiento del equipo, aplicando en forma simultánea e instantánea el coagulante a todas las jarras. Cuide de que la solución penetre profundamente para que la dispersión sea más rápida. Recuerde que para que el proceso sea bien simulado, el coagulante debe aplicarse en el punto de máxima turbulencia.
- 6) Si el agua requiere un alcalinizante, este debe añadirse antes del coagulante. No es necesario contabilizar el tiempo entre la aplicación de ambos. La dosis de alcalinizante se decidirá en una prueba especial, en la que manteniendo la dosis de coagulante constante, se aplicarán dosis variables de una suspensión de cal al 1% (10 gramos de cal en un litro de agua).
- 7) Cuando el proceso de floculación se inicie, estaremos atentos a identificar en qué jarra aparece primero formación de flóculos y anotaremos el tiempo en que esto ha ocurrido.
- 8) Instantes antes de que el proceso de floculación concluya, observe el tamaño del flóculo que se ha desarrollado y compárelo con la tabla de la figura 11-8.

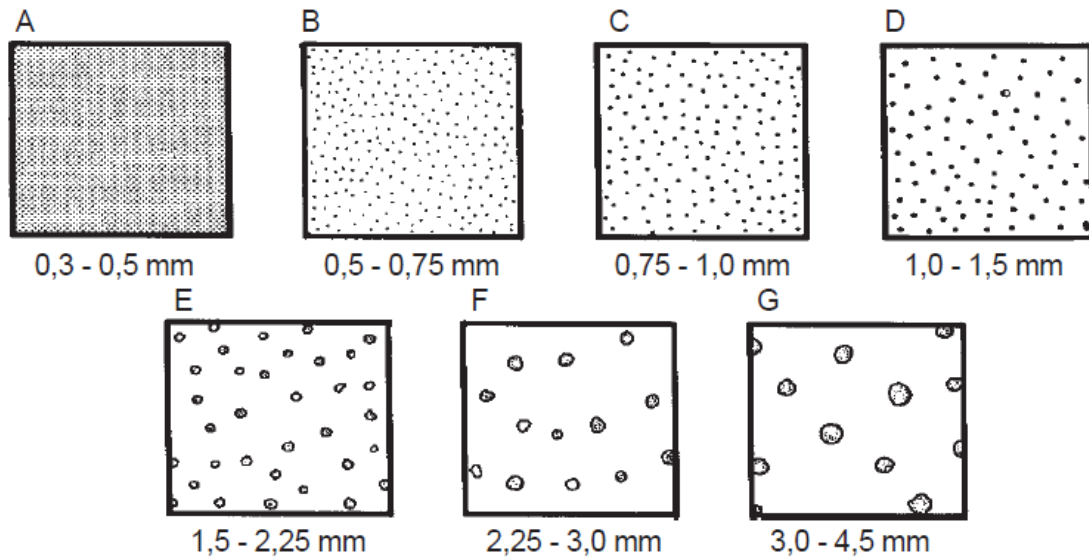


Figura 11-8. Comparador para estimar el tamaño del flóculo producido en la coagulación (según WRA)

- 9) Una vez que el equipo ha concluido con los tiempos de mezcla y floculación, se apaga automáticamente y se procede a retirar las jarras, colocar los tomadores de muestras, cebar los sifones utilizando una jeringa, atracar el extremo del sifón utilizando una liga o bandita (colocada alrededor de la jarra), y dejaremos sedimentar el agua entre 5 y 15 minutos.
- 10) Cumplido el tiempo de sedimentación seleccionado, descartar los primeros 10 mL de muestra retenidos en el sifón y tomar las muestras a todas las jarras en un volumen de aproximadamente 30 mL. Medir turbiedad y color. Si se requiere mayor cantidad de muestra para análisis adicionales (pH, hierro, manganeso, etcétera), tomarla posteriormente.
- 11) Los resultados se grafican en papel aritmético. Se selecciona como dosis óptima aquella que produce la menor turbiedad.

- **Determinación de la concentración óptima**

- a) *Antecedentes*

Diversos estudios han demostrado que la concentración del coagulante influye en la eficiencia de la mezcla rápida, lo que modifica los resultados del proceso de coagulación.

Es necesario trasladar esta experiencia a las plantas de tratamiento, previa selección del valor óptimo a nivel de laboratorio.

- b) *Propósito*

Determinar la concentración de coagulante que optimice el proceso.

- c) *Procedimiento*

- 1) Determinar la dosis óptima. Para esto, debe emplearse una solución de coagulante al 1% (10 g/L), la cual tiene un pH de 4,0 a 4,5.
- 2) Preparar una solución patrón del coagulante al 10% (100 g/L), preparar soluciones al 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0 y, finalmente, se utilizará también la solución patrón al 10%.
- 3) Llenar las jeringas de acuerdo con el procedimiento indicado para la dosis óptima, pero colocando en todas la misma dosis óptima ya determinada, con las diferentes concentraciones de solución preparadas.

