

“Cassava starch and aluminum sulfate in the removal of chemical oxygen demand from water of the Pollo River, Otuzco”

Diego Franklin Ramos Pastor, Environmental Engineer¹, Ana Maria del Rosario Pastor Torres, Environmental Engineer², y Luis Enrique Alva Díaz, Master of Business Administration³

¹Universidad Privada del Norte, Perú, diegoramos.pastor@gmail.com

²Universidad Privada del Norte, Perú, anamariapastor12345@gmail.com

³Asesor de tesis de Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte, Perú, enrique.alva@upn.pe

Abstract - The following article corresponds to the investigation was to evaluate the effect of cassava starch, aluminum sulfate and the mixture in the chemical oxygen demand removal of water from Río Pollo, Otuzco. The chemical oxygen demand of the Río Pollo water was characterized, the analysis was 68.114 ppm, according to the legal standard this value exceeds the Environmental Quality Standards, Category 3 for Vegetable Irrigation and Animal Drinking. Then a treatment with the coagulation - flocculation process was carried out, using cassava starch and aluminum sulfate as coagulant, the jar test equipment was used, in this investigation a completely randomized statistical design was applied with 2 factors (sulfate aluminum and yucca starch) and 4 replicas. The independent variables were cassava starch (14ppm, 16ppm and 20ppm) and aluminum sulphate (25ppm and 35ppm), the coagulation conditions were: time 1 minute and 120 RPM, flocculation conditions 20 minutes and 30 RPM, the sedimentation time of 20 minutes, from the results we have that the treatment with 20 ppm of cassava starch and 25 ppm of aluminum sulfate, has the lowest COD and the best percentage of COD removal; 33.39 ppm and 50.98%, respectively; therefore it is concluded that there was an effect of aluminum sulfate but not of cassava starch and the mixture in the removal of the chemical demand for oxygen from the Pollo River, Otuzco.

Keywords--- Chemical Demand for Oxygen, Cassava Starch, Coagulation, Flocculation.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.496>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

“Almidón de yuca y sulfato de aluminio en la remoción de demanda química de oxígeno de agua del río Pollo, Otuzco”

Diego Franklin Ramos Pastor, Ingeniero Ambiental¹, Ana María del Rosario Pastor Torres, Ingeniero Ambiental², y Luis Enrique Alva Díaz, MBA en Administración de Empresas³

¹Universidad Privada del Norte, Perú, diegoramos.pastor@gmail.com

²Universidad Privada del Norte, Perú, anamariapastor12345@gmail.com

³Asesor de tesis de Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte, Perú, enrique.alva@upn.pe

Resumen- El siguiente artículo corresponde a la investigación, de evaluar el efecto del almidón de yuca, sulfato de aluminio y la mezcla en la remoción de demanda química de oxígeno de agua del Río Pollo, Otuzco. Se caracterizó la demanda química de oxígeno de agua del Río Pollo, el análisis resultó 68.114 ppm, según la norma legal este valor sobrepasa los Estándares de Calidad Ambiental, Categoría 3 para Riego de Vegetales y Bebida de animales. Entonces se realizó un tratamiento con el proceso de coagulación – floculación, utilizando como coagulante al almidón de yuca y sulfato de aluminio, donde se utilizó el equipo de prueba de jarras. En esta investigación se aplicó un diseño estadístico completamente aleatorizado con 2 factores (sulfato de aluminio y almidón de yuca) y 4 réplicas. Las variables independientes fueron almidón de yuca (14ppm, 16ppm y 20 ppm) y sulfato de aluminio (25ppm y 35ppm), las condiciones de coagulación fueron: tiempo 1 minuto y 120 RPM, las condiciones de floculación de 20 minutos y 30 RPM, el tiempo de sedimentación de 20 minutos, de los resultados se tiene que el tratamiento con las dosis de 20 ppm de almidón de yuca y 25 ppm de sulfato de aluminio, tienen la menor DQO y el mejor porcentaje de remoción de DQO; 33,39 ppm y 50.98 %, respectivamente; por lo tanto se concluye que sí hubo efecto del sulfato de aluminio mas no del almidón de yuca y la mezcla en la remoción de la Demanda química de oxígeno del Río Pollo, Otuzco.

Palabras claves--- Demanda Química de Oxígeno, Almidón de yuca, Coagulación, Floculación

Abstract - The following article corresponds to the investigation was to evaluate the effect of cassava starch, aluminium sulfate and the mixture in the chemical oxygen demand removal of water from Río Pollo, Otuzco. The chemical oxygen demand of the Río Pollo water was characterized, the analysis was 68.114 ppm, according to the legal standard this value exceeds the Environmental Quality Standards, Category 3 for Vegetable Irrigation and Animal Drinking. Then a treatment with the coagulation - flocculation process was carried out, using cassava starch and aluminum sulfate as coagulant, the jar test equipment was used, in this investigation a completely randomized statistical design was applied with 2 factors (sulfate aluminum and yuca starch) and 4 replicas. The independent variables were cassava starch (14ppm, 16ppm and 20ppm) and aluminum sulphate (25ppm and 35ppm), the coagulation conditions were: time 1 minute and 120 RPM, flocculation conditions 20 minutes and 30 RPM, the sedimentation time of 20 minutes, from the results we have that the treatment with 20 ppm of cassava starch and 25 ppm of aluminum sulfate, has the lowest COD and the best percentage of COD removal; 33.39ppm and 50.98%, respectively; therefore it is concluded that there was an effect of aluminum sulfate but not of cassava starch and the mixture

in the removal of the chemical demand for oxygen from the Pollo River, Otuzco.

