

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y  
AMBIENTAL**



**REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD DEL AGUA DEL CANAL  
MIRAFLORES, CON ALMIDÓN DE YUCA Y SULFATO DE  
ALUMINIO, JAÉN, CAJAMARCA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
FORESTAL Y AMBIENTAL**

**Autor: Bach. Lizkary Tatiana Julca Riojas**

**Asesor: Mg. Ing. Jorge Antonio Delgado Soto**

**JAÉN – PERÚ, OCTUBRE, 2019**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

## ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 15 de octubre del año 2019; siendo las 11:00 horas, se reunieron los **Miembros del Jurado Evaluador**:

**Presidente** Mg. SEGUNDO ALIPIO CRUZ HOYOS  
**Secretaria** Mg. ANNICK ESTEFANY HUACCHA CASTILLO  
**Vocal** M.Sc. LIZBETH CÓRDOVA ROJAS

Para evaluar la Sustentación del **INFORME FINAL DE TESIS**; titulado: "REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD DEL AGUA DEL CANAL MIRAFLORES, CON ALMIDÓN DE YUCA Y SULFATO DE ALUMINIO, JAÉN, CAJAMARCA, presentado por la Bachiller LIZKARY TATIANA JULCA RIOJAS de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, los **Miembros del Jurado Evaluador** acuerdan:

Aprobar    ( ) Desaprobar     Unanimidad    ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

Excelente	18, 19, 20	( )
Muy bueno	16, 17	(16)
Bueno	14, 15	( )
Regular	13	( )
Desaprobado	12 o menos	( )

Siendo las 11:45 horas del mismo día, los Miembros del Jurado Evaluador concluyen el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Mg. ANNICK ESTEFANY HUACCHA CASTILLO  
Secretaría Jurado Evaluador

Mg. SEGUNDO ALIPIO CRUZ HOYOS  
Presidente Jurado Evaluador

M.Sc. LIZBETH CÓRDOVA ROJAS  
Vocal Jurado Evaluador

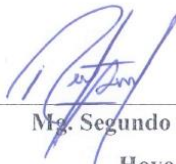
**“REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD DEL AGUA DEL CANAL DE  
MIRAFLORES, CON ALMIDÓN DE YUCA Y SULFATO DE  
ALUMINIO, JAÉN, CAJAMARCA”**



Bach. Lizkary Tatiana Julca Riojas  
Tesisista

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
FORESTAL Y AMBIENTAL**

Aprobado por el siguiente jurado:



Mg. Segundo Alipio Cruz  
Hoyos



Mg. Annick Estefany Huaccha  
Castillo



M.Sc. Lizbeth Maribel  
Córdova Rojas

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	9
ABSTRACT .....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. OBJETIVOS.....	13
2.1. General.....	13
2.2. Específicos .....	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1. Materiales.....	14
3.1.1. Materiales de campo.....	14
3.1.2. Materiales de laboratorio.....	14
3.2. Métodos.....	15
3.2.1. Ubicación del área de estudio.....	15
3.2.2. Población.....	16
3.2.3. Muestreo.....	16
3.2.4. Muestra.....	16
3.2.5. Obtención del almidón de yuca.....	16
3.2.6. Proceso de coagulación/floculación con sulfato de aluminio y almidón de yuca .....	18
3.2.7. Determinación de la turbiedad .....	21
3.2.8. Cálculo del porcentaje de remoción de turbiedad .....	21
IV. RESULTADOS .....	22
4.1. Del proceso de obtención de almidón de yuca.....	22
4.2. De la caracterización fisicoquímica del agua del canal Miraflores .....	22
4.3. De la medición de la turbiedad final .....	22

4.4. Porcentajes de remoción de turbiedad .....	23
4.5. Análisis de varianza .....	24
V. DISCUSIÓN.....	25
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	27
6.1. Conclusiones .....	27
6.2. Recomendaciones.....	28
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	29
AGRADECIMIENTO .....	31
DEDICATORIA.....	32
ANEXOS .....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Preparación de soluciones de almidón de yuca a 2, 4, 6 y 8 ppm .....	19
Tabla 2. Preparación de soluciones de sulfato de aluminio a 22, 24, 26 y 28 ppm.....	19
Tabla 3. Tratamientos experimentados.....	20
Tabla 4. Resultados de la caracterización fisicoquímica del agua del canal Miraflores .....	22
Tabla 5. Resultados de turbiedad final .....	23
Tabla 6. Porcentajes de remoción de turbiedad.....	23
Tabla 7. Análisis de varianza (ANVA) .....	24

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Ubicación del área de investigación .....	16
<i>Figura 2.</i> Diagrama general del proceso de extracción de almidón de yuca.....	17
<i>Figura 3.</i> Diagrama de flujo de experimentación en test de jarras.....	20
<i>Figura 4.</i> Porcentajes promedios de remoción de turbiedad por tratamiento .....	24

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Solicitud de acceso al laboratorio de la EPS Marañón S.A. ....	34,
Anexo 2. Certificado de análisis de agua .....	34
Anexo 3. Mapa de ubicación del punto de muestreo.....	36
Anexo 4. Toma de muestra.....	36
Anexo 5. Pesado, descascarado, lavado y picado de yuca .....	36
Anexo 6. Proceso de macerado y licuado de yuca .....	40
Anexo 7. Lavado y tamizado de pasta de yuca.....	40
Anexo 8. Sedimentación de pasta de yuca .....	41
Anexo 9. Refrigeración de pasta de yuca .....	41
Anexo 10. Centrifugado, secado y triturado de almidón de yuca.....	42
Anexo 11. Almidón de yuca y sulfato de aluminio .....	42
Anexo 12. Medición de la turbiedad .....	43
Anexo 13. Equipo de test de jarras .....	43

## **RESUMEN**

La turbiedad en el agua es considerada como un problema significativo dentro de los procesos de potabilización. La materia en suspensión y coloidal, finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos; son cofactores de incremento de este parámetro fisicoquímico. La coagulación/floculación es el mecanismo por el cual, se puede remover estos sólidos presentes en agua y por ende la turbiedad. El objetivo general de esta investigación fue, remover la turbiedad del agua del canal Miraflores, con almidón de yuca y sulfato de aluminio. La experimentación en su totalidad se desarrolló en condiciones de laboratorio, para ello se ensayaron cuatro tratamientos en un test de jarras, que consistió en dosificaciones de sulfato de aluminio (22, 24, 26 y 28 ppm) y almidón de yuca (2, 4, 6 y 8 ppm). Los resultados obtenidos muestran que no existe diferencia significativa entre los tratamientos experimentados, aunque el tratamiento cuatro (combinación de 22 ppm de sulfato de aluminio y 8 ppm de almidón de yuca) reportó el mejor promedio de remoción de turbiedad, siendo ésta igual a 80,83 %.