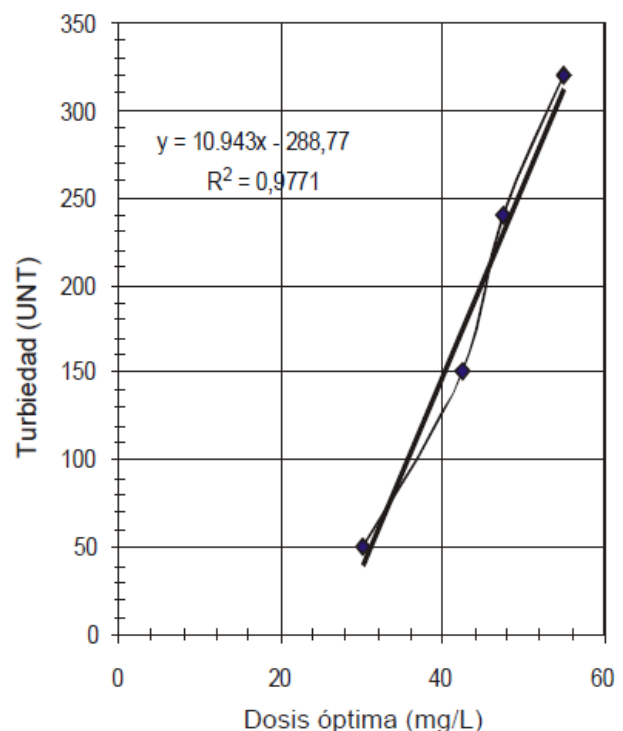


Figura 11-9. Correlación turbiedad *versus* dosis óptima

- 4) Efectuar la mezcla rápida, la floculación y la decantación de acuerdo con lo indicado en la prueba anterior.
- 5) Durante el proceso, evalúe el tamaño del flóculo (índice de Willcomb) y la velocidad de la reacción.
- 6) Determine la turbiedad o el color residual de cada muestra.
- 7) Con los datos obtenidos, dibuje un histograma como el de la figura 11-9.

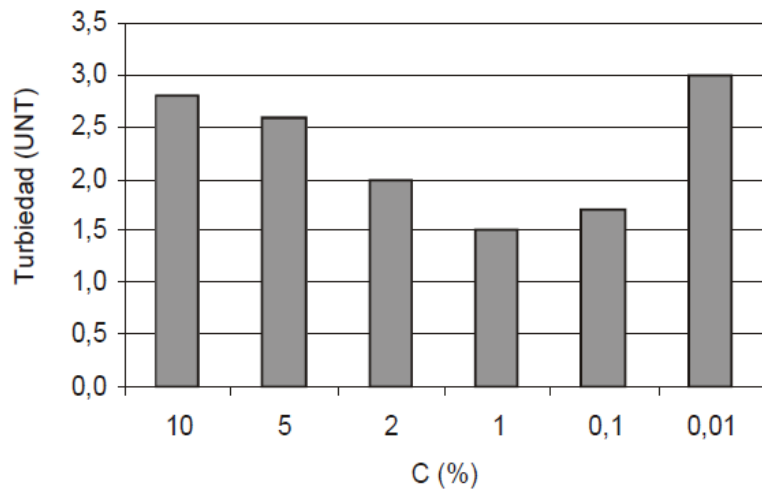


Figura 11-10. Concentración óptima del coagulante

- **Determinación del pH óptimo de coagulación**

- a) *Propósito*

Determinar el rango de pH óptimo de la muestra estudiada, en relación con el coagulante o ayudante de coagulación utilizado.

- b) *Equipos y materiales*

Equipo de prueba de jarras, con todos los aditamentos indicados en las pruebas anteriores; turbidímetro, de preferencia nefelométrico; equipo para determinar el pH de la muestra; colorímetro con sensibilidad para determinar con precisión las unidades de color remanente en el agua tratada. Ácido sulfúrico diluido 0,1 N, hidróxido de sodio diluido 0,1 N y el coagulante seleccionado.

c) *Procedimiento*

- 1) Si el problema del agua es turbiedad, efectuar la prueba dentro de un rango de pH de 6 a 9. Si el problema es color, en un rango de 4 a 7.
- 2) Se prepararán los diferentes pH colocando el agua para las seis jarras en un solo recipiente y si el pH que se desea obtener en esta muestra es más bajo que el pH natural del agua, agregar ácido sulfúrico. Si es mayor, aplicar hidróxido de sodio. Se agregará gota a gota el modificador, agitando con una varilla para homogeneizar. Se puede mantener el bulbo del medidor de pH dentro de la muestra para determinar el cambio del pH.