Keywords--- Chemical Demand for Oxygen, Cassava Starch, Coagulation, Flocculation.

I. INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas están conformadas por ríos que a su vez son sistemas naturales que han sido aprovechados por el ser humano a lo largo de la historia, entre los usos tradicionales sostenibles más destacados está el transporte, tanto de personas como de mercancías, el regadío de pequeños cultivos o la extracción de alimentos a pequeña escala. Sin embargo, en las últimas décadas los aprovechamientos intensos acontecidos en el mundo, como los planes de regadío, producción de energía, la utilización masiva de productos fitosanitarios en la agricultura, el uso de este recurso como vía para la eliminación de residuos y efluentes; han transformado y alterado los ecosistemas fluviales en todo el planeta. Tal es el caso del río Ganges, este río proporciona agua a nada menos que 400 millones de personas. Nace en el Himalaya y abastece a casi la mitad de la población de la India. Cada 12 años, unos 100 millones de hindúes realizan una peregrinación hasta sus aguas, donde buscan purificar sus pecados. En estas peregrinaciones la contaminación aumenta de forma considerable, aunque también hay que destacar que recibe los desechos de numerosas industrias de papel o cuero. Aunque en ocasiones han intentado limpiar, el resultado ha sido un fracaso. Vegas, J. (2016) [20]

A nivel internacional, Velasco et al., (2017), en su investigación “Coagulantes naturales como coadyuvantes en la clarificación de agua residual”, publicado en México, cuyo objetivo fue evaluar el almidón de yuca y almidón acetilado de yuca como coadyuvantes en el proceso de coagulación con sulfato de aluminio. Se concluyó, que la coagulación con almidón y almidón acetilado como coadyuvantes del sulfato de aluminio fue mayor al 80 % para turbidez y SST, y mayor al 40 % para la DQO. Las dosis de almidón y almidón acetilado variaron entre 53 mg/L y 87 mg/L, reduciendo la dosis de sulfato de aluminio a 47 mg/L. Donde el almidón acetilado no se recomienda, ya que presentó remoción de turbidez, SST y DQO, similar al de almidón sin acetilar. [21]

Por otro lado, Tarón et al., (2017) , en su investigación “Evaluación de la Cassia Fistula como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales”, publicado en Colombia, cuyo objetivo fue evaluar el polvo de la semilla de la Cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales domésticas, donde se establecieron dosis óptimas en la prueba de jarras y los parámetros fisicoquímicos de DBO₅, DQO, conductividad, color, turbidez. En conclusión, la dosis óptima del coagulante natural fue entre 15-25mg/L, logrando disminuir 68.2 % para turbidez, 70 % en color, 20% en dureza, 70% en DBO₅ y 0.83 % en DQO. Se pudo inferir que para el resultado de la DQO no afectó significativamente. [18]

Asimismo, Campo et al., (2018), en su investigación “Evaluación preliminar del efecto del quitosano y cascara de naranja en la coagulación-floculación de aguas residuales”, publicado en Colombia, cuyo objetivo fue evaluar el efecto de mezclas de quitosano y extracto acuoso de la cascara de naranja a diferentes concentraciones en el proceso de coagulación-floculación de aguas residuales. Donde, se realizaron prueba de jarras para evaluar la turbidez, DQO, DBO, SST y SS. En conclusión, el tratamiento que combinó quitosano y extracto cascara de naranja en concentraciones de (1; 1,5 y 2%), obtuvieron el mayor porcentaje de remoción de DQO (45%), indicando la efectividad para retirar la materia orgánica de las muestras de aguas. Además, quedó demostrado para todos los tratamientos que presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$). [6]

En el Perú, aunque el agua superficial es relativamente abundante, su calidad es crítica en algunas regiones del país. Uno de los problemas más graves que sufren la costa, sierra y selva del país, es el deterioro de la calidad del agua donde su capacidad física, química y biológica se encuentran alterados, ello constituye un impedimento para lograr un uso eficiente del recurso hídrico, lo que involucra el abastecimiento tanto en calidad como en cantidad, y por ende en la salud de las personas, las actividades pecuarias, agrícolas y la conservación del medio ambiente. (ANA, 2013, p. 66) [4]

Un claro ejemplo de ello es el caso del río más largo del mundo, el Amazonas, donde la población amazónica de las ciudades y las comunidades indígenas arroja basura al río, y a los jardines junto a los árboles. Algunos lo hacen por falta de conocimiento y otros por déficit de infraestructuras. (Escobar, R. (2022) [9] Ante estos acontecimientos, se han aplicado diversas tecnologías a bajo costo, inocuas para la salud humana y respetuosa con el medio ambiente; es por ello que se presentan a los agentes naturales más estudiados y utilizados a nivel mundial como una buena opción; entre ellos está la Moringa oleifera y diferentes cactus, teniendo una gran capacidad en el tratamiento del agua, mediante los procesos de coagulación y floculación, de esta manera se rompe el paradigma de la exclusividad de los productos químicos industriales tales como sulfato de aluminio y sulfato férrico para tratar el agua (Ramírez y Jaramillo, 2015). [15]