Palabras clave: almidón de yuca, sulfato de aluminio, coagulación, floculación, turbiedad

## **ABSTRACT**

Turbidity in water is considered a significant problem within the purification processes. The matter in suspension and colloidal, finely divided, plankton and other microscopic organisms; they are cofactors of increase of this physicochemical parameter. Coagulation/flocculation is the mechanism by which, these solids present in water can be removed. The general objective of this investigation was to remove the turbidity of water from the Miraflores canal, with cassava starch and aluminum sulfate. The entire experiment was carried out under laboratory conditions, for which four treatments were tested in a jar test, which consisted of dosages of aluminum sulfate (22, 24, 26 and 28 ppm) and cassava starch (2, 4, 6 and 8 ppm). The results obtained show that there is no significant difference between the treatments experienced, although treatment four (combination of 22 ppm aluminum sulfate and 8 ppm cassava starch) reported the best turbidity removal average, this being equal to 80,83 %.

**Keywords:** cassava starch, aluminum sulfate, coagulation, flocculation, turbidity

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento indispensable para el desarrollo de todo tipo de vida sobre el planeta, sin ella el hombre no podría existir. Desde la antigüedad, los asentamientos humanos han crecido y desarrollado cerca de una fuente de agua (Sierra, 2011). Los recursos hídricos naturales son fuentes de agua que se utilizan para actividades domésticas, agrícolas (Andreozzi, Caprio, Insola y Marotta, 1999; Ebert, Fritsch, Koll, y Tjahjawiguna, 2004), industriales (Elimelech y Phillip, 2011), recreativas y ambientales (Hossain, 2019).

El agua para consumo humano debe ser segura para la salud de los consumidores y contener todos los elementos que la hacen potable, por ejemplo, la concentración correcta de minerales (Katrivesis, Karela, Papadakis, y Paraskeva, 2019); es decir, la eliminación de partículas suspendidas. Las aguas naturales contienen una amplia gama de sólidos suspendidos, principalmente debido a la erosión de las rocas y los suelos (Gregory, 2006); también el deterioro de cuencas a causa de la contaminación y pérdida de cubierta vegetal, incrementan las posibilidades de alteraciones repentinas en parámetros físicos del agua, como la turbiedad; de las fuentes utilizadas para abastecimiento de la población (Montoya, Loaiza, Torres, Cruz y Escobar, 2011).

La remoción de sólidos suspendidos y por ende de la turbiedad, en aquellas aguas que pueden ser potabilizadas involucra procesos de coagulación/floculación, para ello se han usado una gran variedad de agentes (polielectrolitos). Dentro de estos, la utilización de extractos naturales de plantas para la clarificación del agua resultan efectivas (Dorea, 2006). La mayoría de polielectrolitos naturales se derivan de semillas, de hojas, de cortezas o savia, de raíces y de frutas, extraídos de vegetales (Pritchard, Mkandawire, Edmondson, O'Neill y Kululanga, 2009).

y coloidales (Ramírez y Jaramillo, 2015). El almidón de yuca ha sido ampliamente utilizado como floculante, por ejemplo: Solís, Laines, Ramón y Hernández (2012) compararon mezclas con potencial coagulante compuestas por almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y sulfato de aluminio grado comercial, que permitirían reducir la cantidad sulfato de aluminio usado en plantas de tratamiento de agua. Los resultados mostraron una reducción máxima de 98,7 % con respecto a la turbiedad.

Cabrera y Ramirez (2014) determinaron los porcentajes de remoción de color y turbiedad de una fuente de agua de agua natural, por la acción de almidón de yuca como coagulante natural, demostraron una remoción del 19,48 % para el color y de 52,75 % para la turbiedad. En estudios similares, Cuadro y Rodas (2018) investigaron la acción conjunta de almidón de yuca con pasta libre de aceite de *Moringa oleifera*, en la remoción de color y turbiedad en agua natural; experimentaron eficiencias de remoción de 82,35 y 97,95 % de color y turbiedad, respectivamente.

Ortiz, López, Torres y Pampillón (2108) evaluaron la eficiencia de remoción de color y turbiedad de un agua residual doméstica, en la cual se aplicó un tratamiento de coagulación/floculación agregando el polímero natural almidón de yuca (*M. esculenta*) y combinando coagulantes floculantes como sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ), cloruro férrico ( $FeCl_3$ ) e hidróxido de calcio ( $Ca(OH)_2$ ). Lograron remover el color en un 78 % y la turbiedad en un 75 %.

La presente investigación a nivel de laboratorio se planteó minimizar el uso de coagulantes y floculantes de origen sintético (como el sulfato de aluminio y policloruro de aluminio) para remover la turbiedad del agua en los procesos de potabilización en la ciudad de Jaén, región Cajamarca; combinándolos con polímeros naturales como el almidón. Las ventajas de usar polielectrolitos naturales como agentes de coagulación/floculación radican en su bajo costo de obtención y en su elevada biodegradabilidad, a comparación con los que son obtenidos por procesos bioquímicos en laboratorios (polielectrolitos sintéticos) que presentan elevados costos de obtención. Contribuyendo así, con el desarrollo social, económico y ambiental de la ciudad de Jaén.

## II. OBJETIVOS

### 2.1. General

Remover la turbiedad del agua del canal Miraflores, con almidón de yuca y sulfato de aluminio, en Jaén, Cajamarca.

### 2.2. Específicos

- Obtener el almidón de yuca (*M. esculenta*).
- Caracterizar fisicoquímicamente la muestra de agua del canal Miraflores, mediante el análisis de los parámetros: potencial de iones hidrógeno (pH), temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales suspendidos, sólidos totales disueltos, dureza total, demanda química de oxígeno, color y turbiedad.
- Determinar la dosificación óptima de sulfato de aluminio y almidón de yuca como agentes de coagulación y floculación a partir del porcentaje de remoción de turbiedad.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Materiales**

##### **3.1.1. Materiales de campo**

- Balde de plástico transparente de primer uso, capacidad 20 L
- Equipo de protección personal (guardapolvo, guantes, mascarilla, casco, botas de jebe).
- Equipo GPS
- Libreta de apuntes

##### **3.1.2. Materiales de laboratorio**

- Cuchillo
- Tamiz de malla N° 100
- Recipiente pequeño de plástico de tereftalato de polietileno (PET)
- Vaso de precipitación
- Probeta
- Pera de decantación
- Vagueta o agitador
- Espátula
- Soporte universal
- Pinza con aro de metal
- Pipeta graduada