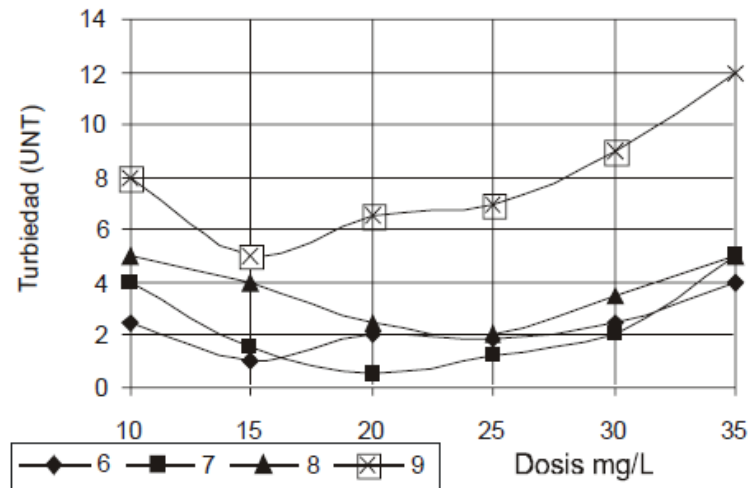


Figura 11-11. Determinación del pH y la dosis óptima

- 3) Una vez ajustado el pH, se efectúa una prueba de dosis óptima y se determina la dosis que produce el efluente de mejor calidad.
- 4) Se continúa de igual forma con los demás pH. Se dibujan todas las curvas en un solo gráfico. La curva que presente el punto de mínima más bajo —es decir, el efluente más claro— estará indicando el pH y la dosis óptimos.
- 5) Se recomienda efectuar un estudio económico considerando el consumo de coagulante en el caso de efectuar el tratamiento con el pH natural del agua *versus* el tratamiento con modificadores de pH y dosis óptima generalmente menor. También convendría evaluar si la reducción de turbiedad y color es significativa, así como la mayor duración de las carreras de filtración que se obtendrían, y compararlas con el mayor costo de operación, mantenimiento e instalaciones adicionales.

- **Selección de ayudantes de coagulación**

- a) *Antecedentes*

Existe una gran variedad de ayudantes de coagulación. Algunos solo se pueden usar en procesos industriales o en aguas servidas, porque son tóxicos o cancerígenos. Otros, en cambio, están aprobados para uso en agua potable. Por tanto, *la primera condición que debe reunir un polielectrolito es que no sea peligroso para la salud*. La EPA publica periódicamente las listas de polielectrolitos que pueden usarse en aguas para consumo humano.

Asimismo, aunque un determinado ayudante de coagulación esté aprobado para el uso en tratamiento de agua, ello no garantiza que dé buenos resultados con cualquier tipo de agua. Por el contrario, algunos de ellos no solo no mejoran sino que pueden perjudicar el proceso, debido a que en cierto tipo de aguas dispersan el flóculo. Todo depende de la carga eléctrica que posean (pueden ser catiónicos, aniónicos o no iónicos), así como de la carga eléctrica de las partículas en suspensión y de la energía necesaria para la absorción de los polímeros.

La única forma de seleccionar el polímero más efectivo para cada tipo de agua es hacer pruebas de jarras en el laboratorio con un buen número de ellos para determinar cuál es el que más conviene, tanto técnica como económicamente. Muchas veces el resultado puede indicar que no conviene usar un ayudante de coagulación, porque no es suficientemente eficiente o porque encarece demasiado el costo de producción. Con la finalidad de evitar el riesgo que siempre existe por el empleo generalizado de sustancias químicas, también se recomienda ensayar primero con productos naturales como almidones, celulosas, alginato, goma de cactus y gelatina común.

- a) *Objetivo*

Comparar la eficiencia de remoción de turbiedad y/o color de varios polielectrolitos, a fin de escoger el que mejor se adapte a las características del agua que se quiere analizar.

- b) *Equipos y materiales*

Los mismos equipos y materiales indicados en las pruebas anteriores y los polielectrolitos entre los cuales se efectuará la selección.

c) *Procedimiento*

- 1) Efectuar una prueba de jarras en forma convencional para determinar la dosis óptima de coagulante metálico (sulfato de aluminio o cloruro férrico).
- 2) Preparar una nueva prueba de jarras en la que se adicionará a cada jarra la dosis óptima de coagulante seleccionada, además de dosis variables de polielectrolito (entre 0,1 y 1,0 mg/L o entre 0,01 y 0,5 mg/L, de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes), excepto a la primera jarra, para que sirva de comparación con las demás.
- 3) Durante el proceso, determinar el índice de Willcomb y el tiempo inicial de formación del flóculo en cada jarra.
- 4) Suspendida la agitación al cabo de 15 a 30 minutos, dejar sedimentar el agua por 10 minutos, tomar el sobrenadante y determinar la turbiedad o color residual y el pH. Repetir con el mayor número de polielectrolitos disponibles a fin de hacer una selección preliminar.
- 5) Una vez seleccionado el polielectrolito que dio los mejores resultados, se efectúan nuevos ensayos disminuyendo la dosis de coagulante metálico (por ejemplo, 75% de la óptima) y agregar polielectrolito en cantidad variable, o mantener constante la dosis de polielectrolito determinada con anterioridad, variando la dosis de coagulante hasta obtener la combinación más económica. Si la calidad del agua varía durante el año, deben hacerse ensayos para diferentes condiciones de turbiedad y color.