En la región La Libertad, se encuentra la cuenca del río Moche y dentro de ella la microcuenca del río Pollo, que provee de recurso hídrico a la ciudad de Otuzco; para las diferentes actividades económicas. Sin embargo, desde hace algunos años existe una degradación de este recurso, que es utilizado como fuente para la eliminación de residuos y efluentes, los cuales degradan la calidad del ecosistema acuático. [8]

De lo expuesto, se infiere que el río Pollo no es ajeno a la contaminación ya sea natural o antrópica. Ante esta problemática existe el interés de realizar la investigación que permita conocer el efecto del almidón de yuca, sulfato de aluminio y la mezcla para la remoción de la Demanda Química de Oxígeno del río Pollo.

A. *Objetivo General*

Evaluar el efecto del almidón de yuca, sulfato de aluminio y la mezcla como coagulador en la remoción de Demanda química de oxígeno de agua del Río Pollo, Otuzco en el año 2019.

B. *Objetivos Específicos*

- Determinar la caracterización inicial de los parámetros; pH, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez y DQO en el Río Pollo.
- Determinar la dosis óptima de almidón de yuca, sulfato de aluminio y la mezcla que permita determinar la menor concentración de DQO y mayor porcentaje de remoción de DQO.
- Comparar los resultados obtenidos de la dosis óptima de almidón de yuca, sulfato de aluminio y la mezcla con los Estándares de Calidad Ambiental: Categoría 3, para DQO en el D.S N° 004-2017-MINAM.

II. METODOLOGÍA

A. *Preparación del Almidón de Yuca*

Para obtener el almidón, se utilizó una metodología similar a la de Cabrera, G. y Ramírez, J. (2014), se compró 5 kg de yuca del mercado Mayorista, se procedió a lavar y eliminar la tierra y las impurezas adheridas a la cascarilla de las raíces de la yuca, junto con esa misma cascarilla (corteza externa o periderma). Las raíces se pelaron con cuchillo. Se volvió a lavar una vez pelada la yuca, además la yuca fue picada en trozos pequeños y desintegrados en una licuadora a prueba de impacto, donde se adicionó agua, de este proceso se obtiene una masa homogénea. Posteriormente se realizó el cernido, donde se separó la pulpa o material fibroso de la lechada usando un colador convencional, a continuación, se hace un segundo cernido en un tamiz 100 (escala Tyler), de esta manera se retienen pequeñas fibras que hayan podido filtrarse en el primer colado. La lechada de yuca que sale del proceso de colado estuvo almidón en suspensión, esta lechada se almacenó en un recipiente donde se llevó a cabo la sedimentación del almidón por un periodo de 6 horas; al fin al de esta etapa quedó una capa de almidón compactado en el fondo y el agua sobrenadante se desecha. Por último, el almidón húmedo es secado en una estufa a temperatura de 45 °C. por 24 horas. [5]

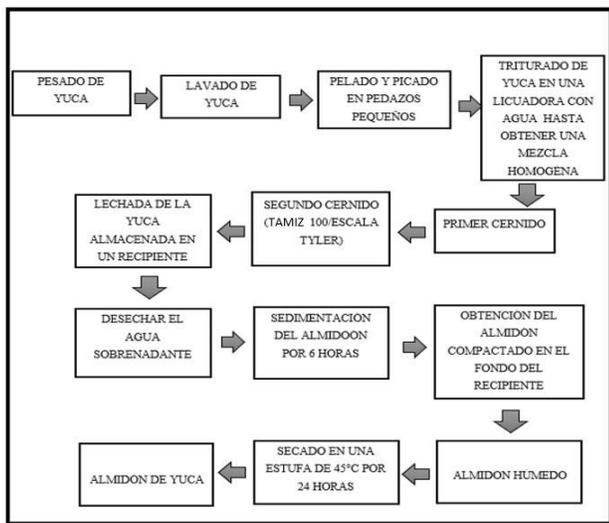


Fig. 1. Flujograma del proceso de obtención de almidón de yuca

TABLA I
CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE YUCA

Propiedad	Valor	Método
Estado físico	Sólido	Visual
Color	Blanco	Visual
Ph	8.2	Potenciométrico
Densidad (g/ml)	0.7	***

B. Preparación del Sulfato de Aluminio

El sulfato de aluminio coagulante que se utilizó fue de tipo B, se preparó pesando 2 gramos de este, el cual se disolvió con agua destilada en una fiola de 1000ml, obteniéndose una solución al 0.2%. Esto se hizo para evitar que la solución se hidrolice y pueda perder su capacidad de coagulación.

C. Ensayo de la Demanda Química de Oxígeno

Para determinar la DQO en el Río Pollo, Otuzco; se aplicó la metodología sugerida por el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” editado por el APHA, AWWA y WEF (2012) [2]. Para ello se utilizó el equipo: Digestor Digiprep (Marca: scp science), serie: JRX1015291995. El procedimiento se realizó en el Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Privada del Norte. [10].

