

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR



CENTRO PARA  
A VALORIZAÇÃO  
DE RESÍDUOS

## BOOK OF PROCEEDINGS

### VIII INTERNATIONAL CONGRESS

## INDUSTRIAL PROCESSES, HYDROCARBONS AND THE ENVIRONMENT

VIII ICIPE 2021



### TOPICS

- ✓ INDUSTRIAL PROCESSES AND SIMULATION
- ✓ CLIMATE CHANGE AND BIOTECHNOLOGY
- ✓ PETROLEUM
- ✓ THERMODYNAMICS AND ENERGY
- ✓ FOOD AND AGRO INDUSTRY
- ✓ ENVIRONMENTAL SANITATION
- ✓ SECURITY
- ✓ HEALTH
- ✓ MINING

Code: VIII-ICIPHE-FC-ESPOCH-2021-003DPU  
ISBN: 978-9942-801-25-8

**Proceeding Book**

**VIII International Congress**

# **Industrial processes, Hydrocarbons and the Environment**

EDITION

GIADÉ – Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la  
ESPOCH

EDITORS

Eng. Hanníbal Lorenzo Brito Moína Ph.D.  
Nd. Susana Isabel Heredia Aguirre MSc.

COVER DESIGN

Eng. Geovanna Elizabeth Lobato Freire

october 2021



## HONOR COMMITTEE

- ✓ *Byron Vaca Barahona Ph.D. Rector of the Higher Polytechnic School of Chimborazo, Ecuador.*
- ✓ *Fernando Sempértegui Ph.D. Rector of the Central University of Ecuador, Ecuador.*
- ✓ *Celso Recalde Ph.D. Dean of the Faculty of Sciences. Higher Polytechnic School of Chimborazo (ESPOCH).*
- ✓ *Gustavo Pinto MSc. Dean of the Faculty of Engineering in Geology, Mines, Petroleum and Environmental (FIGEMPA). Central University of Ecuador.*
- ✓ *Cándida Guerra Ph.D., University Minho (GUIMARAES – PORTUGAL)*
- ✓ *Bolívar Flores Mg. Director of Chemical Engineering. Higher Polytechnic School of Chimborazo (ESPOCH).*
- ✓ *Teresa Palacios MSc. Director of Environmental Engineering Career. Faculty of Engineering in Geology, Mines, Petroleum and Environmental (FIGEMPA). Central University of Ecuador.*
- ✓ *Bolívar Enríquez MSc. Director of Petroleum Engineering Career. Faculty of Engineering in Geology, Mines, Petroleum and Environmental (FIGEMPA). Central University of Ecuador.*

## ORGANIZING COMMITTEE

- ✓ *Eng. Hannibal Brito Ph.D. (Chair of the Organizing Committee)*
- ✓ *Eng. Bolívar Enríquez (Environmental Engineering Career UCE)*
- ✓ *Eng. Teresa Palacios (Environmental Engineering Career UCE)*

## SCIENTIFIC COMMITTEE

- ✓ *Profesor Eng. José Manuel López Nieto Ph.D. Polytechnic university of Valencia, Spain*
- ✓ *Profesor Dr. José Manuel Herrero Martínez Ph.D. Universitat de València, Spain*
- ✓ *Profesor Dr. Edwin Palacio Ph.D. Universitat de les Illes Balears, Spain*
- ✓ *Professor Erika Vagi Ph.D. Budapest University of Technologies and Economics, Hungary*
- ✓ *Professor André Ribeiro Ph.D. CVR – Center for Waste Valorisation, Portugal*
- ✓ *Profesor Sergio Lira Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Dr. Yonathan Parra Ph.D. Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Eng. Teresa Palacios MSc., Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Dr. Cesar Chávez Ph.D. Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Dra. María Gabriela Leal Ph.D. Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Eng. Carolina Montero Ph.D. Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Professor Eng. Khaled Hamad Ph.D. National Polytechnic University, Ecuador*
- ✓ *Professor Geovanny Del Pozo Ph.D. Technical University of Ambato, Ecuador*
- ✓ *Professor Robert Cazar Ph.D. Higher Polytechnic School of Chimborazo, Ecuador*

*VIII International Congress Industrial Processes, Hydrocarbons and the Environment (VIII ICIPHE 2021)*

- ✓ *Dr. Fabián Ernesto Arias Ph.D. Higher Polytechnic School of Chimborazo, Ecuador*
- ✓ *Eng. Diego Burbano Ph.D. Higher Polytechnic School of Chimborazo, Ecuador*
- ✓ *Bqf. Adriana Rodríguez, Higher Polytechnic School of Chimborazo, Ecuador*
- ✓ *Nd. Isabel Heredia, Higher Polytechnic School of Chimborazo, Ecuador*
- ✓ *Eng. Violeta Dalgo MSc. Higher Polytechnic School of Chimborazo, Ecuador*
- ✓ *Eng. Ramiro Villegas Ph.D. Quevedo State Technical University, Ecuador*
- ✓ *Eng. Elizabeth Orozco, Higher Polytechnic School of Chimborazo, Ecuador*
- ✓ *Eng. Nelly Flores Ph.D. Superior Polytechnic School of the Army, Ecuador*
- ✓ *Eng. Cristian Flores MSc., Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Eng. María Augusta Guadalupe, Estatal Amazónica University, Puyo, Ecuador*
- ✓ *Eng. Clara Ruiz, FISSO, Ecuador*
- ✓ *Eng. Anabel Chariguamán, Uniandes University, Ecuador*
- ✓ *Eng. Carla Toledo, Oncomedic, Ecuador*
- ✓ *Eng. Miguel Pilco, Grupo Familia Sancela, Ecuador*

**ORGANIZED BY**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA  
DE CHIMBORAZO



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL  
ECUADOR



CVR – CENTER FOR WASTE  
VALORISATION (PORTUGAL)

## SPONSORED BY



**FROM THE EDITOR**

*Dear colleagues,*

*It is with great pleasure that we bring to you this **Book of Proceedings** developed within the context of the VIII International Congress Industrial Processes, Hydrocarbons and the Environment (VIII ICIPHE 2021).*

*The VIII ICIPHE 2021, which takes place annually, is a platform for scientists and representatives of the productive sector of industry, hydrocarbons and the environment from all over the world to share their experiences and knowledge with all attendees. Discussions about the balance between economic, environmental and social outcomes are carefully addressed. The development of innovative techniques, tools and strategies on industrial processes, hydrocarbons and the environment can help in the economic, social and environmental development of a country.*

*This editorial work continues the publication of scientific articles developed around oral presentations at this international congress, taking the scope of this scientific and technological event beyond the limits of its physical occurrence.*

*This issue contains 9 papers presented at the edition of 2021. They consist of improved and developed scientific papers, constituting an additional outcome to the conference.*

*The scientific articles are divided into the following subject areas: industrial processes and simulation, thermodynamics and energy, biotechnology, climate change and environmental sanitation, mining, health and safety.*

*We hope you benefit from the investigation papers presented and that they encourage you to bring your work to the 2022 edition, in Ecuador.*

*Chair of the Organizing Committee*

*Hannibal Brito M.*

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. <u>EXTRACCIÓN DE UN POLÍMERO NATURAL A BASE DE ARROZ (ORYZA SATIVA) Y MAÍZ PISINGALLO (ZEA MAYS)</u></b>	<b>10</b>
<b>2. <u>APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA EXTRACCIÓN DE PULPA CELULOSA PARA LA ELABORACIÓN DE SORBETES</u></b>	<b>27</b>
<b>3. <u>INCIDENCIA QUE TIENE EL PROCESO DE EXTRACCIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN A PARTIR DEL MAÍZ (ZEA MAYS)</u></b>	<b>41</b>
<b>4. <u>INCIDENCIA DE LAS OPERACIONES UNITARIAS EN LA OBTENCIÓN DE ALMIDON DE OCA</u></b>	<b>55</b>
<b>5. <u>COMPOSTAJE DE LOS RESIDUOS VEGETALES GENERADOS EN LA EP – EEMPA MERCADO DE PRODUCTORES SAN PEDRO DE RIOBAMBA</u></b>	<b>68</b>
<b>6. <u>ELABORACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS ENRIQUECIDOS EN LA PARROQUIA CALPI- PROVINCIA DE CHIMBORAZO</u></b>	<b>80</b>
<b>7. <u>TOXICIDAD DEL SULFATO DE NÍQUEL HEXAHIDRATADO EN EL CULTIVO HIDROPÓNICO DE ACELGA</u></b>	<b>92</b>
<b>8. <u>OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PROCEDENTES DE FÁBRICAS DE JEANS</u></b>	<b>104</b>



Recibido: 2021/04/30  
Aceptado: 2021/10/02  
ARTÍCULO ORIGINAL

## EXTRACCIÓN DE UN POLÍMERO NATURAL A BASE DE ARROZ (*Oryza sativa*) Y MAÍZ PISINGALLO (*Zea mays*)

### EXTRACTION OF A NATURAL POLYMER BASED ON RICE (*Oryza sativa*) AND PISINGALLO CORN (*Zea mays*)

Alvarado Guilcapi Michele Cristina <sup>1</sup> , Chunata Manotoa Marlon Gonzalo <sup>1</sup> , Sánchez Rojas Mishell Carolina <sup>1</sup> , Oswaldo Villacrés Cáceres<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Colaborador Facultad de Ciencias, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

<sup>2</sup>Docente Investigador Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la ESPOCH (GIAD), Riobamba, Ecuador.

\*Correspondencia: [ovillacres@epoch.edu.ec](mailto:ovillacres@epoch.edu.ec)

## RESUMEN

Las condiciones experimentales que afectan a la producción de almidón a partir de granos de arroz y maíz fueron analizadas en la presente investigación, con la finalidad de determinar el efecto del tamaño de partícula en el rendimiento del mismo, para lo cual, el grosor se controló regulando manualmente la perilla que controla la abertura del molino de tornillo sin fin, en 5 posiciones diferentes en función del número de vueltas que se pueden dar, seleccionando la condición más favorable mediante el test estadístico ANOVA para un factor, para esto, se empleó el método de extracción húmeda tanto para el arroz (*Oryza sativa*) como para el maíz pisingallo (*Zea mays*). La cantidad de almidón extraído del arroz varió desde 36,400 a 51 g con una media de 44,520 g y el rendimiento varió desde 18,200 % a 25,500 % con una media de 22,260 % y para el maíz se tuvo una variación desde 26 a 44 g con una media de 36,910 g y el rendimiento desde el 13 % a 22 % con una media de 18,450 %; en ambos casos obtenidos de muestras de 200 g. Estos resultados fueron analizados con la prueba de ANOVA y se determinó que existen diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que, se realizó un análisis más exhaustivo con la prueba de Tukey, en la cual, se determinó que no existen diferencias significativas entre los T3 – T4 y T4 – T5 para el arroz y T4 - T5 para el maíz. Es así, que el mejor rendimiento para la obtención de almidón tanto para las muestras de arroz como para maíz se logró con el menor tamaño de partícula.