Por lo general, se obtienen resultados diferentes cuando se agrega el polielectrolito antes y después del coagulante. Comúnmente esta última alternativa es la mejor, pero deben ensayarse ambas, a fin de constatar cuál es la secuencia más apropiada.

ANEXO C. Método para análisis de turbiedad



Designation: D 1889 – 00

An American

Standard Test Method for Turbidity of Water¹

This standard is issued under the fixed designation D 1889; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. ALCANCE

- 1.1 Este método de ensayo permite determinar la turbidez en agua y agua residual
- 1.2 Este método de ensayo es aplicable para medir turbidez en el rango de 1.0 a 40 unidades nefelométricas de turbidez (NTU).
- 1.3 Se pueden medir rangos de turbidez más altos usando este método de ensayo, por dilución en serie hasta lograr el rango aplicable.
- 1.4 Este método de ensayo fue probado en agua potable municipal y descargas de efluentes finales. Es responsabilidad del usuario asegurar la validez de este método de ensayo para aguas de matrices no probadas.
- 1.5 Este estándar no tiene el propósito de mencionar todas las actividades de seguridad, si hay algunas asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer las prácticas de seguridad y salud apropiadas y determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su uso. Declaraciones de peligros específicos son dadas en la Nota 5. Refiérase todo el material a la hoja de datos de seguridad para preparar o para usar los estándares y antes de calibrar o optimizar el equipo con el mantenimiento.

12. PROCEDIMIENTO

- 12.1 Estandarice el instrumento con un valor (NTU) del patrón de turbidez en el rango de medición de interés.
 - 12.1.1 Permita que el equipo se estabilice según las instrucciones del fabricante.
 - 12.1.2 Enjuague una celda marcada (con bolígrafo de punta de felpa), limpia, seca y libre de ralladuras con un patrón de turbidez (AEPA-I o Formazin) en el rango de interés. Llene la celda con este patrón de turbidez. Limpie el exterior de la celda.
 - 12.1.3 Coloque la celda llena, limpia y marcada, y lea el valor. Será una lectura NTU para tipos fotoeléctrico y una lectura de disco para nefelómetro tipos ranura.
 - 12.1.4 A partir de la curva de calibración para este rango del instrumento, determine la lectura requerida para el patrón de turbidez en la celda.
 - 12.1.4.1 Mueva el ajuste de calibración para dar al nefelómetro fotoeléctrico la lectura NTU requerida.

12.1.4.2 La lectura del disco de ranura determinada a partir de la curva de calibración para el patrón de turbidez en la celda, deberá estar dentro del 5% de la lectura del disco. Si no, vuelva a limpiar la celda y recalibre.

12.2 Medición de la Turbidez del Agua:

12.2.1 *Turbidez Menor de 40 NTU* – Agite la muestra para dispersar completamente los sólidos. Deje que las burbujas de aire desaparezcan, luego continúe.

12.2.2 *Turbidez Mayor de 40 NTU* – Diluya la muestra con uno o más volúmenes iguales de agua grado reactivo hasta que la turbidez esté por debajo de 40 NTU, después de la mezcla y la desgasificación. Luego trate esta turbidez menor de 40 NTU de acuerdo con 12.2.1. La turbidez de la muestra original puede entonces calcularse basada en los datos de dilución y el volumen de muestra original (El tamaño de partículas puede afectar la dilución).

12.2.3 Después del chequeo o ajuste de calibración, desocupe la celda (no cambie las celdas para medición) del patrón de turbidez y enjuague la celda vacía con la muestra de agua que va a ser analizada.

ANEXO D. Método para análisis de pH



Designation: D 1293 – 99 (Reapproved 2005)

Standard Test Methods for pH of Water¹

This standard is issued under the fixed designation D 1293; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods cover the determination of pH by electrometric measurement using the glass electrode as the sensor. Two test methods are given as follows:

	Sections
Test Method A—Precise Laboratory Measurement	8 to 15
Test Method B—Routine or Continuous Measurement	16 to 24

1.2 Test Method A covers the precise measurement of pH in water utilizing at least two of seven standard reference buffer solutions for instrument standardization.