## **A. Equipos**

- Cocina eléctrica
- Refrigeradora
- Licuadora
- Centrifugadora
- Estufa
- Balanza analítica
- Turbidímetro
- Equipo de test de jarras

## **B. Reactivos**

- Almidón de yuca (2, 4, 6, y 8 ppm)
- Sulfato de aluminio (22, 24, 26 y 28 ppm)

## **3.2. Métodos**

### **3.2.1. Ubicación del área de estudio**

La investigación se desarrolló en dos fases: fase de campo y fase de laboratorio. La primera de ellas corresponde a la toma de muestra de agua del canal Miraflores, ubicado en la ciudad de Jaén, provincia de Jaén, región Cajamarca. La fase de laboratorio se ejecutó en los laboratorios de la Universidad Nacional de Jaén (se realizó la extracción de almidón de yuca) y en el laboratorio de análisis de agua de la EPS-Marañón (se experimentó en test de jarras). El laboratorio OIKOSLAB S.A.C. de la ciudad de Jaén fue responsable de realizar la caracterización fisicoquímica de la muestra de agua. En la Figura 1 se muestra la ubicación de cada uno de los lugares en mención.

### 3.2.2. Población

Recurso hídrico del canal Miraflores de la ciudad de Jaén.

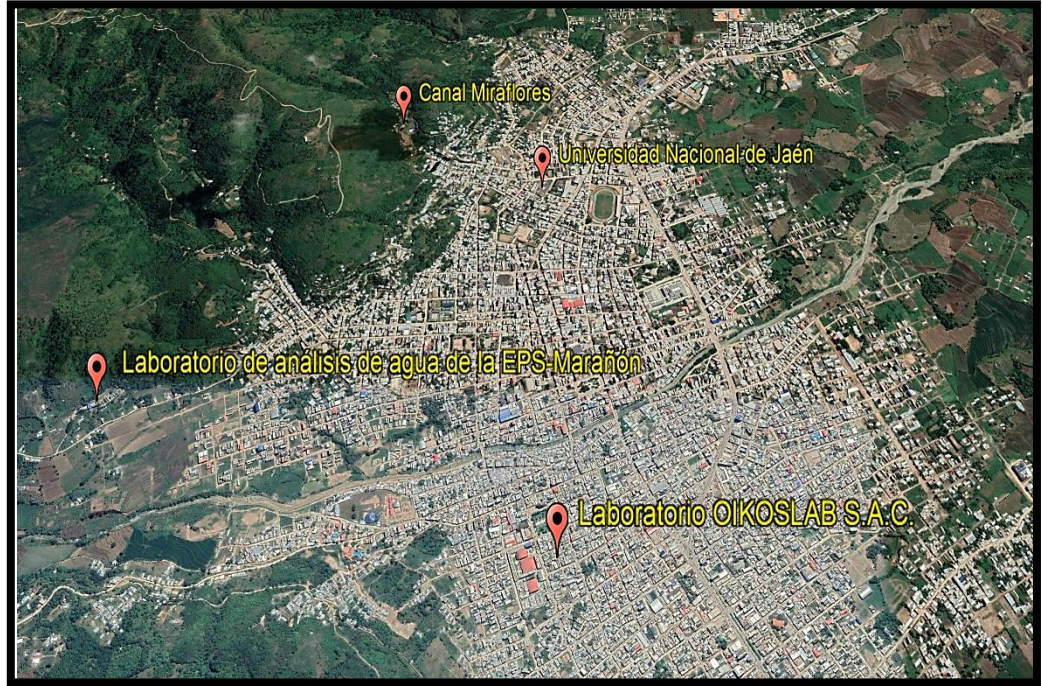


Figura 1. Ubicación del área de investigación

### 3.2.3. Muestreo

Se tomó una muestra simple por única vez y se realizó de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, establecido mediante Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.

### 3.2.4. Muestra

La muestra fue discreta de un volumen de 20 L.

### 3.2.5. Obtención del almidón de yuca

Para la obtención del almidón de yuca, se siguió la metodología usada por Ortiz et al. (2018), cuyo procedimiento es el siguiente:

Se partió de una base de 5 Kg de yuca, a las cuales se les retiró la cáscara y lavó, con ayuda de un cuchillo se realizó cortes, cuyas secciones fueron de 2 cm x 2 cm x 1,2 cm de tamaño aproximadamente.

Posteriormente, fueron almacenadas en recipiente con agua a 40 °C en relación de peso de 1:6; para luego ser molidas homogéneamente con ayuda de una licuadora. El resultado del proceso anterior fue lavado tres veces con la misma agua de remojo sobre un tamiz de malla N° 100. El material que traspasó por el tamiz se dejó sedimentar por un periodo de 3 horas y luego por decantación se separó el sobrenadante. El material obtenido anteriormente se conservó bajo refrigeración por aproximadamente 12 horas.

Finalmente, el material se centrifugó a 850 rpm por 15 minutos y la pasta obtenida se secó en estufa a 40 °C por 24 horas; para luego ser almacenado en recipiente de plástico.

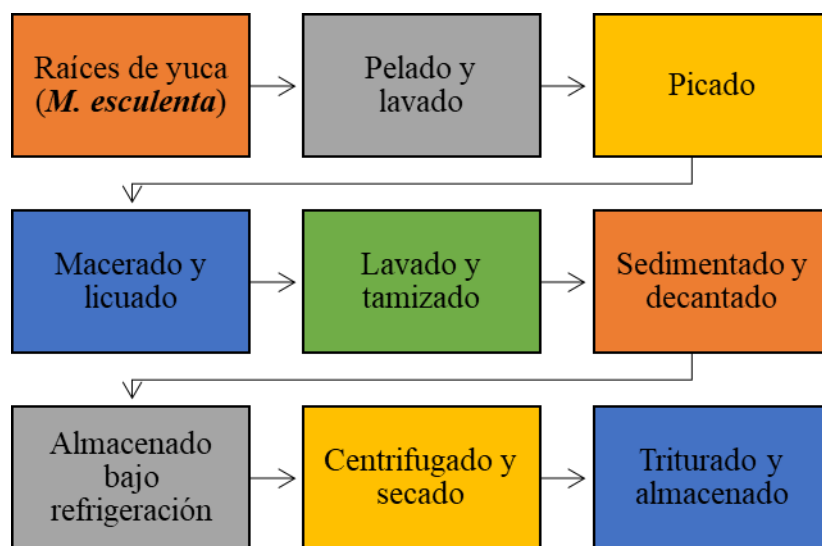


Figura 2. Diagrama general del proceso de extracción de almidón de yuca

### 3.2.6. Proceso de coagulación/floculación con sulfato de aluminio y almidón de yuca

#### A. Preparación de reactivos

##### a. Soluciones de almidón de yuca a 2, 4, 6 y 8 ppm

Se preparó una solución madre de 1000 ppm de almidón de yuca. Para ello, se pesó 0,1 g de almidón de yuca y se aforó con agua destilada a 100 mL en una fiola.