**Palabras clave:** Rendimiento, partícula, almidón, maíz, arroz.

## ABSTRACT

The experimental conditions that affect the production of starch from rice and corn grains were analyzed in the present investigation, in order to determine the effect of particle size on its performance, for which the thickness was controlled Manually regulating the knob that controls the opening of the endless screw mill, in 5 different positions depending on the number of turns that can be given, selecting the most favorable condition by means of the ANOVA statistical test for a factor, for this, the wet extraction method for both rice (*Oryza sativa*) and pisingallo corn (*Zea mays*). The amount of starch extracted from rice varied from 36,400 to 51 g with an average of 44,520 g and the yield varied from 18,200% to 25,500% with an average of 22,260% and for corn there was a variation from 26 to 44 g with a mean 36.910 g and the yield from 13% to 22% with an average of 18.450%; in both cases obtained from 200 g samples. These results were analyzed with the ANOVA test and it was determined that there are significant differences between the treatments, therefore, a more exhaustive analysis was carried out with the Tukey test, in which it was determined that there are no significant differences between the T3 - T4 and T4 - T5 for rice and T4 - T5 for corn. Thus, the best performance for obtaining starch for both rice and corn samples was achieved with the smallest particle size.

**Keywords:** Yield, particle, starch, corn, rice.

## INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo de la humanidad se han descubierto diversos usos para los cereales, en especial el maíz y arroz para su uso alimenticio, principalmente en la cultura Inca y tras su introducción a Europa en los tiempos de la Colonia. Estos cereales se consumen, también, en gran cantidad en los países asiáticos (1). En el Ecuador son cultivados en grandes áreas, de esta manera, dinamizan la economía del sector agrícola. Por otro lado, la problemática ambiental constituye uno de los grandes retos a nivel mundial, ya que la industrialización ha avanzado a pasos agigantados y muchas veces sin tener en cuenta o infringiendo las diversas normas ambientales. Es así, que los usos desmedidos de plásticos sintéticos producidos en plantas industriales que producen un aumento de CO<sub>2</sub> y es emitido a la atmósfera generando impactos ambientales que destruyen el ecosistema, es por ello, que esta investigación se enfoca en alternativas que sustituyan este tipo de materiales no degradables, mediante la producción de productos naturales como el bioplástico (2), a partir del almidón del maíz y del arroz (3). Sin embargo, no se ha producido a gran escala por falta de conocimientos y por los gastos de producción, lo cual, se configura en baja competitividad con respecto a los plásticos tradicionales.

El bio plástico a partir de almidón ha presentado las mismas características físico – químicas que los sintéticos, siendo una alternativa fiable debido a las variaciones de precio del petróleo y al agotamiento próximo del mismo. Entonces, debido a los múltiples factores mencionados anteriormente surge la necesidad de una fuente

*VIII International Congress Industrial Processes, Hydrocarbons and the Environment (VIII ICIPHE 2021)*  
constante y fiable de almidón para la producción de bioplástico(4). Así, se ha experimentado con la extracción de almidón a partir de arroz y maíz, analizando la factibilidad y el rendimiento. En ese aspecto, se puede mencionar que la obtención del almidón de estos cereales tiene un rendimiento aceptable con el empleo de los métodos seleccionados, siendo similares, ya que para el arroz consistió en el pesaje de 200 gramos arroz, y la correspondiente molienda del mismo, luego se lavó con agua y se lo hizo pasar por un tamiz para retener el arroz triturado, la solución filtrada se dejó reposar durante medio día, posteriormente se procedió a eliminar la mayor cantidad de agua, el almidón obtenido es secado en una estufa por el lapso de 11 horas a una temperatura de 45 °C (5). Mientras que para el maíz el primer paso fue agregar agua a los 200 gramos de maíz y se dejó reposar durante un día entero, cambiándole el agua cada 8 horas para así evitar la fermentación, una vez concluido el tiempo se procedió a desechar el agua e ingresar el maíz para la molienda(6), a continuación se lavó con agua y se procedió a filtrar, realizando este proceso cuatro veces para tener una mayor cantidad de almidón, una vez, obtenido el sedimento (almidón) se procedió a ingresarlo una estufa a 45°C durante diez horas aproximadamente, obteniendo el almidón seco. (7). El diámetro de partícula influye significativamente en el rendimiento del almidón tanto para el arroz como para el maíz, para ello se ha establecido un análisis estadístico mediante la prueba de Tukey y la prueba ANOVA, obteniéndose diferencias significativas entre cada ensayo. El presente grupo de trabajo siguió una metodología clásica y no se han empleado reactivos químicos para la extracción del almidón, únicamente se ha empleado gotas de yodo para verificar que el producto obtenido es almidón. Por ende, el porcentaje de rendimiento promedio para la obtención del almidón de arroz y maíz es de 22,260 % y 18,450 % respectivamente.

## **METODOLOGÍA**

### **Extracción de almidón de arroz**

Se recibió y pesó 200 gramos de arroz, luego se alimentó en el molino para grano a manivela con cinco vueltas para solo un tornillo (10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %), manteniendo el otro tornillo ajustado al 100 %, posteriormente se lavó el grano molido en 1L de agua en un recipiente uno y se trasladó el contenido a otro recipiente haciéndolo pasar por un tamiz de nylon para retener los gránulos de arroz. El almidón, disuelto en el agua, pasa juntamente con esta hacia el recipiente dos(6). Se repitió este procedimiento 4 veces más para arrastrar la máxima cantidad posible de almidón. Luego, se dejó reposar y sedimentar el contenido del recipiente dos por un periodo de 12 horas. Una vez sedimentado se eliminó la mayor cantidad de agua posible, se volvió a llenar de agua el recipiente dos y se dejó reposar por el mismo tiempo. Una vez cumplidas las 12 horas se separó el sobrenadante y el sedimento, el cual, es el almidón de arroz(8) mismo que se ingresó a una estufa a una temperatura de 45 °C, por un lapso de 11 horas para secarlo.

### **Extracción de almidón de maíz**

Para el maíz, se recibió y pesó 200 gramos. Se introdujo el maíz en un recipiente de 1 litro de capacidad y se agregó agua hasta completar ese volumen. Entonces, se dejó reposar en remojo durante 24 horas. Se realizó cambios de agua cada 8 horas para evitar que el producto fermente. Posteriormente, se desechó el agua de remojo y se procedió a la molienda del grano en el molino para grano a manivela, de igual manera se emplearon cinco porcentajes de ajuste de un solo tornillo (10%, 20%, 30%, 40%, 50%), manteniendo el otro tornillo ajustado al 100%. Posteriormente, se lavó el producto molido con 1 litro de agua y se trasladó el contenido a otro recipiente haciéndolo pasar por un tamiz (nylon) para retener los gránulos de maíz. El almidón de maíz, disuelto en agua, pasa juntamente con esta hacia el recipiente (9). El lavado del producto molido se repitió 4 veces más para arrastrar la mayor cantidad posible de almidón. Entonces, se dejó en reposo el recipiente durante 8 horas para que los sólidos suspendidos puedan sedimentar al fondo de este. Cumplido este tiempo, se separó el sobrenadante del sedimento y se ingresó el almidón aún húmedo a una estufa a 45°C durante aproximadamente 10 horas. El resultado final fue la obtención de un polvo amarillento.

### **Prueba de yodo**

Para verificar que el producto obtenido fue almidón, se empleó la prueba de yodo con 1 mL de tintura de yodo comercial se disolvió en aproximadamente 100 mL de agua. Entonces se tomó aproximadamente 1 gramo de almidón de arroz y 1 gramo de almidón de maíz. Estos se disolvieron en 50 mL de agua en recipientes diferentes, se agregó 5 gotas de la tintura de yodo a cada recipiente; las muestras enseguida viraron a un color azul intenso indicando que, en efecto, lo obtenido fue almidón. A continuación, se realizó el análisis estadístico con los test de ANOVA y TUKEY

### **Diseño experimental y análisis estadístico**

El rendimiento del almidón se seleccionó como la variable dependiente mientras que el porcentaje de abertura del molino se seleccionó como la variable independiente. Se usó el diseño 5x4 para 5 tratamientos distintos y 4 repeticiones por cada uno de estos. El tamaño del diseño entonces fue de 20 y los resultados se analizaron con la prueba de ANOVA de un factor para probar la hipótesis nula definida como “no existen diferencias significativas entre los tratamientos” y la hipótesis alternativa como “existen diferencias significativas entre los tratamientos”. Dado que existieron diferencias significativas se usó la prueba de TUKEY para verificar qué tratamientos no las exhibían.

### Determinación del rendimiento de almidón

El rendimiento de almidón se calculó como el cociente entre la cantidad de almidón obtenido y la cantidad de muestra que se empleó. El mismo procedimiento de cálculo se aplicó para todas las repeticiones en cada uno de los tratamientos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la obtención del almidón de maíz y arroz existen diferentes metodologías. Sin embargo, se ha utilizado el protocolo más sencillo de seguir con indumentaria casera, obteniendo los resultados que se muestran en las tablas detalladas a continuación:

**Tabla 1 Análisis Organoléptico de la materia prima**

No.	ENSAYOS	MAÍZ	ARROZ
1	Color	Amarillento – Anaranjado	Blanco
2	Olor	Maíz	Arroz
3	Sabor	Insípido	insípido
4	Apariencia	Poligonal	Hexagonal
5	Textura	Sólida	Sólida

Fuente: Alvarado M. / et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

**Tabla 2 Análisis físico de la materia prima**

Ord.	ENSAYOS	MAÍZ	ARROZ
1	Peso (g)	0,250	0,027
2	Longitud (cm)	0,900	0,715
3	Diámetro (cm)	0,680	0,200
4	Forma	Poligonal	Hexagonal

Fuente: Alvarado M. / et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

El análisis físico de los granos de arroz muestra unas características muy semejantes a las sugeridas por (10) para la variedad de arroz ecuatoriano INIAP 14 con posibles usos industriales. No se detectan sabores, colores, olores o texturas anormales como sugiere (11) siendo estas las típicas esperadas para arroz. La longitud del grano es la característica para un grano largo y una variedad de arroz blanco según (11). La forma predominante es la hexagonal que concuerda con lo encontrado por (12). Por otra parte, el color de los granos de maíz denota que se trata de maíz amarillo.