1.3 Test Method B covers the routine measurement of pH in water and is especially useful for continuous monitoring. Two buffers are used to standardize the instrument under controlled parameters, but the conditions are somewhat less restrictive than those in Test Method A.

1.4 Both test methods are based on the pH scale established by NIST (formerly NBS) Standard Reference Materials.²

1.5 Neither test method is considered to be adequate for measurement of pH in water whose conductivity is less than about 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Refer to Test Methods D 5128 and D 5464.

1.6 Precision and bias data were obtained using buffer solutions only. It is the user's responsibility to assure the validity of these test methods for untested types of water.

1.7 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

13. Procedure

13.1 Standardize the assembly with two reference buffer solutions as described in 12.2 to 12.5 and then wash the electrodes with three changes of water or by means of a flowing stream from a wash bottle.

13.2 Place the water sample in a clean glass beaker provided with a stirring bar and either a thermometer (for meters with manual temperature compensation) or an ATC probe (for meters with automatic temperature compensation).

13.3 Stir during the period of pH measurement at a rate that will prevent splashing and that will avoid loss or gain of acidic or basic gases by interchange with the atmosphere. When necessary, stir briskly enough to intermix the phases of a nonhomogeneous water sample. Stop the stirrer during periods of measurement if fluctuations in readings are observed. (See Appendix X1.3.4 and X1.4.3).

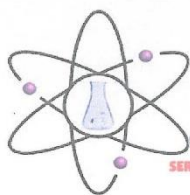
13.4 Insert the electrodes and determine a preliminary pH value (since this value may drift somewhat, it should be considered an estimated value). Measure successive portions of the water sample until readings on two successive portions differ by no more than 0.03 pH unit, and show drifts of less than 0.02 pH unit in 1 min. Two or three portions will usually be sufficient if the water is well buffered.

13.5 Record the pH and temperature of the sample.

13.6 Measure the pH of slightly buffered waters (that are in equilibrium with air) essentially as described in 13.1 to 13.5, but measure the pH of successive portions until the readings for two successive portions differ by no more than 0.1 pH unit. Six or more portions may be necessary.

NOTE 2—Take special precautions if the sample is not in equilibrium with the carbon dioxide of the atmosphere protecting the sample from exposure to the air during measurement. *Measurement of unbuffered or slightly buffered samples is more reliably made in flow-type cells as described in Note 4.* Test Methods D 5464 describe additional precautions that should be taken if the electrical conductivity of the sample is less than about 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

ANEXO E. Informes de laboratorio



RHLAB S.A.C.
SERVICIOS ANALÍTICOS QUÍMICO - METALÚRGICO

RH-M21-115

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : **Bach. Srta: Ruth Mery Tito Surco**

ASUNTO : **Procesos de Centrifugación de almidón de tres variedades de papa**

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA
DENOMINACIÓN DE MUESTRA : **Sani Imilla
Imilla Negra
Ccompis**

CANTIDAD DE MUESTRAS : **03**

SOLICITUD DE ENSAYO : **Centrifugación a 3000rpm *15min**

MOTIVO : **Ejecución del proyecto de tesis denominado:
"Evaluación de la eficacia de tres variedades de papa (*Solanum Tuberosum*) como auxiliar del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano en condiciones alto andinas, 2018"**

FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO : **01/10/2018 al 04/10/2018**

DETALLE DEL INFORME

RESULTADO DE ENSAYO

N°	Código de Cliente	Volúmen (ml)
1	Sani imilla	450 ml
2	Imilla negra	500 ml
3	Ccompis	450 ml

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

MÉTODOS DE REFERENCIA

* El procedimiento se ha realizado en el equipo Centrifugo made in Hungary de características rpm de 0 a 8000 (rpm); Voltaje 220 V; KW 0.5


Ina Patel Huananpata Luque
CIP 167755
GERENTE DE OPERACIONES

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
Cel: 978645480 - 935008140



RESULTADO DE ANÁLISIS
UPEU – FIA/ING-AMBIENTAL 2018-008

Una Institución Adventista

CLIENTE : Bach. Ruth Mery Ttito Surco
DIRECCIÓN : Jr. Ramón Buscaglia N° 207
LUGAR DE MUESTREO : Muestra artificial
TIPO DE MUESTRA : Agua superficial
F. RECEPCIÓN DE MUESTRA : 11/10/2018
F. INICIO DE ENSAYOS : 11/10/2018
MUESTREADO POR : Laboratorio de Saneamiento Ambiental

ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA				
Análisis	Unidad	Valor obtenido	Método	Equipo
Fisicoquímicos				
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	135	Titulación	
Turbidez	NTU	40	Nefelométrico	Turbidímetro Marca VELP SCIENTIFICA modelo TB1
pH	Unidad de pH	7.13	Potenciométrico	Potenciómetro de mesa Marca MILWAUKEE modelo Mi 150
Temperatura	°C	15	Potenciométrico	