Por diluciones a partir de la solución madre se prepararon las soluciones de 2, 4, 6 y 8 ppm, aplicando la siguiente fórmula química:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \quad (1)$$

Donde:

C<sub>1</sub>: Concentración de solución madre

V<sub>1</sub>: Volumen alícuota

C<sub>2</sub>: Concentración final

V<sub>2</sub>: Volumen de solución final

Por ejemplo, para preparar la solución de 2 ppm de almidón de yuca, con un volumen de solución final de 10 mL, fueron necesarios 0,02 mL de la solución madre. A continuación, se presenta el cálculo matemático.

$$1000 \text{ (ppm)} \times V_1 = 2 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}$$

$$V_1 = 0,02 \text{ mL}$$

En la tabla 1 se muestra los volúmenes utilizados en la preparación de las soluciones requeridas de almidón de yuca.

Tabla 1. *Preparación de soluciones de almidón de yuca a 2, 4, 6 y 8 ppm*

<b>Solución de almidón (ppm)</b>	<b>Vol. de solución madre (mL)</b>	<b>Vol. final (mL)</b>
2	0,02	10
4	0,04	10
6	0,06	10
8	0,08	10

**b. Soluciones de sulfato de aluminio a 22, 24, 26 y 28 ppm**

Se preparó una solución madre de 1000 ppm de sulfato de aluminio. Para ello, se pesó 0,1 g de sulfato de aluminio y se aforó con agua destilada a 100 mL en una fiola.

Por diluciones a partir de la solución madre se prepararon las soluciones de 22, 24, 26 y 28 ppm; aplicando la fórmula 1, descrita en la sección anterior.

Por ejemplo, para preparar la solución de 22 ppm de sulfato de aluminio, con un volumen de solución final de 10 mL, fueron necesarios 0,22 mL de la solución madre. A continuación, se presenta el cálculo matemático.

$$1000 \text{ (ppm)} \times V_1 = 22 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}$$

$$V_1 = 0,22 \text{ mL}$$

En la tabla 2 se muestra los volúmenes utilizados en la preparación de las soluciones requeridas de sulfato de aluminio.

Tabla 2. *Preparación de soluciones de sulfato de aluminio a 22, 24, 26 y 28 ppm*

<b>Solución de sulfato de aluminio (ppm)</b>	<b>Vol. de solución madre (mL)</b>	<b>Vol. final (mL)</b>
22	0,22	10
24	0,24	10
26	0,26	10
28	0,28	10

## B. Experimentación en test de jarras

De la muestra de agua colectada del canal Miraflores, se tomaron alícuotas de 1 L y se vertieron en las jarras (vasos de precipitado de 2 L de capacidad) del equipo de marca PHIPPS&BIRD serie PB-900.

Luego, se adicionaron por triplicado cada uno de los tratamientos estudiados, cuatro en total (tabla 3).

Tabla 3. *Tratamientos experimentados*

Tratamiento	Dosis de sulfato de aluminio (ppm)	Dosis de almidón de yuca (ppm)
T <sub>1</sub>	28	2
T <sub>2</sub>	26	4
T <sub>3</sub>	24	6
T <sub>4</sub>	22	8

Primero se adicionó el coagulante (sulfato de aluminio); es decir, previo al proceso de velocidad de mezcla rápida (100 rpm por 2 minutos). Después, se adicionó el floculante (almidón de yuca), previo a la velocidad de mezcla lenta (30 rpm por 15 minutos).

Finalmente, se dejó sedimentar por un periodo de 30 minutos, para después medir la turbiedad.

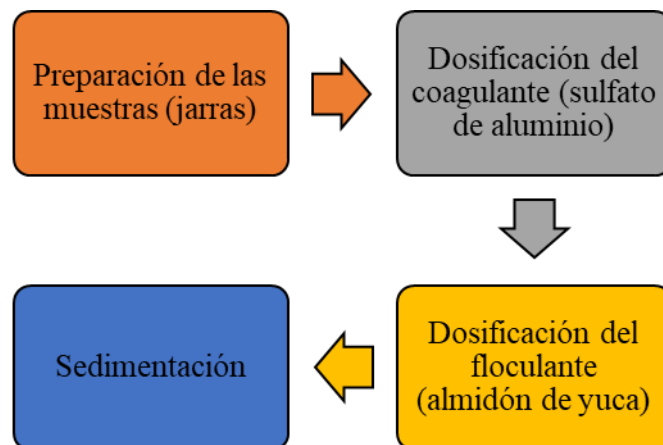


Figura 3. Diagrama de flujo de experimentación en test de jarras

### 3.2.7. Determinación de la turbiedad

La turbiedad se determinó con equipo turbidímetro de marca Turbiquant 110. De acuerdo a la norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 22nd Ed Turbidity. Título: Nephelometric Method.

### 3.2.8. Cálculo del porcentaje de remoción de turbiedad

Los porcentajes de remoción de turbiedad fueron calculados con la siguiente fórmula:

$$REMOCIÓN (\%) = \left[ \frac{(TURBIEDAD_{INICIAL} - TURBIEDAD_{FINAL})}{TURBIEDAD_{INICIAL}} \right] * 100 \quad (2)$$

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Del proceso de obtención de almidón de yuca

Se obtuvo 0,41509 kg de almidón de yuca a partir de 5 kg; lo que representa el 8,30 % en base húmeda.

### 4.2. De la caracterización fisicoquímica del agua del canal Miraflores

En la tabla 4 se muestra el reporte del laboratorio con respecto a la caracterización fisicoquímica de la muestra de agua del canal Miraflores.

Tabla 4. *Resultados de la caracterización fisicoquímica del agua del canal Miraflores*

<b>Parámetro fisicoquímico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
Dureza total	ppm CaCO <sub>3</sub>	319,12
Potencial de iones hidrógeno (pH)	Unidades de pH	7,82
Conductividad eléctrica a 25 °C	μS/cm	137,80
Demanda química de oxígeno (DQO)	ppm O <sub>2</sub>	6,72
Color	UCV-Pt-Co	257,00
Turbiedad	NTU	34,50
Sólidos totales disueltos (STD)	ppm STD	68,90
Sólidos totales en suspensión (STS)	ppm STS	41,00

### 4.3. De la medición de la turbiedad final

En la tabla 5 se reporta los resultados de las turbiedades (en NTU) remanentes, después de aplicar los tratamientos.