El olor, el sabor, el color y la textura son los normales para granos de maíz amarillo según (13). Sin embargo, la longitud y el diámetro están fuera de los rangos presentados por (14); los granos evaluados presentan mayor longitud y diámetro lo cual se debe a la variabilidad dadas las variaciones de los sembríos de maíz en diferentes regiones y los complejos procesos de selección a los cuales se someten por parte de los agricultores (15)

**Tabla 3 Análisis Organoléptico del Almidón**

Ord.	ENSAYOS	ALMIDÓN MAÍZ	ALMIDÓN ARROZ
1	Color	Blanco – Amarillento	Blanco
2	Olor	Sin olor específico	Sin olor específico
3	Sabor	Sin sabor específico	Sin sabor específico
4	Apariencia	Polvo	Polvo
5	Textura	Blanda	Blanda/rugosa

Fuente: Alvarado M. / et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

De acuerdo a (5) el almidón puro es de color blanco y no posee ningún sabor u olor específico. En este sentido, los almidones obtenidos tanto de arroz como de maíz, en efecto, no presentan ningún olor ni sabor fuera de esta especificación. Sin embargo, el color del almidón de maíz fue ligeramente amarillento; se entiende así que este debe presentar impurezas debidas a la naturaleza misma de la extracción. Este problema no se presentó con el almidón de arroz. La apariencia y la textura son, por otra parte, lo esperado tal y como menciona (16), pues se tiene para el arroz un almidón de textura ligeramente rugosa (granos más duros dan gránulos de almidón más grandes, afectando la textura) y para el maíz, un almidón más fino y polvoriento (el germen y el endospermo son la principal fuente de almidón en el maíz, así, el almidón resultante es más suave (16)

**Tabla 4 Análisis proximal del almidón de maíz**

No.	ENSAYOS	UNIDAD	ESTANDAR			NORMA
			MAIZ	MÍNIMA	MÁXIMA	

1	Humedad	(%)	9,550	-	13	Norma Técnica NTC Colombia 926
2	Ceniza en 8% en masa máximo	(%)	0,202		0,250	Norma Técnica NTC Colombia 926
3	pH		6,578	5	7	Norma Técnica NTC Colombia 926
4	Solubilidad		✓	-	-	INEN 1456
5	Temperatura de gelatinización	°C	69,168	-	-	INEN 1456
6	Fibra	(%)	0,360	-	0,115	Norma Técnica NTC Colombia 926
7	Proteína	(%)	1,124	-	0,800	NMX-F-382-1986. ALIMENTOS. ALMIDÓN O FÉCULA DE MAÍZ/ Normativa mexicana

Fuente: Alvarado M., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

Tabla 5 Análisis proximal del almidón de arroz  
ESTANDAR

No.	ENSAYOS	UNIDAD	ARROZ	MIN	MAX	NORMA
1	Humedad	(%)	8,318	-	1300	Norma Técnica Nacional de Almidones y Féculas de Perú
2	Ceniza	(%)	0,268	-	1,500	Norma Técnica Nacional de Almidones y Féculas de Perú
4	pH		6,975	5,5	8,500	Norma Técnica Nacional de Almidones y Féculas de Perú
5	Solubilidad		✓	-	-	INEN 1456
6	Temperatura de gelatinización	°C	67,940	-	-	INEN 1456
7	Proteína	(%)	0,682	0,050	0,500	ISI-24-1e International Starch Institute

Fuente: Alvarado M., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

El análisis proximal para el arroz muestra unos granos que cumplen las características exigidas por la Norma Técnica Nacional de Almidones y Féculas de Perú(17), la INEN 1456(18) y la ISI-24-1E International Starch Institute (19), salvo el porcentaje de proteína, que está fuera de rango. Sin embargo, si se compara el porcentaje de proteína con el porcentaje determinado por (20), el valor se encuentra dentro del rango esperado, según este autor. Así, es importante denotar que esto se debe a la variabilidad que los granos presentan, como menciona (15). El análisis proximal para el maíz muestra unos granos que cumplen las características exigidas por la Norma Técnica Nacional de Almidones y Féculas de Perú(17), la INEN 1456(18) y la ISI-24-1E International Starch Institute (19), salvo el porcentaje de proteína, que está fuera de rango. Sin embargo, si se compara el porcentaje de proteína con el porcentaje determinado por (20) el valor se encuentra dentro del rango esperado

VIII International Congress Industrial Processes, Hydrocarbons and the Environment (VIII ICIPE 2021) según este autor. Así, es importante denotar que esto se debe a la variabilidad que los granos presentan, como menciona (15).

El análisis proximal para el maíz muestra unos granos que cumplen las características exigidas por la Norma Técnica Nacional de Almidones y Féculas de Perú(17), la INEN 1456(18) y la ISI-24-1E International Starch Institute (19), salvo el porcentaje de proteína, que está fuera de rango. Esto se debe a la variabilidad que los granos presentan, como menciona (15). Por otra parte, el análisis proximal del arroz muestra que dichos granos al igual que los granos de maíz, cumplen con las características exigidas la Norma Técnica Nacional de Almidones y Féculas de Perú (13), la INEN 1456(12) y la ISI-24-1E International Starch Institute (14), salvo el porcentaje de proteína que esta fuera de rango. Nuevamente, la variabilidad climática y de especies, afecta a los porcentajes obtenidos.

**Tabla 6 Análisis del almidón de arroz (Amilosa y Amilopectina)**

Nº	PARÁMETRO	ALMIDON ARROZ
1	Azúcares Totales	23,980 %
2	Amilosa	20,730 %
3	Amilopectina	79,240 %

Fuente: Alvarado M., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

**Tabla 7 Análisis del almidón de maíz (Amilosa y Amilopectina)**

Nº	PARÁMETRO	ALMIDÓN MAÍZ
1	Azúcares Totales	22,080 %
2	Amilosa	22,965 %
3	Amilopectina	77,035 %

Fuente: Alvarado M., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Es de especial interés el porcentaje de amilosa. En este sentido, el porcentaje de este componente para el arroz es especialmente bajo si se compara al valor reportado por (15). Esto se configura en un ligero problema puesto que la selección del arroz se realizó debido al alto porcentaje de amilosa reportado en bibliografía (16–18) Dado que se ha encontrado que una mayor cantidad de amilosa en el almidón provee mejores propiedades mecánicas (5) esto sería un problema de cara a futuros trabajos en el campo de los bioplásticos. Respecto al porcentaje de amilosa en el almidón de maíz, los porcentajes son muy parecidos a los reportados en bibliografía (16–18) y no existiría mayor discusión con respecto a este apartado.

**Tabla 8 Análisis microbiológico del producto (Almidón de arroz)**

Ord.	PARAMETRO UNIDAD (UFC )	GRANO		ALMIDÓN	
		ARROZ	MAIZ	ARROZ	MAIZ
1	Hongos	3,00E+03	10000	3,47E+02	39,300



2	Levaduras y Mohos	5E+02	6700	3133,330	3,890E+06
3	Coliformes Totales	2	10E+02	1,330	6,800E+07

Fuente: Alvarado M., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

El conteo de hongos, mohos, levaduras y coliformes totales en las muestras se encuentran dentro de los rangos determinados, la mayoría centrados en las Normas COVENIN 1641-1999(21) para almidones basados en los métodos de ensayo Covenin 1137(22). Se entiende que se ha obtenido buenas muestras, sin embargo, el análisis de Coliformes para el grano de maíz sobrepasa el rango requerido por ende el producto se vería afectado.

Tabla 9 Rendimiento almidón de maíz

No.	TRATAMIENTOS	REPETICIONES	PESO (g)		RENDIMIENTO (%)	
			MAÍZ	ALMIDÓN	INDIVIDUAL	PROMEDIO
1	E1	E1-1	200	27	13,500	13,660
2		E1-2		29	14,500	
3		E1-3		26	13	
4		E1-4		27,300	13,650	
1	E2	E2-1	200	32,800	16,400	16,725
2		E2-2		34	17	
3		E2-3		33	16,500	
4		E2-4		34	17	
1	E3	E3-1	200	38	19	19,250
2		E3-2		37	18,500	
3		E3-3		39	19,500	
4		E3-4		40	20	
1	E4	E4-1	200	41	20,500	20,900
2		E4-2		42,700	21,350	
3		E4-3		41,500	20,750	
4		E4-4		42	21	
1	E5	E5-1	200	44	22	22,475
2		E5-2		43	21,500	
3		E5-3		43,900	21,950	
4		E5-4		42,900	24,450	

Fuente: Alvarado M., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

Se muestran los resultados de la extracción de almidón a partir de muestras de maíz de 200g. Se probaron 5 tratamientos diferentes que consisten básicamente en la variación de la abertura del molino de tornillo sin fin. Se eligieron aberturas del 10, 20, 30, 40 y 50%. Para cada una de ellas se realizaron 4 repeticiones con muestras de 200 gramos. La finalidad de este diseño fue determinar si existen diferencias en la cantidad de producto extraído al incrementar el área superficial del grano, pues como menciona. (6) a medida que se incrementa esta propiedad tras la molienda se puede acelerar ciertos procesos o incrementar rendimientos. La teoría a probar es si incrementando el área superficial del grano, el agua podría arrastrar mayor cantidad de

VIII International Congress Industrial Processes, Hydrocarbons and the Environment (VIII ICIPE 2021)

producto. Un análisis rápido de los promedios de cada tratamiento denota que a medida que la abertura disminuye y la molienda obtenida tiene un tamaño de partícula más pequeño, el rendimiento se incrementa. En este punto, y dada la naturaleza del diseño experimental realizado, es necesario analizar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Para ello se procedió a realizar un análisis de varianza de un factor ANOVA en Microsoft Office Excel. (2)

Tabla 10 Varianza en el almidón de maíz

Groups	Count	Sum	Average	Variance
E1	4	109,300	27,325	1,556
E2	4	133,800	33,450	0,410
E3	4	154	38,500	1,666
E4	4	167,500	41,875	0,489
E5	4	174,500	43,625	0,203

Fuente: Alvarado M., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Tabla 11 Prueba ANOVA almidón de maíz

SOURCE OF VARIATION	SS	df	MS	F	P-VALUE	F CRIT
BETWEEN GROUPS	704,417	4	176,104	203,628	7,111E-13	3,0556
WITHIN GROUPS	12,973	15	0,864			
TOTAL	717,390	19				

Fuente: Alvarado M., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

El análisis ANOVA realizado sobre los rendimientos del almidón de maíz, se dio con un nivel de confianza del 95%. Se planteó la hipótesis nula como "no existen diferencias significativas entre los tratamientos" y la hipótesis alternativa como "existen diferencias significativas entre los tratamientos". Dado que "p-value" < 0.05, se aceptó la hipótesis alternativa. El análisis entonces se centró en "entre cuales grupos de datos existen diferencias significativas" puesto que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos.