Análisis de Calidad de aguas			
Código de ensayos	Unidad	Parámetro	
		PH	Turbiedad
DO-01	ml	7.4	7.61
DO-02	ml	7.37	4.68
DO-03	ml	7.35	4.41
DO-04	ml	7.35	4.05
DO-05	ml	7.34	3.55
DO-06	ml	7.07	6.75
DO-07	ml	6.79	6.79
DO-08	ml	7.11	4.45
DO-09	ml	7.06	5.14
DO-10	ml	7.07	5.01
DO-11	ml	7.19	7.75
CO-01	ml	7.05	9.66
CO-02	ml	7.02	3.77
CO-03	ml	7.11	7.53
CO-04	ml	7.05	10.71
CO-05	ml	7.03	16.5
CO-06	ml	7.15	18.25

Juliaca, 12 de octubre del 2018


Jefe de Laboratorio
ING. AMBIENTAL - UPEU FJ



RESULTADO DE ANÁLISIS
UPEU – FIA/ING-AMBIENTAL 2018-009

Una Institución Adventista

CLIENTE : Bach. Ruth Mery Ttito Surco
DIRECCIÓN : Jr. Ramón Buscaglia N° 207
LUGAR DE MUESTREO : Muestra artificial
TIPO DE MUESTRA : Agua superficial
F. RECEPCIÓN DE MUESTRA : 15/10/2018
F. INICIO DE ENSAYOS : 15/10/2018
MUESTREADO POR : Laboratorio de Saneamiento Ambiental

ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA				
Análisis	Unidad	Valor obtenido	Método	Equipo
Fisicoquímicos				
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	140	Titulación	
Turbidez	NTU	40	Nefelometría	Turbidímetro Marca VELP SCIENTIFICA modelo TB1
pH	Unidad de pH	Variable	Potenciométrico	Potenciómetro de mesa Marca MILWAUKEE modelo Mi 150
Temperatura	°C	15	Potenciométrico	

Análisis de Calidad de aguas			
Código de muestra	Unidad	Parámetro	
		PH	Turbiedad
PO-01	ml	6.6	11.48
PO-02	ml	7.04	7.05
PO-03	ml	7.07	2.41
PO-04	ml	7.52	2.71
PO-05	ml	7.63	3.09

Juliaca, 16 de octubre del 2018

Jefe de Laboratorio
 G. AMBIENTAL - UPEU FJ



RESULTADO DE ANÁLISIS
UPEU – FIA/ING-AMBIENTAL 2018-010

Una Institución Adventista

CLIENTE : Bach. Ruth Mery Ttito Surco
DIRECCIÓN : Jr. Ramón Buscaglia N° 207
LUGAR DE MUESTREO : Muestra artificial
TIPO DE MUESTRA : Agua superficial
F. RECEPCIÓN DE MUESTRA : 17/10/2018
F. INICIO DE ENSAYOS : 17/10/2018
MUESTREADO POR : Laboratorio de Saneamiento Ambiental

ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA				
Análisis	Unidad	Valor obtenido	Método	Equipo
Fisicoquímicos				
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	142	Titulación	
Turbidez	NTU	40	Nefelometría	Turbidímetro Marca VELD SCIENTIFICA modelo TB1
pH	Unidad de pH	7.44	Potenciométrico	Potenciómetro de mesa Marca MILWAUKEE modelo Mi 150
Temperatura	°C	15	Potenciométrico	

Análisis de Calidad de aguas			
N° de ensayos	Unidad	Parámetro	
		PH	Turbiedad
IN-DO-1	ml	7.75	5.32
IN-DO-2	ml	7.61	2.54
IN-DO-3	ml	7.61	2.04
IN-DO-4	ml	7.62	2.23
IN-DO-5	ml	7.58	2.65
IN-DO-6	ml	7.6	2.76

Juliaca, 18 de octubre del 2018


 de Laboratorio
 AMBIENTAL - UPEU FJ



Una Institución Adventista

RESULTADO DE ANÁLISIS

UPEU – FIA/ING-AMBIENTAL 2018-011

CLIENTE : Bach. Ruth Mery Ttito Surco
DIRECCIÓN : Jr. Ramón Buscaglia N° 207
LUGAR DE MUESTREO : Muestra artificial
TIPO DE MUESTRA : Agua superficial
F. RECEPCIÓN DE MUESTRA : 22/10/2018
F. INICIO DE ENSAYOS : 22/10/2018
MUESTREADO POR : Laboratorio de Saneamiento Ambiental

ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA				
Análisis	Unidad	Valor obtenido	Método	Equipo
Físicoquímicos				
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	150	Titulación	
Turbidez	NTU	40	Nefelometría	Turbidímetro Marca VELP SCIENTIFICA modelo TB1
pH	Unidad de pH	7.34	Potenciométrico	Potenciómetro de mesa Marca MILWAUKEE modelo Mi 150
Temperatura	°C	15	Potenciométrico	