- Solución de digestión:
Se añadió en 500 ml de agua destilada, 10,216 gramos de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), previamente secado a $103^\circ C$ durante un tiempo de 2 horas, 167 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y 33,3 gramos de sulfato de mercurio ($HgSO_4$). Se disolvió y dejó enfriar hasta temperatura ambiente y se diluyó hasta 1000 ml.

- Solución de ácido sulfúrico:
Se añadió sulfato de plata (Ag_2SO_4) al ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), de tal manera que entre estos dos compuestos exista una relación de 5,5 g de Ag_2SO_4 por Kg de H_2SO_4 y se disolvió.

Procedimiento:

Antes del análisis de las muestras, se procedió a preparar una curva de calibración, de acuerdo con la Ley de Beer, la cual indica que existe una relación directamente proporcional entre la señal emitida (Absorbancia) y concentración de la DQO (mg/IO_2 químico).

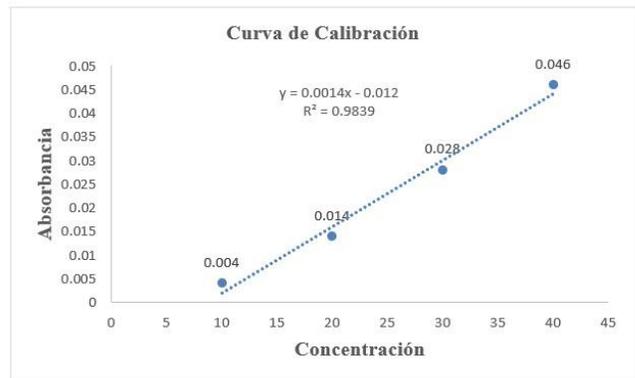


Fig. 2. Curva de calibración de los estándares

- Pendiente: 0.0014
- Intercepto: 0.012
- Coeficiente de Correlación: 0.9839

Se realizaron las diluciones respectivas a partir del estándar de 60 ppm de DQO. Para esto se preparan estándares de 10, 20, 40 y 60 ppm de DQO. Para el análisis de las muestras, en un tubo estándar de 10 ml de, se tomó 2,5 ml de muestra, para luego añadir 1,5 ml de solución de digestión y 3,5 ml de solución de ácido sulfúrico. Se agito la muestra. Junto con la muestra se tomó un blanco (agua destilada) y un patrón de control de biftalato de potasio para verificar la respuesta del análisis.

Las muestras y los controles se llevaron a un digestor de DQO a una temperatura de $150^\circ C$ por espacio de 2 horas. Una vez terminada la digestión, las muestras se dejaron enfriar por 20 minutos a que baje la temperatura a $120^\circ C$, luego se agitaron los viales de arriba abajo dos veces. Seguidamente se llevó al colorímetro, se procedió a leer a una $\lambda = 610$ nm. Donde primero

se colocó como cero el vial del blanco. Los resultados obtenidos son comparados con la curva de calibración previamente preparada.

$$DQO = \frac{Abs \cdot b}{m} \quad (1)$$

En la ecuación anterior:

DQO = Demanda Química de Oxígeno (mg/1 O₂ químico)

Abs = Absorbancia de la muestra

b = Intercepto de la curva de calibración

m = Pendiente de la curva de calibración

Prueba de jarras (Jar Test)

Es un método de simulación de los procesos de Coagulación y floculación, realizado a nivel de laboratorio que permite obtener agua de buena calidad, fácilmente separable por decantación; los flóculos formados con diferentes dosis del coagulante dan como resultado valores de turbiedad diferentes (Cueva, 2014).[7]

En este equipo, es posible simular la coagulación, a través de la mezcla rápida entre los reactivos, y la floculación, reduciéndose a rotación del sistema para la inducción de gradientes de velocidad que favorezcan la formación y el crecimiento de los flóculos, las jarras tienen formato cuadrado para minimizar la formación de vórtices, en los cuales las partículas giran en la misma dirección unas con relación a las otras y reducirían las posibilidades de colisiones, fundamentales en la (mezcla rápida) contacto entre coagulante y partículas disueltas / coloidal y en la (mezcla lenta) agregación de microflóculos (Lima y Abreu, 2018).[12]

La coagulación química y la dosificación apropiada de reactivos deben ser seleccionadas por la simulación del paso de clarificación en un laboratorio a escala. La Prueba de Jarras es la que mejor simula la química de la clarificación y la operación llevada a cabo. Un arreglo simple de vasos de precipitado y paletas permite comparar varias combinaciones químicas, las cuales todas están sujetas a condiciones hidráulicas similares (Hernán Restrepo, 2009).[16]

D. Tipo de Investigación

De acuerdo con el desarrollo de la investigación, los objetivos planteados y las variables, el diseño de investigación es de tipo experimental.

Tipo/Sub tipo de Diseño: La investigación es experimental Pura- Diseño Bifactorial.

E. Método de análisis de datos

El método estadístico, correspondió a un diseño completamente aleatorizado con 2 factores (sulfato de aluminio y almidón de yuca) con 4 réplicas. Se realizó el análisis de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Anderson-Darling y Levene, respectivamente; posteriormente al cumplirse estos supuestos se realizó las pruebas paramétricas de análisis de varianza (ANOVA), y a continuación, la prueba de comparaciones

múltiples de diferencia mínima significativa de Fisher la cual comparó los resultados mediante la formación de subgrupos. Todas las pruebas estadísticas se realizaron con un nivel de confianza del 95%. Para procesar los datos se utilizó el software Minitab 18.