Tabla 12 Prueba TUKEY-almidón de maíz

VARIABLE	VALOR
HDS	1,820
Multiplicador	4,370
Mse	0,860
n	5

Fuente: Alvarado M., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Tabla 13 Prueba TUKEY-almidón de maíz

	E1	E2	E3	E4	E5
E1		-6,130	-11,180	-14,550	-16,300
E2			-5,050	-8,425	-10,175
E3				-3,375	-5,125
E4					-1,750
E5					

Fuente: Alvarado M., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Para un nivel de confianza del 95%,  $n=5$  y  $m=15$  el valor del multiplicador es 4.37, obtenido de tablas. El valor de Mse es el resultado de la división de la suma de cuadrados con el número de grados de libertad. El valor HSD (1.82 para este caso) es el valor crítico para determinar si existen diferencias significativas. Cualquier valor de la segunda tabla, sin importar el signo, que esté por encima del valor de HSD indicará que no existen diferencias significativas entre esos tratamientos y viceversa. Como puede observarse en la segunda tabla, todos los grupos de tratamientos exhiben "diferencias significativas" excepto el grupo E4-E5. Una posible razón para ello es que a partir del 20% de abertura en el molino empleado, ya no se alcanza un menor tamaño de partícula para la molienda de maíz(23).

Tabla 14 Rendimiento de almidón de arroz

No.	TRATAMIENTO	REPETICION	PESO (g)		RENDIMIENTO (%)	
			ARROZ	ALMIDÓN	INDIVIDUAL	PROMEDIO
1	E1	E1-1	200	36,400	18,200	18,838
2		E1-2		38	19	
3		E1-3		37,300	18,650	
4		E1-4		39	19,500	
1	E2	E2-1	200	41,300	20,650	21,288
2		E2-2		42	21	
3		E2-3		43	21,500	
4		E2-4		44	22	
1	E3	E3-1	200	46	23	22,913

2		E3- 2	45	22,500	
3		E3- 3	47	23,500	
4		E3- 4	45,300	22,650	
1	E4	E4- 1	44	22	23,488
2		E4- 2	48	24	
3		E4- 3	49	24,500	
4		E4- 5	46,900	23,450	
1	E5	E5- 1	49	24,500	24,763
2		E5- 2	48	24	
3		E5- 3	50,100	25,050	
4		E5- 4	51	25,500	

Fuente: Alvarado M., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Se muestran los resultados de los rendimientos del almidón de arroz. La forma en que se llevó a cabo la molienda es semejante a la forma en que se llevó la molienda del maíz. En efecto, nuevamente se trata de comprobar cómo afecta el tamaño de partícula al rendimiento de almidón de maíz(4). En general, el análisis rápido denota que existen diferencias en las medias de rendimiento de los tratamientos, pues estos se incrementan a medida que disminuye el tamaño de partícula y decrece la abertura del molino. Es importante denotar que el rendimiento de almidón del arroz es superior al del maíz ligeramente(24). Para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, se realizó el análisis de varianza de un factor con Microsoft Office Excel.

Tabla 15 Varianza en el almidón de arroz

Groups	Count	Sum	Average	Variance
E1	4	150,700	37,675	1,209
E2	4	170,300	42,575	1,389
E3	4	183,300	45,825	0,789
E4	4	187,900	46,975	4,669
E5	4	198,100	49,525	1,703

Fuente: Alvarado M., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Tabla 16 Prueba ANOVA almidón de arroz

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	333,668	4	83,417	42,738	4,983E-08	3,056
Within Groups	29,278	15	1,950			
Total	362,946	19				

Fuente: Alvarado M., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

El nivel de confianza elegido fue del 95% y bajo esta condición se planteó la hipótesis nula como “no existen diferencias significativas entre los tratamientos” y la hipótesis alternativa como “existen diferencias significativas entre los tratamientos”. Dado que “p-value” < 0.05, se aceptó la hipótesis alternativa. (25). El

VIII International Congress Industrial Processes, Hydrocarbons and the Environment (VIII ICIPHE 2021)  
 análisis entonces se centró en “entre cuales grupos de datos existen diferencias significativas” dando paso a la prueba de Tukey.

Tabla 17 Prueba TUKEY almidón de arroz

VARIABLE	VALOR
HDS	2.730
Multiplicador	4.370
Mse	1.950
n	5

Fuente: Alvarado M., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Tabla 18 Prueba TUKEY almidón de arroz

ENSAYOS	E1	E2	E3	E4	E5
E1		-4,900	-8,150	-9,300	-11,850
E2			-3,250	-4,400	-6,950
E3				-1,150	-3,700
E4					-2,550
E5					

Fuente: Alvarado M., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Para un nivel de confianza del 95%,  $n=5$  y  $m=15$  el valor del multiplicador es 4.37, obtenido de tablas. El valor de Mse es el resultado de la división de la suma de cuadrados con el número de grados de libertad. El valor HSD (2,73 para este caso) es el valor crítico para determinar si existen diferencias significativas. Cualquier valor de la segunda tabla, sin relevancia del signo, que esté por encima del valor de HSD indicará que no existen diferencias significativas entre esos tratamientos y viceversa (2). Como se observa en la segunda tabla, todos los grupos de tratamientos exhiben “diferencias significativas” excepto el grupo E3-E5 y E4-E5. Dado que los valores del rendimiento de almidón de arroz se parecen a partir del tratamiento 3, 4 y 5, era de esperar este resultado. Es probable que, al igual que con la molienda del maíz, el molino no pueda alcanzar un tamaño de partícula notablemente inferior para los granos de arroz a partir del 30% de abertura. Por esta razón, tanto para el arroz como para el maíz, es necesario realizar análisis granulométricos de la molienda para cada tratamiento. Esto se podría realizar en futuros trabajos para asegurar la afirmación previa con firmeza y evidencia sostenible. (26)





Ilustración 3 Almidón de maíz obtenido a diferentes vueltas de perilla del molino. a)10%, b)20%, c)30%, d) 40% e) 50%



Ilustración 4 Almidón de arroz obtenido a diferentes vueltas de perilla del molino. a)10%, b)20%, c)30%, d) 40%, e) 50%



### Ilustración 5 Prueba de yodo

## CONCLUSIONES

*El almidón de arroz y maíz se puede extraer de distintas maneras, siendo el procedimiento realizado por el presente grupo de trabajo un método fácil de realizar. Considerando las metodologías empleadas, se establece que el rendimiento obtenido tanto para el almidón de maíz, 18,450 % y para el almidón de arroz, 22,260 %, son aceptables. La humedad, ceniza, pH, solubilidad, temperatura de gelatinización determinada para el almidón de arroz se encontraron dentro del rango establecido por las Norma Técnica Nacional de Almidones y Féculas de Perú e INEN 1456. Por otra parte, para el almidón de maíz se ha obtenido un análisis proximal óptimo tanto para humedad, ceniza, pH, solubilidad y temperatura de gelatinización empleando para ello la Norma Técnica NTC Colombia 926 e INEN 1456. Sin embargo, la proteína para el maíz y el arroz se encontraban fuera del rango establecido para las normas de referencia. En el estudio estadístico realizado, para el rendimiento del almidón de maíz existen diferencias significativas entre todos los cinco ensayos, excepto entre el ensayo cuatro y cinco, en el cual el HSD es menor. Para el rendimiento del almidón de arroz, el ensayo tres y cuatro el HSD es menor. Es por tanto que, se acepta la hipótesis alternativa planteada, el área superficial del triturado es un factor importante, comprobando lo ya establecido en teoría, a menor área mayor de una partícula mayor será el porcentaje de almidón obtenido.*

*En cuanto a los parámetros microbiológicos analizados se puede recalcar que acorde a revisión bibliográfica obtenida, el conteo de hongos, mohos, levaduras y coliformes totales en las muestras tanto de grano de arroz como de maíz en unidades de UFC/g se encuentran dentro del rango estipulado para cada uno de ellos, la mayoría basada en las Normas COVENIN 1641-1999 para granos y métodos de ensayo Covenin 1137, por lo que se corrobora que se obtuvieron buenas muestras para la obtención del almidón, sin embargo dentro del análisis de Coliformes para el grano de maíz se estima una cantidad relativamente alta que sobrepasa el rango requerido por ende afectando también al producto obtenido que es el almidón de maíz, por lo que se es importante obtener la materia prima de otra fuente, adicionalmente se realizaron análisis microbiológicos para del almidón los mismos que se encuentran en un rango aceptable.*