Tabla 5. Resultados de turbiedad final

Repetición	Tratamiento			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
R <sub>1</sub>	8,12	7,04	8,8	6,41
R <sub>2</sub>	11,69	7,25	6,55	6,92
R <sub>3</sub>	7,53	8,12	7,46	6,51

#### 4.4. Porcentajes de remoción de turbiedad

Los porcentajes de remoción de turbiedad han sido calculados con la fórmula 2, mencionada en el ítem 3.2.8 del capítulo anterior. Teniendo como turbiedad inicial a la reportada por la caracterización fisicoquímica (34,50 NTU) y como turbiedad final cada uno de los valores reportados en la tabla 5, por tratamientos y repeticiones. Por ejemplo, a continuación se muestra el cálculo de remoción de turbiedad para el T<sub>1</sub>R<sub>1</sub>:

$$REMOCIÓN DE TURBIEDAD (\%) = \left( \frac{34,50 - 8,12}{34,50} \right) \times 100$$

$$REMOCIÓN DE TURBIEDAD (\%) = 76,46$$

Tabla 6. Porcentajes de remoción de turbiedad

Repetición	Tratamiento			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
R <sub>1</sub>	76,46	79,59	74,49	81,42
R <sub>2</sub>	66,12	78,99	81,01	79,94
R <sub>3</sub>	78,17	76,46	78,38	81,13
<b>Promedio</b>	73,58	78,35	77,96	80,83

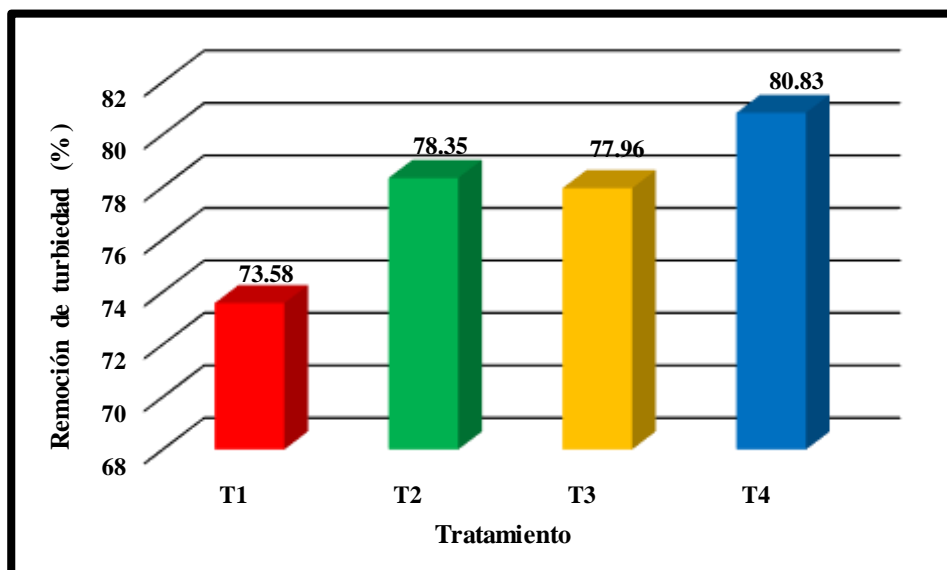


Figura 4. Porcentajes promedios de remoción de turbiedad por tratamiento

#### 4.5. Análisis de varianza

En la tabla 7 se muestra el resultado del análisis de varianza (ANOVA) efectuado para un diseño completamente al azar (DCA), a un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA)

FV	GL	SC	CM	F <sub>c</sub>	F <sub>t</sub>	Sig
Tratamiento	3	82,29	27,43			
Error	8	113,39	14,17	1,94	4,07	NS
Total	11	195,68				

**CV = 4,85 %**

Donde:

FV: Fuente de variación

GL: Grados de libertad

SC: Suma de cuadrados

CM: Cuadrados medios

F<sub>c</sub> y F<sub>t</sub>: F calculado y tabulado respectivamente

Sig: Significancia

## V. DISCUSIÓN

La muestra de agua estudiada (Tabla 4), es un recurso de pH alcalino, muy dura, está dureza es causada por la presencia de iones metálicos, calcio y magnesio principalmente, en forma de carbonatos y bicarbonatos (Romero, 2002). También, presenta material disuelto y suspendido, que son los responsables de la turbiedad y del color (Londoño, Giraldo, y Gutiérrez, 2010). El valor de la DQO es sumamente bajo, por lo que se infiere que los sólidos presentes en el agua, son de naturaleza inorgánica, es decir sedimentos (arena, limo y arcilla) arrastrados por la propia corriente superficial (Lozano-Rivas, 2013).

Finalmente, de acuerdo al Estandar de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobado mediante D.S. N° 004-2017-MINAM, en la categoría 1 (Poblacional y Recreacional), subcategoría A (Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable), apartado A2 (Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional), se trata de un agua, donde cuyo único parámetro que excede, es el color (257 UCV-Pt-Co), muy por encima del que exige la norma, siendo este valor igual 100 UCV-Pt-Co.

De la Tabla 6, sobre los porcentajes de remoción de turbiedad efectuados por los cuatro tratamientos estudiados, se infiere que: existe un mínimo de 66,12 %, correspondiente al T<sub>1</sub> en su segunda repetición; un máximo de 81,42 %, reportado por el T<sub>4R1</sub> y una media general de remoción equivalente a 77,68 %.

En la Fig. 4, se aprecia los porcentajes promedios de remoción de turbiedad reportado por cada tratamiento, resaltando por encima de los demás el T<sub>4</sub> (22 ppm de sulfato de aluminio más 8 ppm de almidón de yuca) con un 80,83 % de media de remoción, seguido por el T<sub>2</sub> (26 ppm de sulfato de aluminio más 4 ppm de almidón de yuca) con un 78,35 %, con 2,87 unidades menos con respecto al T<sub>4</sub> le sigue el T<sub>3</sub> (24 ppm de sulfato de aluminio más 6 ppm de almidón de yuca) y finalmente el T<sub>1</sub> (28 ppm de sulfato de aluminio más 2 ppm de almidón de yuca) con 73,58 %.

Se encontró que, a mayor contenido de almidón de yuca la remoción de turbiedad aumentó. De acuerdo a Bravo (2017), el mecanismo de floculación del almidón es el «puente polímero», dónde los grupos químicos del almidón interaccionan con las superficies de las partículas contaminantes estableciendo un puente entre polímero; es decir, se producen flocs más grandes y fuertes.