TABLA II
DISEÑO BIFACTORIAL CON 4 RÉPLICAS

FACTOR		TRATAMIENTO	REPLICAS				TRATAMIENTO
A SULFATO DE ALUMINIO	B ALMIDÓN DE YUCA		I	II	III	IV	
25 mg/L	14 mg/L	25 mg/L - 14 mg/L	T1	T1	T1	T1	T1 (4)
		25 mg/L - 16 mg/L	T2	T2	T2	T2	T2(4)
		25 mg/L - 20 mg/L	T3	T3	T3	T3	T3 (4)
35 mg/L	20 mg/L	35 mg/L - 14 mg/L	T4	T4	T4	T4	T4 (4)
		35 mg/L - 16 mg/L	T5	T5	T5	T5	T5(4)
		35 mg/L - 20 mg/L	T6	T6	T6	T6	T6(4)
BLOQUES			1	2	3	4	24

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los resultados de la caracterización inicial del Río Pollo en la provincia de Otuzco. Donde se hizo la Comparación de los parámetros iniciales fisicoquímicos, con el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Categoría 3: Riego de Vegetales y bebida de animales.

TABLA III
CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO POLLO

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	ECA CATEGORÍA 3 - MINAM	CUMPLE EI PARÁMETRO
pH	Unidades	6.63	6.5-8.5	SI
Temperatura	°C	22.8	△ ³	SI
OD	mg/L	8.4	≥ 4	SI
Turbidez	NTU	97.3	-----	-----
DQO	mg O ₂ /L	68.114	40	NO

En la figura 3,4 y 5, se mostraron los resultados de las interacciones de almidón de yuca (14,16 y 20 mg/L) y sulfato de aluminio (25 y 35 mg/L), llegando a tener una DQO de 33.39 mg O₂/L y el mejor porcentaje de remoción a 50.96%, con las dosis de 20 mg/L para el almidón de yuca y 25 mg/L para el sulfato de aluminio, respectivamente; resultados similares fueron reportados por investigaciones, según Velasco et al.,2017, quien menciona que las dosis de almidón de yuca y almidón acetilado tuvieron una dosis de 53 a 87 mg/L, y para el

sulfato de aluminio una dosis de 47 mg/L, logrando un porcentaje de remoción de DQO a 40 %, sin embargo debe tenerse en cuenta que el agua tratada para este autor proviene de aguas residuales, mientras que en este estudio es de agua superficial de un Río; así mismo Vaca et al., 2014, quien menciona que el polvo de nopal como coagulante primario de aguas residuales, resultó efectivo logrando una remoción de DQO a 34% [19]. Según la base teórica del proceso de coagulación, indica que tanto los coagulantes naturales y coagulantes comerciales desestabilizan las partículas coloidales, para promover su aglomeración, las cuales contienen en su mayoría las aguas naturales superficiales de río, como nuestra fuente característica (agua de Río pollo) y por ende reduce todos los parámetros insolubles que dependen de esta como: DQO, turbidez, sólidos suspendidos, etc. (Andía et al., 2000) [1]. Además, se confirmaron que los resultados de la figura 11 y 13, en base según MINAM, 2017 donde se menciona sobre el Estándar de Calidad Ambiental para agua (ECA) de Categoría 3; para el parámetro de la DQO debiendo ser 40 mg O₂/L como máximo; en la investigación se corroboró que se obtuvo una DQO de 33.39 mgO₂/L, cumpliendo con lo establecido, según la normativa vigente (ECA, categoría 3).

En las tablas 4 y 7, se realizaron las pruebas de Anderson-Darling y Levene para garantizar que de los datos se puedan trabajar con pruebas paramétricas, es por ello por lo que en las tablas 5 y 8 se reportan los resultados de la prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) para la DQO y remoción de DQO, reporta que los valores P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que, para el sulfato de aluminio, presentó un efecto significativo (P < 0.05), caso contrario ocurrió para la dosis de almidón y la interacción sulfato-almidón, rechazando la hipótesis general y aceptando una de las hipótesis específicas; se puede decir que el almidón de yuca no fue tan efectivo porque su efecto desestabilizador es menor que de los coagulantes comerciales o la mayoría de las cantidades de sustancias presentes en el agua del Río Pollo, son susceptibles de ser oxidadas por medios ácidos debido a que están disueltas mas no suspendidas, ya que el proceso de coagulación, floculación y sedimentación remueve solo las partículas suspendidas; en otra investigación se mencionó que el tratamiento de la combinación de quitosano y extracto cascara de naranja, mostró efectividad para retirar la materia orgánica de las muestras de aguas residuales, presentando así diferencias significativas (P < 0.05), para los parámetros de DQO, DBO, SST y SS (Campo et al., 2018) [6]; así mismo Tarón et al., 2017, mencionó que la dosis óptima de la Cassia Fistula fue entre 15-25 mg/L, logrando una remoción de DQO a 0.83 %, donde se pudo inferir que no afectó significativamente. Según la base teórica del sulfato de aluminio, es el agente coagulante más utilizado, por su efecto de remoción y sus bajos costos. Gauto, M. y Rosa, R. (2011) [11]. Se recomienda investigar nuevos coagulantes naturales que permitan reducir las dosis de sales usadas como coagulantes, para disminuir costos y así desarrollar nuevas formas viables para la remoción de la demanda química de oxígeno.