## AGRADECIMIENTO

Por parte del presente grupo de trabajo, se extiende nuestros más sinceros agradecimientos al Ing. Hannibal Brito Moína, Docente de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, por su dedicación y guía para la realización del presente artículo. De igual manera, a todos los colaboradores quienes formaron parte del grupo de trabajo y con quienes, a la vez, se formó una gran amistad: Michele, Marlon, Cristian, Richard y Mishell.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. García M. *Tecnología de cereales*.
2. Chuiza M, Rodríguez A, Brito Hannibal. *Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza*. *Dominio la Cienc.* junio de 2020;6:1-14.
3. Hernández-Medina M, Torruco-Uco JG, Chel-Guerrero L, Betancur-Ancona D. *Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México*. *Cienc e Technol Aliment.* julio de 2008;28(3):718-26.
4. Brigitte M, Cahui O. "Elaboración de bioplástico a partir de paja y residuos de granos de arroz". [Arequipa]: Universidad Tecnológica de Perú; 2019.
5. Marichelvam MK, Jawaid M, Asim M. *Corn and rice starch-based bio-plastics as alternative packaging materials*. *Fibers.* abril de 2019;7(4).
6. Brito H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias I*. 2000.
7. Wani AA, Singh P, Shah MA, Schweiggert-Weisz U, Gul K, Wani IA. *Rice Starch Diversity: Effects on Structural, Morphological, Thermal, and Physicochemical Properties-A Review*. Vol. 11, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. John Wiley & Sons, Ltd; 2012. p. 417-36.
8. Brito;Hannibal, Flores L, Robalino M, Chango G, Salazar Karina. (PDF) *Diseño de un proceso de producción industrial de almidón a partir de mashua (Tropaeolum tuberosum)*. junio de ;
9. Llerena J, Monzón L. *elaboración de un envase biodegradable a partir de almidón obtenido de arroz quebrado (oryza sativa), queratinaobtenida de residuos avícolas (plumas) fortificado con residuos de cáscaras de mango (mangifera indica)*. Arequipa; 2017.
10. Ceavichay K, Valenzuela D, Cornejo F. «*Caracterización Física, Tecnológica y Reológica de Tres Variedades de Arroz Pilado Ecuatoriano, Cosecha Invierno*». Guayaquil;
11. *Ministerio de agricultura pesca y alimentación. Anexo I- Características técnicas*.
12. Salas S. *caracterización fisicoquímica y propiedades funcionales del almidón de arracacha (arracacia xanthorrhiza) modificado por irradiación UV-C*. [Ibague]: Universidad de Tolima; 2018.
13. Salinas Moreno Y, Cuevas A, Ybarra Moncada C, Villarreal JA, López BA, Montes ES. *caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca physical characterization and chemical composition of maize races with blue/purple grain from tropical and subtropical*. Vol. 36, *Artículo Científico Rev. Fitotec. Mex.* 2013.



14. Rodríguez M. Universidad Austral de Chile Determinación de la Composición Química y Propiedades Físicas y Químicas del Pulido de Arroz (*Oryza sativa* L.). [Valdivia]: Universidad Austral de Chile ; 2007.
15. Martínez J, Cadena P. Caracterización morfológica de poblaciones de maíz nativo (*Zea mays* L.) en Chiapas, México,. 2017.
16. Cornejo-Ramírez YI, Martínez-Cruz O, Del Toro-Sánchez CL, Wong-Corral FJ, Borboa-Flores J, Cinco-Moroyoqui FJ. The structural characteristics of starches and their functional properties. *CyTA - J Food*. enero de 2018;16(1):1003-17.
17. Vargas P. «Análisis de la competitividad del sector agroindustrial de la fécula de papa en el mercado local» (2001-2010). [Lima]: Universidad Nacional Agraria La Molina ; 2001.
18. Instituto Ecuatoriano de Normalización. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1456:1986. Quito; oct, 2012 p. 1-8.
19. International Starch Institute. ISI 24 Determination of Protein by Kjeldahl. 1967. p. 1.
20. Cosío P. Caracterización morfológica y evaluación fenológica de sesenta y cinco entradas de maíz (*Zea mays* L.) del banco de germoplasma del cica-k'ayra-cusco. Kayra ;
21. Norma Venezolana COVENIN (1641). Arroz Blanco de grano largo. 1999. p. 1-8.
22. Norma Venezolana COVENIN 1126-89. Alimentos. Identificación y preparación de muestras para el análisis microbiológico.
23. Stasiak M, Molenda M, Opaliński I, Błaszczak W. Mechanical Properties of Native Maize, Wheat, and Potato Starches. *Czech J Food Sci*. 2013;31(4):347-54.
24. Ying Tan S, Siow Ying Tan by B. Resistant rice starch development. Louisiana ; 2003 ago.
25. Vento O, Diego R, Parian E, Anival P. "efecto de la modificación química del almidón nativo de papa (*Solanum tuberosum*), SOBRE SUS características fisicoquímicas y reológicas". [Tarma ]: Universidad Nacional del Centro de Perú ; 2014.
26. Marquéz M, García G, Meléndez M, Quintero A, Ruiz M, Guitierrez N, et al. Caracterización fisicoquímica y térmica de almidón de arroz en el desarrollo de un material de pared para su uso en microencapsulación. :122-7.

Recibido: 2021/06/16

Aceptado: 2021/10/02

ARTÍCULO ORIGINAL

## APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA EXTRACCIÓN DE PULPA CELULOSA PARA LA ELABORACIÓN DE SORBETES

### USE OF SUGARCANE BAGASSE IN THE EXTRACTION OF CELLULOSE PULP TO MAKE A DRINKING STRAWS

López Erazo Cristian Andrés <sup>1</sup> , Solórzano Alcívar Jefferson Dario <sup>1</sup> , Palacios Cabrera Teresa Alejandra <sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Colaborador Facultad de Ingeniería en Geología Minas Petróleos y Ambiental, UCE, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup>Docente Investigador de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la UCE, Quito, Ecuador.

\*Correspondencia: [tapalacios@uce.edu.ec](mailto:tapalacios@uce.edu.ec)

#### RESUMEN

La presente investigación tiene la finalidad de diseñar un modelo de producción de celulosa para la fabricación de sorbetes biodegradable utilizando como materia prima, el bagazo de caña de azúcar considerado por el sector cañicultor como un desecho que se convierte en un problema ambiental latente para los mismos. La metodología usada en el proceso se dividió en dos segmentos; el primero fue la extracción de celulosa subclasificada en tres fases: la preparación de la fibra, la cocción de la misma y la sustracción de la celulosa de la fibra, y, en el segundo segmento se realizó la preparación de biopolímero repartido en cuatro fases: la elaboración de biopolímero en base a almidón de yuca, la adición de pasta celulosa, la mezcla y formación de sorbetes, y finalmente, los ensayos de calidad del producto. Se encontró que la sustracción celulósica con 8 % de monosulfito de sodio, 200 °C y un pH neutro; tuvo una eficiencia de 41 % de pasta celulosa del 100 % de la fibra seca de bagazo, mientras que el aglutinante de almidón de yuca fue el que brindó mejores resultados en los ensayos de calidad, frente a los almidones de arroz y maíz. La relación biopolímero / celulosa seca fue 10:1 la más económicamente viable, finalmente se concluye que por cada tonelada de bagazo invertido se obtienen 120 kg de sorbetes biodegradables.

**Palabras clave:** Bagazo de caña, Bioplástico, Monosulfito de Sodio, Sorbetes.

#### ABSTRACT

The present research aims to design a cellulose production model for the manufacture of biodegradable drinking straws using as raw material sugarcane bagasse considered by the sugarcane sector as a waste that becomes a latent environmental problem for them. The methodology used in the process was divided in two segments: The first was the extraction of subclassified cellulose in three phases: the preparation of the fiber, its cooking and the subtraction of cellulose from the fiber, and, in the second segment, the preparation of biopolymer divided in four phases was carried out: the production of biopolymer based on cassava starch, the addition of cellulose pulp, the mixing and formation of drinking straws, and finally, the product quality test. It was found that cellulosic subtraction with 8% sodium monosulfite, 200 ° C and a neutral pH; had an efficiency of 41% of cellulose pulp of 100% of the bagasse dry fiber, while the cassava starch binder was the one that provided better results in the quality tests, compared to rice and corn starches. The biopolymer / dry cellulose ratio was 10: 1 the most economically viable, finally it is concluded that for each ton of bagasse invested, 120 kg of biodegradable straws are obtained.

**Keywords:** Cane Bagasse, Bioplastic, Sodium Monosulfite, Drinking Straws.

## INTRODUCCIÓN

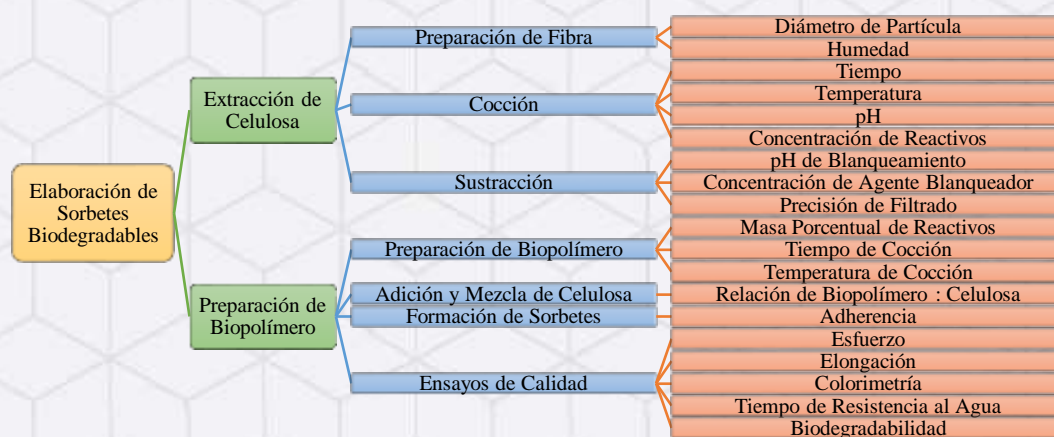
La caña de azúcar, una planta perteneciente a la familia de las gramíneas es originaria del sudeste asiático, llegó a Europa por medio de los musulmanes y posteriormente los españoles la introdujeron en América. Dicho producto es utilizado en la refinación de azúcar, la producción de bioetanol, así como también en industrias nuevas como la fabricación de papel y cartón. La producción de caña de azúcar en el Ecuador supera los 9 millones de toneladas anuales y el total de terreno de cultivo de esta actividad es superior a las 104 mil hectáreas de plantación, este rubro representa alrededor del 3,3 % de aporte al PIB nacional. Existen 33 empresas importantes en Ecuador dedicadas a la producción de caña de azúcar y transformación en algunos derivados, pero carecen un manejo inadecuado de los desechos que generan, por lo que en el presente informe consideramos fundamental transformar dichos residuos en materia prima, para posteriormente elaborar un nuevo producto que pueda sustituir a otro pasivo ambiental como es la producción de plástico. Estos compuestos sintéticos tardan cientos o miles de años en degradarse, se estima que en hoy en día hay más de 150 millones de toneladas de plástico y según proyecciones para el 2050 el océano en peso tendrá más plástico que peces [5]; es por esta razón que las especies de flora y fauna marina también se ven afectadas; por tal motivo apareció en el listado del 2018 como las emergencias ambientales más graves en el mundo junto al cambio climático publicados por las Naciones Unidas en su programa para el medio ambiente [1]. Todos estos daños ambientales ocasionados por el plástico en los océanos también se ven reflejados en pérdidas económicas como el turismo, la

VIII International Congress Industrial Processes, Hydrocarbons and the Environment (VIII ICIPE 2021)

pesca y el tiempo dedicado a la limpieza de las playas, como es el caso de Estados Unidos, donde diariamente se desechan unos 500 millones de sorbetes, de los cuales la gran mayoría terminan su ciclo en el océano [2]. Según estimaciones de la ONU publicadas en el 2015 las tapas de botella, los envoltorios de comida, las colillas de tabaco y los sorbetes plásticos; son los cuatro desechos más comunes en las playas de todo el mundo [5]. Para trabajar con el bagazo de caña de azúcar es fundamental conocer su composición, la cual es 20% de fibras vasculares o también conocidas como fibras cortas, 55% de fibras corticales o largas y 25% de médula [5]; así como también es imprescindible tratar con el rendimiento de la celulosa; cabe destacar que el proceso de cocción se realiza después del desmedulado de la fibra [3]. Actualmente la industria de extracción celulósica a partir de fibra vegetal está en auge especialmente en la elaboración de materiales biodegradables; por lo general dicho proceso de obtención de pulpa se realiza mediante un proceso químico de hidrólisis ácida asistida por líquidos iónicos como se explicará detalladamente en la metodología.