Análisis de Calidad de aguas			
Código de muestra	Unidad	Parámetro	
		PH	Turbiedad
IN-D1-R1	ml	7.01	4.00
IN-D1-R2	ml	7.06	4.68
IN-D1-R3	ml	7.12	4.32
IN-D2-R1	ml	7.02	1.52
IN-D2-R2	ml	7.06	1.62
IN-D2-R3	ml	7.09	2.52
IN-D3-R1	ml	7.04	1.72
IN-D3-R2	ml	7.02	1.93
IN-D3-R3	ml	7.19	1.49
IN-D4-R1	ml	7.03	1.79
IN-D4-R2	ml	7.01	1.96
IN-D4-R3	ml	7.43	1.99
IN-D5-R1	ml	7.06	1.92
IN-D5-R2	ml	7.04	2.10
IN-D5-R3	ml	7.28	2.09
IN-D6-R1	ml	7.01	2.43
IN-D6-R2	ml	7.04	2.27
IN-D6-R3	ml	7.16	2.31
IN-D7-R1	ml	7.59	3.43
IN-D7-R2	ml	7.56	2.37
IN-D7-R3	ml	7.54	2.33
IN-D8-R1	ml	7.53	3.44
IN-D8-R2	ml	7.57	3.32
IN-D8-R3	ml	7.59	4.06

Juliaca, 23 de octubre del 2018


Jefe de Laboratorio
 ING. AMBIENTAL - UPEU FJ



RESULTADO DE ANÁLISIS
UPEU – FIA/ING-AMBIENTAL 2018-012

Una Institución Adventista

CLIENTE : Bach. Ruth Mery Ttito Surco
DIRECCIÓN : Jr. Ramón Buscaglia N° 207
LUGAR DE MUESTREO : Muestra artificial
TIPO DE MUESTRA : Agua superficial
F. RECEPCIÓN DE MUESTRA : 25/10/2018
F. INICIO DE ENSAYOS : 25/10/2018
MUESTREO POR : Laboratorio de Saneamiento Ambiental

ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA				
Análisis	Unidad	Valor obtenido	Método	Equipo
Fisicoquímicos				
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	153	Titulación	
Turbidez	NTU	40	Nefelometría	Turbidímetro Marca VELP SCIENTIFICA modelo TB1
pH	Unidad de pH	7.36	Potenciométrico	Potenciómetro de mesa
Temperatura	°C	15	Potenciométrico	Marca MILWAUKEE modelo Mi 150

Análisis de Calidad de aguas			
Nº de ensayos	Unidad	Parámetro	
		PH	Turbiedad
CC-DO-01	ml	7.25	2.94
CC-DO-02	ml	7.3	1.95
CC-DO-03	ml	7.36	2.3
CC-DO-04	ml	7.27	2.65
CC-DO-05	ml	7.27	3.4
CC-DO-06	ml	7.31	3.6

Juliaca, 26 de octubre del 2018


Jefe de Laboratorio
ING. AMBIENTAL - UPEU FJ



RESULTADO DE ANÁLISIS
UPEU – FIA/ING-AMBIENTAL 2018-013

Una Institución Adventista

CLIENTE : Bach. Ruth Mery Ttito Surco
DIRECCIÓN : Jr. Ramón Buscaglia N° 207
LUGAR DE MUESTREO : Muestra artificial
TIPO DE MUESTRA : Agua superficial
F. RECEPCIÓN DE MUESTRA : 29/10/2018
F. INICIO DE ENSAYOS : 29/10/2018
MUESTREADO POR : Laboratorio de Saneamiento Ambiental

ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA				
Análisis	Unidad	Valor obtenido	Método	Equipo
Fisicoquímicos				
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	145	Titulación	
Turbidez	NTU	40	Nefelometría	Turbidímetro Marca VELP SCIENTIFICA modelo TB1
pH	Unidad de pH	7.15	Potenciométrico	Potenciómetro de mesa Marca MILWAUKEE modelo Mi 150
Temperatura	°C	15	Potenciométrico	