En la tabla 6 y 9, se realizaron las pruebas de Fisher, donde la dosis de 25 mg/L para sulfato de aluminio y para las concentraciones de 14,16 y 20mg/L de almidón de yuca, presentaron los menores valores de DQO (35.34, 35.36 y 33.39 mgO₂/L) y mayor remoción de DQO (47.83, 48.09 y 50.98) respectivamente; eso quiere decir que al utilizar la menor dosis de sulfato de aluminio se obtuvo una menor DQO y por lo tanto una mayor remoción de DQO, según la investigación de Ramavandi y Farjadfard [15], 2014, menciona que se logró un porcentaje alto de eliminación de DQO de 89 %, con una dosis baja de 1.5 mg/L de FCE; así mismo en la investigación de Dearmas y Ramírez, (2015) [8], menciona que con dosis de Moringa Oleífera y Cardón guajiro, 45-65 mg/L respectivamente y para el sulfato de aluminio y policloruro de aluminio con dosis de 600 mg/L a 800 mg/L, lograron una remoción de 84,71 % para los coagulantes naturales y 81,91 % para los coagulantes sintéticos. En otras investigaciones según, Lozano, 2012 [13], quien menciona que obtuvo mejoras promedio utilizando el extracto de fique como coadyuvante de coagulación en tratamiento de lixiviados, concluyó que empleando 3000 mg/L de cloruro férrico hexahidratado y 40 mg/L de extracto de hoja de fique, logró una remoción del 9% de DQO; asimismo el autor Fuentes et al., 2016 [10] en su investigación, menciona que los coagulantes naturales son eficientes, seguros y económicos para el tratamiento de aguas, con menor generación de lodos, gracias a los mecanismos de adsorción y neutralización de cargas. Según la base teórica Richter, 2009 [17] menciona que diversos factores afectan el proceso de coagulación: dosis de coagulante, pH, concentración de coloides, color o concentración de sustancias orgánicas en el agua, hasta la temperatura del agua. En este caso puede ser uno de los factores para que el sulfato de aluminio con dosis de 35 mg/L, se haya obtenido la mayor DQO y menor remoción de DQO. Se recomienda estudiar el almidón de yuca como coagulante natural en diferentes porcentajes y en diferentes tipos de aguas, para así obtener mejores resultados.

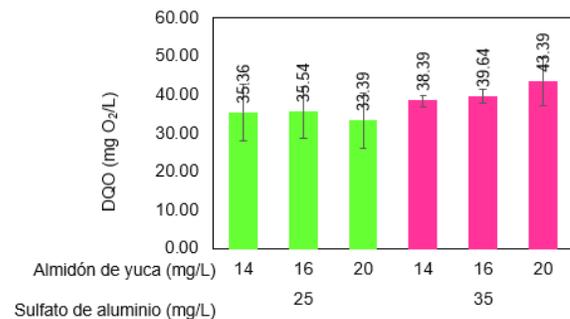


Fig. 3. Determinación promedio de las dosis óptimas de almidón de yuca y sulfato de aluminio frente a la menor cantidad de DQO

En la figura 3, se observa que a menor concentración de sulfato de aluminio la DQO fue menor, para la concentración de sulfato de aluminio de 25 mg/L, al aumentar la concentración

de almidón de yuca la DQO se encontró en el rango de 33.39 a 35.54 mg O₂/L; y para la concentración de sulfato de aluminio de 35 mg/L al aumentar la concentración de almidón de yuca la DQO se encontró en el rango de 38.39 a 43.39 mg O₂/L.

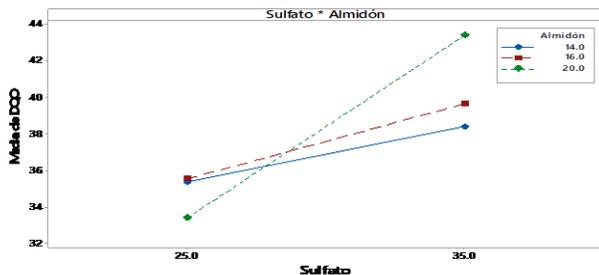


Fig. 4. Media de Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En la figura 4, no se evidencia la interacción entre el sulfato de aluminio y el almidón de yuca, si es notorio que, a mayor sulfato de aluminio, independiente de la dosis de almidón de yuca la DQO es mayor.

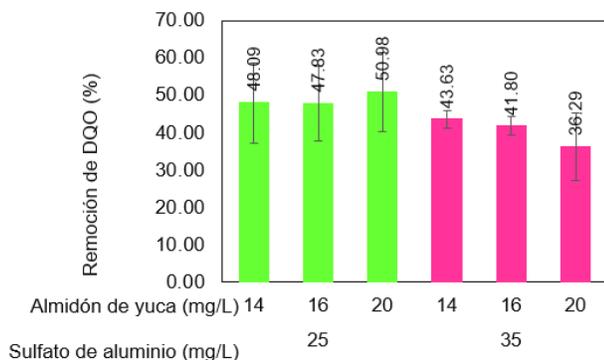


Fig. 5. Determinación promedio de las dosis óptimas de almidón de yuca y sulfato de aluminio frente al mayor porcentaje de remoción de DQO

En la figura 5, se observa que a menor concentración de sulfato de aluminio la remoción de DQO fue mayor; para la concentración de sulfato de aluminio de 25 mg/L, al aumentar la concentración de almidón de yuca la remoción de DQO se encontró en el rango de 47.03 a 50.96%; y para la concentración de sulfato de aluminio de 35 mg/L al aumentar la concentración de almidón de yuca la remoción de DQO se encontró en el rango de 36.29 a 43.63%.