Los porcentajes de remoción encontrados en esta investigación para los tratamientos ensayados, son aceptables, teniendo en consideración que los tratamientos experimentados presentaron dosificaciones de almidón de yuca comprendidos entre 2 y 8 ppm; y entre 22 y 28 ppm de sulfato de aluminio. Se ha reportado porcentajes de remoción de turbiedad similares a las encontradas como por ejemplo, Cuadro y Rodas (2018), siendo esta equivalente a 82,35 %, empleando 0.5 ppm de almidón de yuca en el tratamiento de un agua superficial. Se superó la eficiencia de remoción de turbiedad encontrada por Cabrera y Ramirez (2014), los cuales reportaron un máximo de remoción igual a 52,75 % , utilizando 2 ppm de almidón de yuca.

También, se le puede comparar con la eficiencia de 75 % de remoción de turbiedad reportada por Ortiz et al. (2108), la diferencia radica en que ellos emplearon 750 ppm de almidón de yuca en combinación de 250 ppm de sulfato de aluminio para tratar un agua residual doméstica. Finalmente, Solís et al. (2012) que ensayaron los mismos tratamientos que la presente investigación, reportaron una remoción de 97,9 %, con 2 ppm de almidón de yuca en combinación de 28 ppm de sulfato de aluminio (tratamiento con menor contenido de almidón), para una turbiedad inicial de 70 NTU; resultado contrario al encontrado en esta investigación, debido a que el tratamiento con menor concentración de almidón que fue el T<sub>1</sub>, reportó la remoción más baja de turbiedad.

Finalmente, el análisis de varianza (tabla 7) con un nivel de confianza del 95 % reportó la no existencia de diferencia significativa entre los tratamientos ensayados; es decir, que los tratamientos experimentados estadísticamente producen los mismos efectos.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

- Se obtuvo 0.41509 kg de almidón de yuca a partir de 5 kg, esta cantidad representa 8,30 % en base húmeda. El método de extracción en términos de calidad del almidón resultó ser efectivo para remover la turbiedad; pero la cantidad obtenida, representa un porcentaje muy bajo.
- El agua del canal Miraflores presentó en términos de pH ser alcalino (7,82), muy dura (319,12 ppm  $\text{CaCO}_3$ ), baja conductividad eléctrica (137,80  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), concentraciones considerables de sólidos totales (principalmente de origen inorgánico) medidos como disueltos (68,90 ppm) y suspendidos (41,00 ppm); los cuales son responsables del color (257,00 UCV-Pt-Co) y la turbiedad (34.50 NTU). La carga orgánica medida como DQO fue baja (6,72 ppm  $\text{O}_2$ ). Teniendo solamente al color como único parámetro que excede el ECA para Agua de la legislación peruana actualmente vigente.
- La combinación de 22 ppm de sulfato de aluminio como coagulante y 8 ppm de almidón de yuca ( $T_4$ ) reportó el mejor porcentaje de remoción de turbiedad, siendo ésta igual a 80,83 %, teniendo en consideración los promedios de remoción y el análisis de varianza de los tratamientos experimentados. Resultando así, ser la dosificación óptima de remoción de turbiedad del agua del canal Miraflores en este estudio.
- Se demostró que los floculantes de origen natural, como los almidones, resultan ser efectivos para remover cantidades significativas de sólidos y por ende de la turbiedad en aguas. Tornándose así, como excelentes materiales de minimización en el uso de productos químicos y sus impactos; costos de tratamientos; dentro de los procesos de potabilización de agua.

## 6.2. Recomendaciones

Se recomienda lo siguiente:

- Buscar otras metodologías sostenibles de extracción de almidones; de tal manera, que se mantenga la calidad del producto, pero que el balance de materia sea significativo.
- Experimentar con otras dosificaciones de almidones y coagulantes, a fin de seguir profundizando científicamente en el potencial floculante de estos agentes naturales.
- Emplear otros productos naturales ajenos al almidón de yuca; como por ejemplo, las que sugieren diversas investigaciones, semillas de moringa, extractivos de especies cactáceas, polifenoles como los taninos; productos de origen animal como el quitosán, etc; con igual o más índice de remoción de turbiedad que los presentados en esta investigación.
- Seguir apostando por los agentes naturales de coagulación/floculación en el tratamiento de aguas (potabilización y tratamiento de aguas residuales), por sus beneficios ambientales, sociales y económicos que brindan estos productos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreozzi, R., Caprio, V., Insola, A., & Marotta, R. (1999). Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. *Catalysis Today*, 53(1), 51-59.
- APHA-AWWA-WEF. (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (20th ed.). (L. Clesceri, A. Greenberg, & A. Eaton, Edits.) USA.
- Bravo, M. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales* (Proyecto de grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Cabrera, G., & Ramirez, J. (2014). *Almidón extraído de la yuca (Manihot esculenta Crantz) como cuagulante alternativo para tratamiento del agua de la quebrada Yamuesquer municipio de Potosi* (Tesis de grado). Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia.
- Cuadro, W., & Rodas, J. (2018). *Alternativa para sustitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de yuca y moringa oleífera en tratamiento de aguas superficiales* (trabajo de titulación). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Dorea, C. (2006). Use of Moringa spp. seeds for coagulation: a review of a sustainable option. *Water Science and Technology: Water Supply*, 6(1), 219-227.
- Ebert, K., Fritsch, D., Koll, J., & Tjahjajawiguna, C. (2004). Influence of inorganic fillers on the compaction behaviour of porous polymer based membranes. *Journal of Membrane Science*, 233(1-2), 71-78.
- Elimelech, M., & Phillip, W. (2011). The future of seawater desalination: energy, technology, and the environment. *Science*, 333(6043), 712-717.
- Gregory, J. (2006). *Particles in water. Properties and Processes*. London: CRC Taylor & Francis Group.

- Hossain, M. F. (2019). *Sustainable Design and Build. Building, Energy, Roads, Bridges, Water and Sewer Systems*. Butterworth-Heinemann.
- Katrivesis, F., Karela, A., Papadakis, V., & Paraskeva, C. (2019). Revisiting of coagulation-flocculation processes in the production of potable water. *Journal of Water Process Engineering*, 27, 193-204.
- Londoño, A., Giraldo, G., & Gutiérrez, Á. (2010). *Métodos analíticos para la evaluación fisicoquímica de la calidad del agua*. Manizales: Editorial Blanecolor.
- Lozano-Rivas, W. (2013). *Calidad fisicoquímica del agua. Métodos simplificados para su muestreo y análisis*. Bogota: Universidad Piloto de Colombia.
- Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C., & Escobar, J. (2011). Efecto del incremento de la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. *Revista EIA*, 137-148.
- Ortiz, V., López, G., Torres, C., & Pampillón, L. (2018). Almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias: CIBA*, 7(13).
- Pritchard, M., Mkandawire, T., Edmondson, A., O'Neill, J., & Kululanga, G. (2009). Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34(13-16), 799-805.
- Ramírez, H., & Jaramillo, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153.
- Romero, J. (2002). *Calidad del agua*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico*. Medellín: Ediciones de la U.
- Solís, R., Laines, C., Ramón, J., & Hernández, J. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(3), 229-236.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a Dios, quien me dio la fortaleza en momentos difíciles de la vida y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo de felicidad.