## METODOLOGÍA

La metodología empleada en el presente trabajo fue experimental por ensayo y error, de tipo prospectivo, longitudinal, cuantitativo y analítico; la planta de extracción fue a escala piloto en el laboratorio de la UCE mediante el control de variables, las mismas que se muestran en el esquema a continuación.



### Extracción de celulosa

Para la extracción de celulosa, se empezó retirando los restos de raíces, hojas, tierra y demás impurezas presentes en el bagazo de caña, el corte y desmedulado se elaboró manualmente extrayendo la médula de la fibra que constituye el 35 % del bagazo, el restante 65 % corresponde al material fibroso del cual se extrae celulosa [4]; Una vez extraída la fibra se procedió a la deshidratación de las mismas, La pérdida de humedad es de alrededor del 48 % y para ello se procedió a colocarla en la estufa en un recipiente de aluminio por 20 horas a 75°C [5]. Mediante molienda manual se disminuyó el tamaño de las fibras y se tamizó a través de una

VIII International Congress Industrial Processes, Hydrocarbons and the Environment (VIII ICIPE 2021)

mallla metálica de 1 mm para homogenizar el diámetro de las partículas, aquellas que no alcanzaban el diámetro requerido se volvían a pasar por el molino [5]. Con el diámetro requerido se procedió a mezclar bagazo seco con Sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) y Bicarbonato de Sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) en una olla a presión y se llevaron a cocción en una plancha eléctrica a  $200^\circ\text{C}$  por 90 minutos [5], la relación Bagazo/Sulfito de Sodio (P/P) fue variando entre 6 y 35 %, y para tener el pH constante la concentración de Bicarbonato de Sodio se mantuvo en 5 % [3]. De la cocción se obtuvo el licor negro el cual al pre lavar y filtrar se obtiene una pasta rica en fibras largas, la pasta resultante se trituró en una licuadora durante 2 minutos a 2000 RPM, con el fin de obtener un mayor porcentaje de celulosa. Luego la pasta licuada se lavó con abundante agua y se filtró en un tamiz de 0.5 mm para separar los filamentos de mayor tamaño que resultaron como residuo del proceso de cocción [5]. La celulosa cuyo diámetro es menor a 0.5 mm pasó por el tamiz quedando suspendida en el agua por lo que después se volvió a tamizar para separar la celulosa del agua [5]. El agente oxidante usado para el blanqueamiento fue el Peróxido de Hidrógeno 50 % a 180 Volúmenes, [5] recomienda utilizar las concentraciones de 5 %, 8 % y 12 % sobre el peso de la pasta seca. Para la deshidratación de la celulosa blanqueada se puso en la estufa unas 20 horas a  $75^\circ\text{C}$  tendida sobre papel aluminio [5], posteriormente, se dejó reposar 2 horas a temperatura ambiente y se procedió a pesarla para determinar el rendimiento [5]. La normativa guía para las mediciones del pH fue la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1418:2013 para la determinación del pH de un extracto acuoso de celulosa [5].

### **Preparación de biopolímero**

Para disminuir la capacidad hidrófila de la celulosa, tal como lo recomiendan [5], se añadió en la pasta celulósica un aglutinante vegetal con relación 4:1 mezclando con agua destilada; el bioplástico debía ser moldeable ya que la flexibilidad constituye una propiedad fundamental al momento de formar los sorbetes por lo que se le adicionó glicerina a la mezcla debido a sus características de plastificante natural [5]; y para aumentar la resistencia de la composición se agregó ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) debido a sus cualidades estabilizantes y extensoras [5]. Luego se mezcló y se procedió a la cocción en una plancha eléctrica a  $300^\circ\text{C}$  por 8 minutos con agitación manual. Las muestras se realizaron con 60 ml de agua destilada y los otros componentes varían según el diseño experimental de prueba y error [5].

### **Diseño experimental y análisis estadístico**

La investigación es de carácter cuantitativo por lo que el cálculo de la muestra y determinación del marco muestral se realizó siguiendo los lineamientos de [5], quién recomienda usar la expresión ( $n =$

$\frac{Z^2 * N * P(1-P)}{(N-1) * e^2 + Z^2 * P(1-P)}$ ) para poblaciones finitas [6]. La población que representa una planta que genera bioetanol con capacidad de 2.720 toneladas anuales de caña de azúcar con una plantación de 32 hectáreas es de 10 muestras a analizar en el laboratorio [5].

### **Determinación del rendimiento de celulosa**

El rendimiento de extracción de celulosa a partir de la fibra del bagazo dependerá de las concentraciones de monosulfito de sodio y carbonato ácido usados en el proceso de cocción, así mismo como la cantidad de agente blanqueante (peróxido de hidrógeno), el control de la temperatura y el pH y el manejo de los tiempos adecuados en cada subproceso. Para determinación de esta variable se divide peso de las fibras sobre el peso de la celulosa obtenida ambas totalmente deshidratadas y se multiplica por cien para obtener una estimación porcentual [6].

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Para la obtención de la celulosa existen diferentes metodologías, tanto mecánicas, físicas, químicas como biológicas. Sin embargo, se ha utilizado el proceso más sencillo y que se acopla de mejor manera a la pequeña industria que dispone de poco capital para invertir, obteniendo los resultados como se muestran en la Tabla 1. A partir de las investigaciones realizadas por [5], se reconoce la viabilidad técnica de la propuesta a implementar en la pequeña industria, a lo que producción y postproducción de derivados de caña de azúcar se refiere, que consiste en el diseño de un modelo de producción, como se muestra en el Esquema 1 [5], aplicando el método físico químico con la técnica cocción a presión con monosulfito de sodio se obtuvo la celulosa de la fibra del bagazo que luego se usó para la fabricación de sorbetes biodegradables.

Bajo los lineamientos de [5] se presentan en la Gráfica 1 el comportamiento del rendimiento para la obtención de celulosa en relación a la fibra de bagazo seco, en el rango estudiado por [5] se obtuvo un mayor rendimiento 41 % con el 8 % de monosulfito de sodio, los valores obtenidos son muy semejantes a los proporcionados por [3] donde se obtuvieron rendimientos del 48 % con el 12 % de monosulfito de sodio en relación al bagazo seco bajo las mismas características de presión y temperatura.

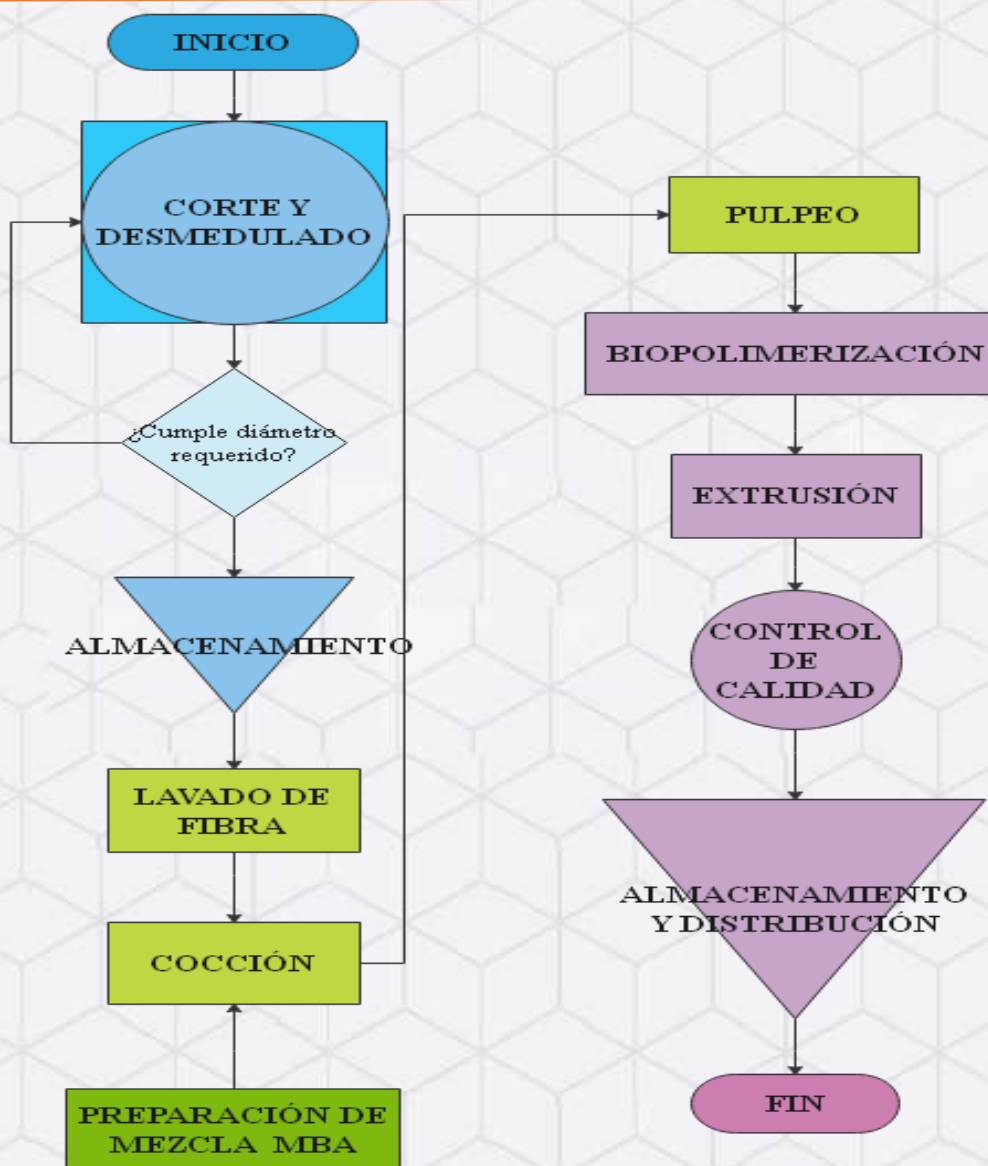
Tabla 1 Resumen de los resultados de las 10 muestras analizadas [5]