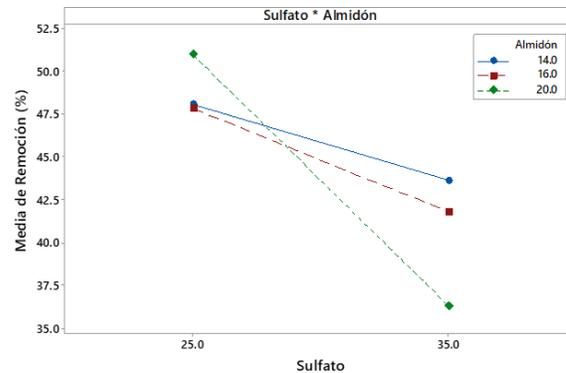


Fig. 6. Media de porcentaje de remoción de DQO

En la figura 6, no se evidencia la interacción entre el sulfato de aluminio y el almidón de yuca, si es notorio que, a menor sulfato de aluminio, independiente de la dosis de almidón la remoción de DQO es mayor.

TABLA IV
PRUEBA DE ANDERSON

Normalidad		Homogeneidad de varianzas	
Anderson-Darling	p	Levene	P
0.667	0.071	1.54	0.226

Según la tabla 4, se presenta la prueba de Anderson-Darling que indicó que los residuales para la variable (DQO) se distribuyen normalmente ($p > 0.05$), además de existir homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$) según la prueba de Levene, por lo que posteriormente se procesó estos datos con pruebas paramétricas.

TABLA V
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA DQO

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Sulfato: S	1	195.918	195.918	9.2	0.008
Almidón: A	2	9.226	4.613	0.22	0.808
S*A	2	56.25	28.125	1.32	0.296
Bloques	3	261.565	87.188	4.09	0.026
Error	15	319.558	21.304		
Total	23	842.517			

Según la tabla 5, se observa que el análisis de varianza indica que la concentración de sulfato de aluminio presentó efecto significativo ($p < 0.05$) sobre DQO, caso contrario ocurrió para la concentración de almidón de yuca y la interacción sulfato de aluminio-almidón de yuca. Además, se evidencia diferencia entre bloques ($p < 0.05$).

TABLA VI
MÉTODO LSD (DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA) DE FISHER
PARA DQO

Sulfato de aluminio (mg/L)	Almidón de yuca (mg/L)	DQO (mg O ₂ /L)	Agrupación	
35	20	43.39	A	
35	16	39.64	A	B
35	14	38.39	A	B
25	16	35.54		B
25	14	35.36		B
25	20	33.39		B

Según la tabla 6, se observa que la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher Nota: En la tabla 8, se observa que la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher indica que los tratamientos con sulfato de aluminio de 25 mg/L para las concentraciones de almidón de yuca de 16, 14 y 20 mg/L, presentaron los menores valores de DQO de 35.54, 35.36 y 33.39 mg O₂/L, respectivamente (estadísticamente iguales al compartir la misma letra).

TABLA VII
PRUEBA DE ANDERSON-DARLING Y LEVENE EN LA REMOCIÓN DE DQO

Normalidad		Homogeneidad de varianzas	
Anderson-Darling	p	Levene	p
0.667	0.071	1.54	0.226

En la tabla 7, se realizó la prueba de Anderson-Darling que indicó que lo residuales para la variable (remoción) se distribuyen normalmente ($p > 0.05$), además de existir homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$) según la prueba de Levene, por lo que posteriormente se procesó estos datos con pruebas paramétricas.

TABLA VIII
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REMOCIÓN DE DQO

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	P
Sulfato: S	1	422.28	422.282	9.2	0.008
Almidón: A	2	19.89	9.943	0.22	0.808
S*A	2	121.24	60.621	1.32	0.296
Bloques	3	563.78	187.925	4.09	0.026
Error	15	688.77	45.918		
Total	23	1815.96			

En la tabla 8, se observa el análisis de varianza indica que la concentración de sulfato presentó efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la remoción de DQO, caso contrario ocurrió para la concentración de almidón y la interacción sulfato-almidón. Además, se evidencia diferencia entre bloques ($p < 0.05$).