A mi padre y a mi hermana que siempre estuvo involucrada en mi formación profesional, por guiarme y por impulsarme a seguir adelante. Sobre todo, por ser un excelente ejemplo de vida.

Mi agradecimiento a las personas que me apoyaron desinteresadamente en la ejecución de mi trabajo de investigación a mi asesor de tesis Mg. Jorge Antonio Delgado Soto y a ti amiga Leydi porque también formaste parte de esto.

JULCA RIOJAS, Lizkary Tatiana.

## **DEDICATORIA**

Tú, quien has sido mi mano derecha durante todo este tiempo; te agradezco por tu desinteresada ayuda, por echarme una mano cuando siempre la necesité, por aportar considerablemente en mi proyecto. Te agradezco no solo por la ayuda brindada, si no por los buenos momentos que hemos vivido.

Eres una gran persona, y me encanta tenerte a mi lado como una gran amiga.

¡Muchas Gracias! Nanita

## ANEXOS

"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"

E.P.S. MARAÑÓN S.A.	
RECEPCIÓN	
07 AGO 2019	
REG. N°: 3076	HORA: 9:06a
FOLIOS: 01	FIRMA: [Firma]

### SOLICITO: ACCESO AL LABORATORIO DE LA EPS MARAÑÓN S.A.

Sra: Ing. Blanca Hortencia Vidalon Pellanne  
Gerente de Operaciones de la EPS Marañón S.A.

Yo, Lizkary Tatiana Julca Riojas, tesista y egresado de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental – UNJ, identificado con DNI N°: 48242120, con domicilio en la calle: Iquitos N° 923 de esta ciudad, ante usted me presento y expongo:

Que, habiendo sido aprobado el proyecto de investigación denominado **"REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD DEL AGUA DEL CANAL MIRAFLORES, CON ALMIDÓN DE YUCA Y SULFATO DE ALUMINIO, JAÉN, CAJAMARCA"**, mediante Resolución N° 023-2019-UNJ-VPA-COORD-IFA, de fecha 10 de julio de 2019, de la cual, soy responsable de su ejecución. Recorro a su digno cargo para solicitarle el Acceso al Laboratorio de la EPS Marañón, el día 09 de agosto del presente, a fin de que se me permita usar el equipo Test de Jarras y a la vez poder desarrollar satisfactoriamente la ejecución del proyecto de investigación en mención, el cual me permitirá obtener mi título profesional.


POR TANTO:

Solicito a usted señora Gerente, acceder a mi solicitud por ser de justicia.

Jaén, 07 de agosto de 2018

  
Bach. Lizkary Tatiana Julca Riojas  
Tesista UNJ

Anexo 1. Solicitud de acceso al laboratorio de la EPS Marañón S.A.



ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO  
DE SUELOS Y AGUAS

**OIKOSLAB**  
SOC

**ENSAYO DE AGUA DE CANAL DE REGADÍO N° 1649-2019**


Solicitante : Bach. Lizkary Tatiana Julca Riojas  
 Fecha de Recepción : 10-08-2019  
 Muestra entregada al laboratorio por la solicitante.  
 Investigación:  
 "REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD DEL AGUA DEL CANAL MIRAFLORES, CON ALMIDÓN DE YUCA Y SULFATO DE ALUMINIO, JAÉN, CAJAMARCA".

**I.- Datos de la muestra**


Tipo de muestra : Agua proveniente del canal Miraflores

**II. Resultados**

Parámetros Físicoquímicos y Químicos	Unidades	Resultados	Norma
Dureza total	ppm CaCO <sub>3</sub>	319.12	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 22nd Ed. (Incluye MUESTREO Hardness. EDTA Titrimetric Method)
Potencial de Iones Hidrógeno	Unidades de pH	7.82	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H <sup>+</sup> B, 22nd Ed. (Incluye muestreo). Título: pH Value. Electrometric Method.
Conductividad Eléctrica a 25 °C	µS/cm	137.80	Norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 22nd Ed. (Incluye Muestreo). Título Conductivity, Laboratory Method
Demanda química de oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	6.72	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22nd Ed. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method: Digestión de 3 mL de la muestra con 3 mL de solución catalizadora y 3 mL de solución digestora a 160 °C por 2 horas. Valoración utilizando Sulfato Ferroso Amoniacal (Sal de Mohr) estandarizada y una solución previa a una + Dicromato de potasio ácido en presencia del indicador Ferroina. Finalmente Se calcula el DQO con fórmula
Color	UVC-Pt-Co	257.00	Método Estándar Platino-Cobalto espectrofotométrico, adaptado al National Council for Air and Stream Improvement (NCASI). Fotocolorimetría, utilizando el equipo DR-900 marca HASH. Norma: SMEWW. Ed.20 (2120C) modificado
Turbiedad	NTU	34.50	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 22nd Ed Turbidity. Título: Nephelometric Method Medición con equipo Turbidímetro marca HANNA HI-98703, normado por la EPA, cumple y sobrepasa los requisitos de la USEPA 180.1, para aguas residuales y Método estándar 2130B, para agua potable
Sólidos totales disueltos	ppm STD	68.90	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 22nd Ed. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
Sólidos totales en suspensión	ppm STS	41.00	MEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C