Variables	Unidad	Norma o Metodología Utilizada	Identificación de Muestras									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Humedad	%	ASTM C566-97(2004)	56,99	50,54	42,45	42,23	42,86	56,05	45,66	48,49	48,13	48,24
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D4311	0,0161	0,0131	0,0141	0,0111	0,0101	0,0091	0,0091	0,0091	0,0081	0,0071
Diámetro de Partícula	µm	Método Tamizado Mecánico	250	420	350	620	850	980	995	1000	1560	2000
Temperatura de Cocción	°C	Método de Expansión Térmica	120-180	120-180	120-180	120-180	120-180	120-180	120-180	120-180	120-180	120-180
Tiempo de Cocción	Minutos	Mediante Cronómetro	90	86	95	90	90	92	85	90	92	95
pH de Cocción	-	NTE INEN 1418:2013	6,54	7,85	7,64	7,33	7,45	7,69	7,32	7,84	7,65	7,45
pH de Blanqueamiento	-	NTE INEN 1418:2014	5,96	6,21	6,33	6,45	6,51	6,13	6,78	6,48	6,52	6,84
Concentración de Deslignificación (Mono sulfito de Sodio)	% (p/p)	Método de Concentración Porcentual masa-masa	35	30	25	20	15	13	10	8	6	5
		NTE INEN 858:2010										
Concentración de Amortiguamiento (Bicarbonato de Sodio)	% (p/p)	Método de Concentración Porcentual masa-masa	5	5	5	5	5	5	5	4	3	2,75
		NTE INEN 858:2011										
Concentración de Agente Blanqueante (Peróxido de Hidrógeno)	% (p/p)	Método de Concentración Porcentual masa-masa	24	22	18	16	14	12	11	12	8	7,5
		SCAN C-11:75										
		NTE INEN 858:2012										
Contenido de fibras	% (p/p)	Método de Concentración Porcentual masa-masa	30,54	20,83	33,33	34,15	31,65	32,17	32,00	32,15	32,13	32,10
		NTE INEN 858:2013										
Contenido de celulosa	% (p/p)	Método de Concentración Porcentual masa-masa	26,5	28,78	30,04	32,46	32,64	33,64	38,24	40,52	35,68	31,85
		SCAN-CM 65:02 - NTE INEN 858:2014										
Concentración de Aglutinante (Almidón de Yuca-Maíz 5:1)	% (p/p)	Método de Concentración Porcentual masa-masa	12,6	13	12	10	11,5	12,8	12,5	12	12	11
		NTE INEN 858:2015										

Variables	Unidad	Norma o Metodología Utilizada	Identificación de Muestras									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración de Plastificante (Glicerina)	% (p/p)	Método de Concentración Porcentual masa-masa	7,4	7,8	6,4	6,3	5,6	5,3	5,12	5	4,98	4,79
		NTE INEN 858:2016										
Concentración de Extensor (Ácido Acético)	% (p/p)	Método de Concentración Porcentual masa-masa	5	6,33	7,45	4,32	8,92	7	6,58	7	6,93	7,46
		NTE INEN 858:2017										
Concentración de disolventes (Agua destilada)	% (p/p)	Método de Concentración Porcentual masa-masa	75	75	74	75	73	75	76	75	75	78
		NTE INEN 858:2018										
Concentración de Celulosa en la Mezcla	% (p/p)	Método de Concentración Porcentual masa-masa	1,3	1,2	1	1,56	2,3	2,45	1	1	1,15	2,31
		NTE INEN 858:2019										
Temperatura de Mezclado	°C	Método de Expansión Térmica	270	280	300	300	290	300	300	300	300	310
Tiempo de Mezclado	Minutos	Mediante Cronómetro	8	10	8	9	10	8	8	8	8	9
Esfuerzo de Deformación	MPa	UNE-EN ISO 604	1,323	1,343	1,373	1,383	1,393	1,413	1,433	1,472	1,583	1,633
Elongación	%	UNE-EN ISO 605	24,313	23,513	22,143	21,753	21,153	20,963	20,143	19,992	19,873	18,753
Tiempo de Resistencia al Agua (Adherencia)	Minutos	Mediante Cronómetro	12	14	10	10	9	8	10	10	10	8
		ASTM D1110-84:2013										
		UNE-EN ISO 604										
Colorimetría	HSV	Método HSV (Alvy Ray Smith, 1978)	58:48:89	59:35:87	56:39:90	58:47:83	57:39:91	55:45:85	53:48:86	58:45:89	56:44:78	59:40:90
		ASTM D1500 – 12 (2017)										
Biodegradabilidad	Días	Método de control aeróbico (Ecoembes, 2019)	1605	1625	1545	1365	1325	1255	1245	1204	1205	1155

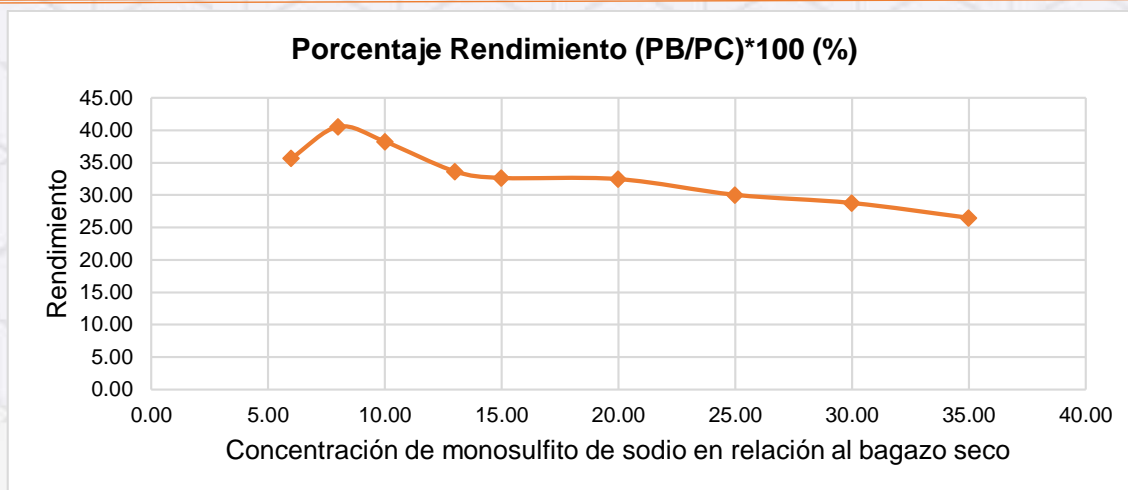
Fuente: López C. / et al. Laboratorio de Investigación Ambiental, Facultad de Ciencias de la Tierra, FIGEMPA, 2021.





Fuente: López C. / et al. Laboratorio de Ambiental, Facultad de Ciencias de la Tierra, FIGEMPA, 2021.

Esquema 1 Proceso de producción de sorbetes biodegradables

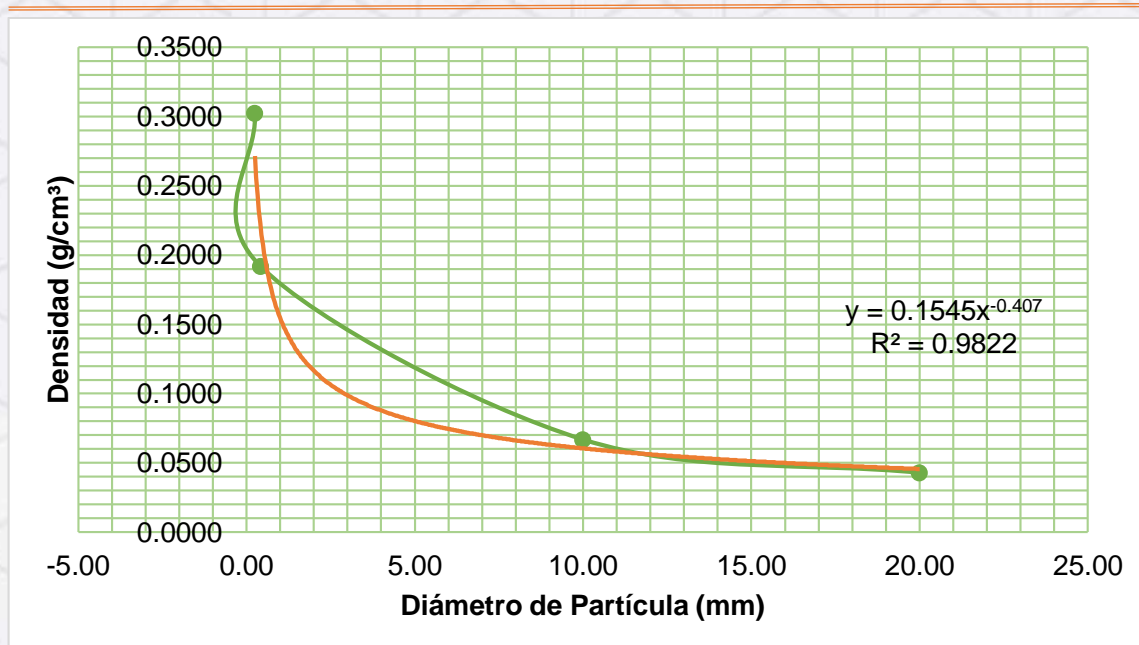


Fuente: López C. / et al. Laboratorio de Ambiental, Facultad de Ciencias de la Tierra, FIGEMPA, 2021.