Análisis de Calidad de aguas			
N° de ensayos	Unidad	Parámetro	
		PH	Turbiedad
CC-D1-R1	ml	7.40	4.33
CC-D1-R2	ml	7.27	4.36
CC-D1-R3	ml	7.46	3.98
CC-D2-R1	ml	7.34	2.68
CC-D2-R2	ml	7.29	2.70
CC-D2-R3	ml	7.44	2.18
CC-D3-R1	ml	7.36	2.38
CC-D3-R2	ml	7.25	2.23
CC-D3-R3	ml	7.44	2.07
CC-D4-R1	ml	7.36	2.10
CC-D4-R2	ml	7.34	2.68
CC-D4-R3	ml	7.42	2.59
CC-D5-R1	ml	7.42	3.23
CC-D5-R2	ml	7.3	3.17
CC-D5-R3	ml	7.43	2.63
CC-D6-R1	ml	7.43	4.05
CC-D6-R2	ml	7.34	3.92
CC-D6-R3	ml	7.45	3.92
CC-D7-R1	ml	7.4	3.73
CC-D7-R2	ml	7.28	3.81
CC-D7-R3	ml	7.26	3.93
CC-D8-R1	ml	7.36	4.47
CC-D8-R2	ml	7.25	4.26
CC-D8-R3	ml	7.26	3.87

Juliaca, 30 de octubre del 2018


Jefe de Laboratorio
ING. AMBIENTAL - UPEU FJ



RESULTADO DE ANÁLISIS
UPEU – FIA/ING-AMBIENTAL 2018-014

Una Institución Adventista

CLIENTE : Bach. Ruth Mery Ttito Surco
DIRECCIÓN : Jr. Ramón Buscaglia N° 207
LUGAR DE MUESTREO : Muestra artificial
TIPO DE MUESTRA : Agua superficial
F. RECEPCIÓN DE MUESTRA : 12/11/2018
F. INICIO DE ENSAYOS : 12/11/2018
MUESTREADO POR : Laboratorio de Saneamiento Ambiental

ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA				
Análisis	Unidad	Valor obtenido	Método	Equipo
Fisicoquímicos				
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	155	Titulación	
Turbidez	NTU	40	Nefelometría	Turbidímetro Marca VELP SCIENTIFICA modelo TB1
pH	Unidad de pH	7.07	Potenciométrico	Potenciómetro de mesa
Temperatura	°C	15	Potenciométrico	Marca MILWAUKEE modelo Mi 150

Análisis de Calidad de aguas			
Nº de ensayos	Unidad	Parámetro	
		PH	Turbiedad
SI-DO-01	ml	7.23	3.93
SI-DO-02	ml	7.04	2.74
SI-DO-03	ml	7.07	3.32
SI-DO-04	ml	7.00	3.50
SI-DO-05	ml	7.00	4.79
SI-DO-06	ml	7.03	6.47

Juliaca, 13 de noviembre del 2018

Jefe de Laboratorio
ING. AMBIENTAL - UPEU FJ



RESULTADO DE ANÁLISIS
UPEU – FIA/ING-AMBIENTAL 2018-015

Una Institución Adventista

CLIENTE : Bach. Ruth Mery Ttito Surco
DIRECCIÓN : Jr. Ramón Buscaglia N° 207
LUGAR DE MUESTREO : Muestra artificial
TIPO DE MUESTRA : Agua superficial
F. RECEPCIÓN DE MUESTRA : 14/11/2018
F. INICIO DE ENSAYOS : 14/11/2018
MUESTREO POR : Laboratorio de Saneamiento Ambiental

ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA				
Análisis	Unidad	Valor obtenido	Método	Equipo
Fisicoquímicos				
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	145	Titulación	
Turbidez	NTU	40	Nefelometría	Turbidímetro Marca VELP SCIENTIFICA modelo TB1
pH	Unidad de pH	7.20	Potenciométrico	Potenciómetro de mesa Marca MILWAUKEE modelo Mi 150
Temperatura	°C	15	Potenciométrico	

Análisis de Calidad de aguas			
Nº de ensayos	Unidad	Parámetro	
		PH	Turbiedad
SI-D1-R1	ml	7.14	4.04
SI-D1-R2	ml	7.34	4.10
SI-D1-R3	ml	7.12	4.42
SI-D2-R1	ml	7.09	2.23
SI-D2-R2	ml	7.29	2.52
SI-D2-R3	ml	7.31	2.36
SI-D3-R1	ml	7.08	2.32
SI-D3-R2	ml	7.17	2.44
SI-D3-R3	ml	7.25	2.45
SI-D4-R1	ml	7.10	2.52
SI-D4-R2	ml	7.21	2.33
SI-D4-R3	ml	7.09	2.72
SI-D5-R1	ml	7.07	2.69
SI-D5-R2	ml	7.18	2.95
SI-D5-R3	ml	7.10	3.26
SI-D6-R1	ml	7.12	3.83
SI-D6-R2	ml	7.21	3.98
SI-D6-R3	ml	7.10	3.76
SI-D7-R1	ml	7.22	3.59
SI-D7-R2	ml	7.23	3.50
SI-D7-R3	ml	7.29	3.62
SI-D8-R1	ml	7.16	3.77
SI-D8-R2	ml	7.19	3.12
SI-D8-R3	ml	7.20	3.21

Juliaca, 15 de noviembre del 2018


 Jefe de Laboratorio
 ING. AMBIENTAL - UPEU FJ