TABLA IX

Sulfato de aluminio (mg/L)	Almidón de yuca (mg/L)	Remoción de DQO (%)	Agrupación	
25	20	50.98	A	
25	14	48.09	A	
25	16	47.83	A	
35	14	43.63	A	B
35	16	41.80	A	B
35	20	36.29		B

MÉTODO LSD (DIFERENCIA SIGNIFICATIVA DE FISHER PARA REMOCIÓN DE DQO)

IV. CONCLUSIONES

- Se concluyó que sí hubo efecto del sulfato de aluminio en la remoción de la Demanda química de oxígeno mas no del almidón de yuca y la mezcla en las aguas contaminadas del Río Pollo, Otuzco.
- Se determinó que los parámetros iniciales si cumplieron con el ECA categoría 3; excepto la demanda química de oxígeno (DQO).
- De los resultados obtenidos se demostró que la dosis de sulfato de aluminio a 25 mg/L y almidón de yuca a 20 mg/L, permitió obtener menor DQO (33.39 mgO₂/L) y mayor remoción de DQO (50.98%) en aguas del Río pollo, Otuzco.
- Se comparó la dosis optima de almidón de yuca y sulfato de aluminio con el ECA categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales, según el D.S N° 004-2017-MINAM, dando como resultado de 33.39 mgO₂/L, estando por debajo de lo establecido en el ECA.

V. RECONOCIMIENTO

Los autores, quieren agradecer a Dios por permitirnos ser parte de esta investigación y guiarnos en cada paso, a la Universidad Privada del Norte, por brindarnos una educación de calidad, igualmente agradecemos a nuestros familiares a los que están y ahora no por causa de la pandemia, a ellos dedicarles, por habernos apoyado a cumplir cada meta propuesta y para terminar a los docentes y asesores por los conocimientos brindados y experiencia a lo largo de esta investigación.

VI. REFERENCIAS

1. Andía Cárdenas, Y., de Vargas, L., & Barrenechea Martel, A. (2000). Tratamiento de agua: coagulación-floculación. Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico. SEDAPAL. Recuperado de http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
2. APHA (2012). Standard methods for the examination of waters and wastewaters. 22th Edition. Washington, DC: American Public Health Association, Water Pollution Control Federation.
3. ASTM D2035-80 (2003), Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water, ASTM International, West Conshohocken, PA, 198

4. ANA (2013) *Plan de Recursos Hídricos del Perú*. ANA. Consultado el 04 de marzo de 2022. <http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/plannacionalrecursoshidricos2013.pdf>
5. Cabrera, G. y Ramirez, J. (2014). *Almidón extraído de la yuca (Manihot Esculenta Crantz) como coagulante alternativo para tratamiento del agua de la quebrada Yamuesquer municipio de Potosí*. [Tesis de grado, Universidad de Nariño]. <https://sired.udenar.edu.co/2962/>
6. Campo, Y. (2018, julio) Evaluación preliminar del efecto del quitosano y cascara de naranja en la coagulación-floculación de aguas residuales, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2). <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/990>
7. Cueva, H. (2014) *Diseño de experimentos en la remoción de metales pesados en aguas residuales de la industria minera por procesos de coagulación con sulfato ferroso* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú]. Repositorio institucional de la universidad de Lima <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4444>
8. Dearmas, D. (2015) Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5628793>
9. Escobar, R. (2022, febrero 03). La irónica carencia de agua potable de los moradores de la Amazonía. *El fallo que hace agua*. <https://elpais.com/planeta-futuro/2022-02-04/la-ironica-carencia-de-agua-potable-de-los-moradores-de-la-amazonia.html>
10. Fuentes, N. (2016) Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. *Revista Producción + Limpia*, 11(2). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000200005&lang=es
11. Gauto, M. y Rosa, R. (2011). *Processos e Operacoes Unitárias da Indústria Química*. Editora Ciencia Moderna.
12. Lima, J. (2018) Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Floculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. *Revista Virtual Química*, 10(3). <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/RaimundoNoPrelo.pdf>
13. Lozano, W. (2012) Uso del extracto de fique (*Furcraea* sp.) como coadyuvante de coagulación en tratamiento de lixiviados. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(3). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000300004
14. MINAGRI (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. MINAGRI. Consultado el 04 de marzo de 2022. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf
15. Ramavandi, B. (2014, enero) Removal of chemical oxygen demand from textile wastewater using a natural coagulant, Iran. *Revista Korean Journal of Chemical Engineering*, 31(1). <https://link.springer.com/article/10.1007/s11814-013-0197-2>
16. ISA (2009) *Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. ISA. Consultado el 04 de marzo de 2022. <http://www.isa.ec/index.php/va-viene/entrv/prueba-de-jarras>
17. RICHTER, C. (2009) *Água - Métodos e Tecnologia De Tratamento*. AGUA métodos e tecnología de tratamiento. Consultado el 04 de marzo de 2022. https://issuu.com/editorablucher/docs/issuu_agua_isbn9788521204985
18. Tarón, A. (2017, junio) Evaluación de la Cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales, Colombia. *Revista SciELO*. <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v21n1/0121-3709-rori-21-01-00073.pdf>
19. Vaca, M. (2014, diciembre) Aplicación del Nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante primario de aguas residuales. *Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: investigación, desarrollo y práctica*, 7(3). <http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/46815/42201>
20. Vegas, J. (2016, septiembre 16). Los cinco ríos más contaminados del mundo. *Los ríos más contaminados del planeta*. <https://www.eltiempo.es/noticias/los-5-rios-mas-contaminados-del-mundo>
21. Velasco, M. (2017). Coagulantes Naturales como coadyuvantes en la clarificación de agua residual, México. *Revista AIDIS*, 3(1). <http://www.amica.com.mx/issn/Tabasco/AMI-151.pdf>