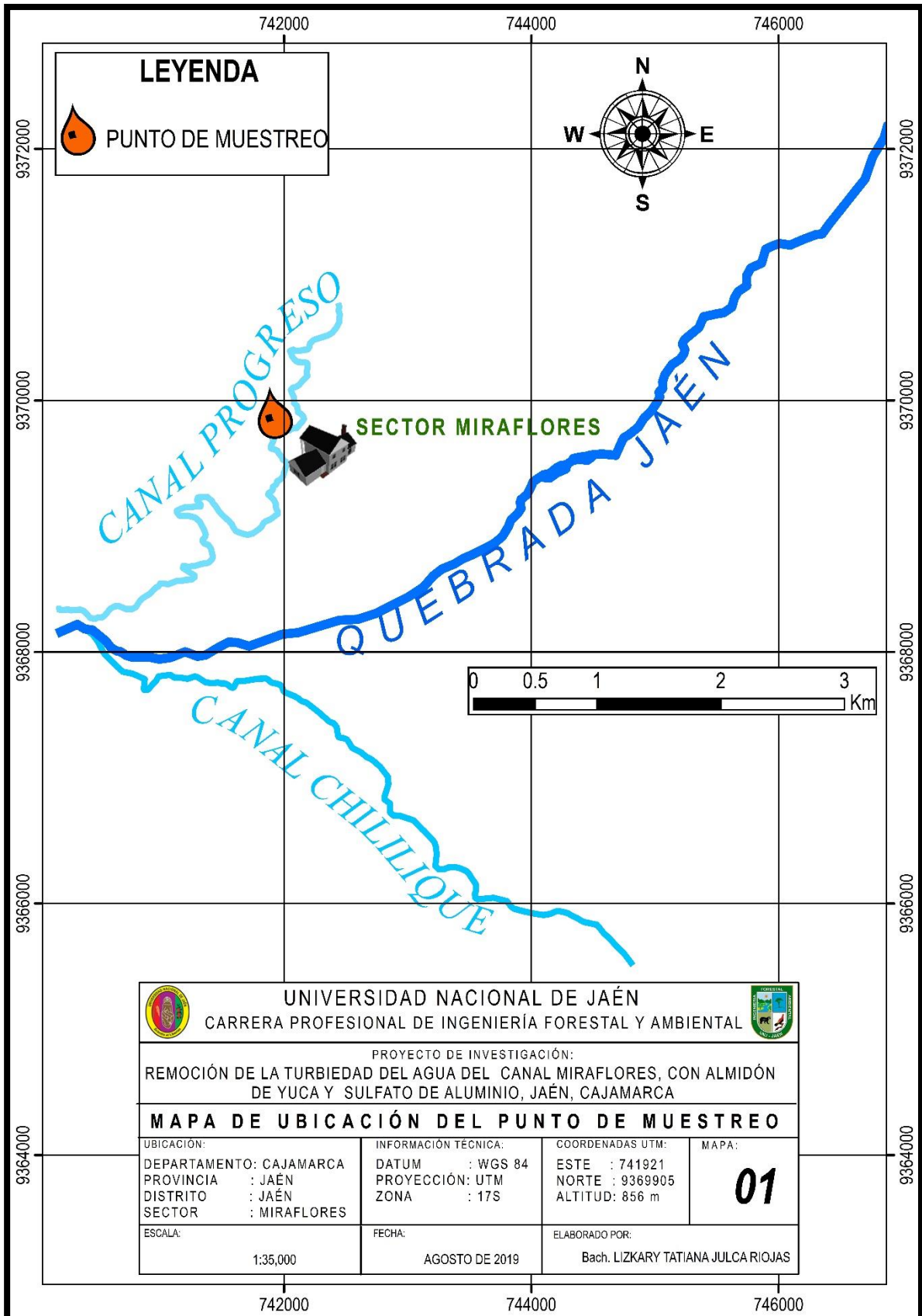


Jorge A. Delgado Soto  
ING. RESPONSABLE  
CIP. 56757



Psje. San Pedro N°113 - Morro Solar Alto - Jaén  
 Cel. 970911920  
 jads14@hotmail.com

Anexo 2. Certificado de análisis de agua



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN</b> CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL 			
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD DEL AGUA DEL CANAL MIRAFLORES, CON ALMIDÓN DE YUCA Y SULFATO DE ALUMINIO, JAÉN, CAJAMARCA			
<b>MAPA DE UBICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO</b>			
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: CAJAMARCA PROVINCIA : JAÉN DISTRITO : JAÉN SECTOR : MIRAFLORES	INFORMACIÓN TÉCNICA: DATUM : WGS 84 PROYECCIÓN: UTM ZONA : 17S	COORDENADAS UTM: ESTE : 741921 NORTE : 9369905 ALTITUD: 856 m	MAPA: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">01</div>
ESCALA: <div style="text-align: center;">1:35,000</div>	FECHA: <div style="text-align: center;">AGOSTO DE 2019</div>	ELABORADO POR: <div style="text-align: center;">Bach. LIZKARY TATIANA JULCA RIOJAS</div>	

Anexo 3. Mapa de ubicación del punto de muestreo



Anexo 4. Toma de muestra



Anexo 5. Pesado, descascarado, lavado y picado de yuca



Anexo 6. Proceso de macerado y licuado de yuca



Anexo 7. Lavado y tamizado de pasta de yuca



Anexo 8. Sedimentación de pasta de yuca



Anexo 9. Refrigeración de pasta de yuca a 18 °C.



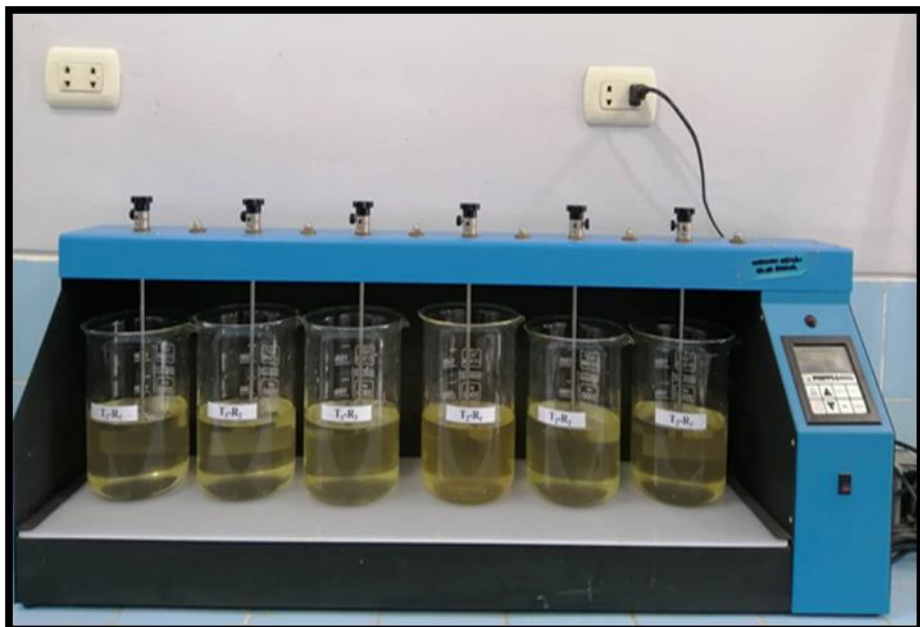
Anexo 10. Centrifugado, secado y triturado de almidón de yuca



Anexo 11. Almidón de yuca y sulfato de aluminio



Anexo 12. Medición de la turbiedad



Anexo 13. Equipo de test de jarras