Gráfico 1. Rendimiento del monosulfito de sodio en la extracción de celulosa

En las muestras analizadas por [5] el contenido de humedad del bagazo de caña de azúcar no varía mucho, estando en promedio de 48,16 %; la alta humedad en las muestras se debe a la baja eficiencia de extracción de licor del bagazo de caña en el área de trapiche para la obtención de bioetanol [7]; uno de los principales inconvenientes con este parámetro es que mientras mayor sea, brinda un menor rendimiento de pulpa celulosa; puesto que deberemos tratar más cantidad de bagazo para menos porción de pasta [5].

La densidad de la fibra del bagazo de caña de azúcar varía dependiendo del diámetro de partícula,  $\rho = 0,155 d_p^{-0,407}$  con un coeficiente de correlación de 0,98 [5], como se muestra en el Gráfico 2, mientras menor sea el diámetro mayor será la densidad, la misma relación encontró [7] con un comportamiento matemático semejante,  $\rho = 146,6 d_p^{-0,449}$  con su respectivo coeficiente de correlación de 0,97.



Fuente: López C. / et al. Laboratorio de Ambiental, Facultad de Ciencias de la Tierra, FIGEMPA, 2021.

Gráfico 2 Relación entre la densidad y el diámetro de partícula

La solución inicial de monosulfito de sodio con el resto de componentes de cocción de fibras tenían un pH de 8.46, después de la deslignificación fue de 7.84 el cual no llega a valores inferiores a 7 como recomienda [8] lo que significa que la cantidad de  $\text{NaHCO}_3$  en la mezcla actúa como sustancia tampón [5].

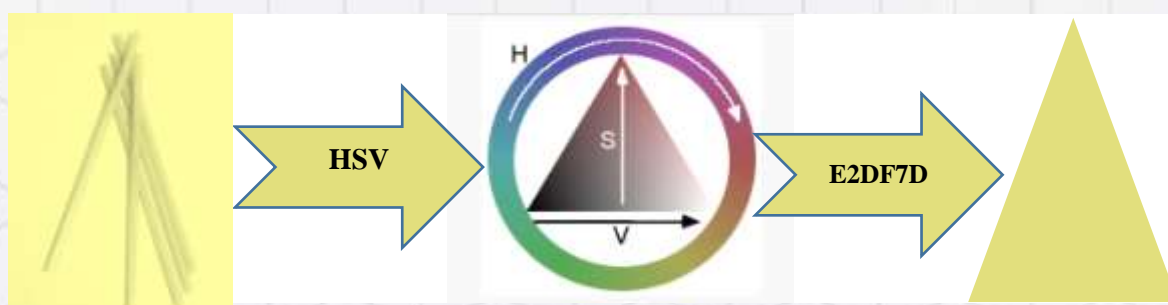
Los parámetros que se controlaron en el proceso de biopolimerización fueron; la temperatura no mayor a 300 °C, el tiempo entre 8 minutos y las concentraciones de los diferentes componentes detallados en la Tabla 3.

Tabla 2 Caracterización del biopolímero de almidón y celulosa

Sustancias	Concentración [%]
Ácido acético	7%
Agua destilada	75%
Almidón de maíz	2%
Almidón de yuca	10%
Celulosa	1%
Glicerina	5%
Total	100%

Fuente: López C. / et al. Laboratorio de Ambiental, Facultad de Ciencias de la Tierra, FIGEMPA, 2021.

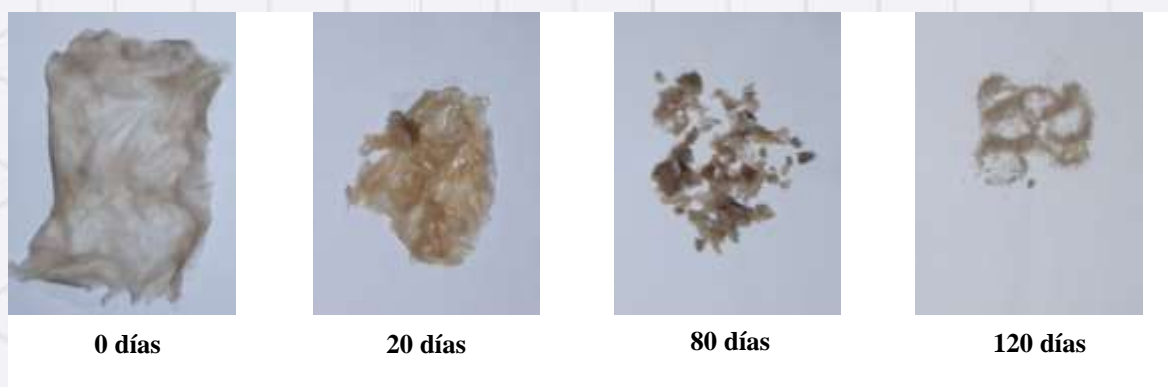
Para definir el color del sorbete se tomaron 10 muestras de sorbetes diferentes y se evaluaron en Photoshop mediante el método HSV (Hue – Saturation - Value), donde se analiza cada uno de sus tres componentes; la tonalidad, la saturación y el brillo. Este análisis tridimensional en coordenadas cilíndricas es una transformación no lineal del modelo RGB que nos permite definir un color en concreto usando un software de edición de fotografías; el color obtenido fue el H: 36, 6° S: 37,9% y V: 54,5% el cual en el cono HSV representa el color E2DF7D [5] como se muestra en el Esquema 2. Este color en base al estudio de mercado definido por [5] es el ideal para que la gente lo represente como producto biodegradable y pueda escogerse fácilmente en el mercado.



Fuente: López C. / et al. Laboratorio de Ambiental, Facultad de Ciencias de la Tierra, FIGEMPA, 2021.

Esquema 2 Composición del color del sorbete en HSV

Para determinar la biodegradabilidad de los sorbetes se tomaron 5 muestras que fueron analizadas en el laboratorio bajo condiciones controladas aeróbicas semejantes a la desintegración en compostaje de materia orgánica, dándonos como resultado que el tiempo en desintegrarse por completo el material fue 120 días (véase Esquema Gráfico 3).



Fuente: López C. / et al. Laboratorio de Ambiental, Facultad de Ciencias de la Tierra, FIGEMPA, 2021.

Esquema 3 Descomposición del material biodegradable elaborado en el proyecto

En los ensayos de calidad del producto terminado se observó que el sorbete presenta buena resistencia a la ruptura, con un esfuerzo máximo de 1,47 MPa, una deformación máxima de 2 cm y una elongación del 19,9 % como lo propone [9]. En cuanto a la adherencia, este es fácilmente adherible lo que ayudó a unir las paredes para formar un sorbete cilíndrico, pero esto le daba la desventaja que fuera de difícil desprendimiento de la superficie de trabajo [5].



Fuente: López C. / et al. Laboratorio de Ambiental, Facultad de Ciencias de la Tierra, FIGEMPA, 2021.

Esquema 4 Muestras del producto final

## CONCLUSIONES

- ✓ Se concluye que el modelo de producción de la propuesta es técnicamente viable para los pequeños productores y la mini industria de caña de azúcar [5] debido a sus bajos costos de operación, a su baja inversión inicial, a la facilidad de obtener la materia prima en cantidades grandes con gran rendimiento de celulosa y la calidad del producto terminado en base a sus componentes biodegradables; en cuanto al espacio requerido para la operación del mismo es reducido y los conocimientos requeridos no son sofisticados, por lo que puede adaptarse a cualquier finca dedicada a la producción de caña de azúcar.
- ✓ Se determinó que las características necesarias de controlar en la fabricación de sorbetes biodegradables en base a celulosa vegetal son humedad, diámetro de partícula y tiempo de almacenamiento, por lo tanto, se concluye que: la humedad en el bagazo acelera su descomposición

dañando las fibras e incrementando el uso de insumos químicos en el proceso de transformación en pasta celulosa; por lo que se debe mejorar la eficiencia en la extracción de licor en el trapiche; el diámetro de partícula está relacionado con la densidad y su control puede mejorar el consumo eficiente de la energía en el proceso industrial; finalmente el almacenado desgasta las fibras por procesos fermentativos dejando una materia prima de muy mala calidad; por lo que no debe dejarse almacenado por más de 6 meses [5].

- ✓ Se concluye que el proceso más eficiente para la extracción de pulpa celulosa para fabricar sorbetes biodegradables es por monosulfito de sodio, debido a su gran eficiencia en el proceso de cocción al extraer la lignina, a su alto contenido de fibras largas que darán mayor resistencia al producto final, así como también al color claro que le otorga, siendo innecesario un blanqueamiento químico de esta fibra que disminuiría su calidad y su capacidad para encolar [5].
- ✓ Los criterios económicos medidos y analizados en el estudio financiero arrojaron valores benéficos [5], con utilidades positivas en el VNA, con una tasa interna de retorno mayor al interés compuesto, con una relación beneficio costo mayor a 1 y un período de retorno de la inversión de 2 años, 2 meses y 12 días, por ende, se concluye que la propuesta es económicamente viable.

## AGRADECIMIENTO

Extendemos nuestros más sinceros agradecimientos a quienes hicieron posible el uso del laboratorio y sus equipos para los ensayos del presente trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Alessi, «Una trampa de plástico,» WWF - World Wildlife Fund, vol. I, n° 2, p. 28, 2018.
- [2] C. Morrison, «Se encuentran microplástico en el agua embotellada de todo el mundo,» ORB, Washington DC, 2020.
- [3] ONU, «Bagazo de caña de azúcar como materia prima para papel y celulosa,» de Junta Latinoamericana de expertos en la industria de papel y celulosa, Buenos Aires, 1954.
- [4] N. Aguilar Rivera, «Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel,» Scielo, pp. 1-9, 2016.
- [5] C. López y J. Solórzano, «Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en la producción de pulpa para la elaboración de sorbetes,» UCE, Quito, 2021.

- [6] B. P. Lara Dávila, *Como elaborar proyectos de inversión paso a paso. Primera Edición*, Quito: Oseas Espín, 2011.
- [7] G. A. Roca Alarcón, C. Glauco Sanchez, E. Olivares Gómez y L. A. Barbosa Cortez, «Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte I: características físicas,» *Scielo*, vol. 1, n° 21, pp. 1-10, 2006.
- [8] M. A. Pereira, R. Patt y O. Kordsachia, «Efecto de la carga de sulfito de sodio en el pulpaje NSSC de E. Globulus,» *Scielo*, vol. 2, n° 41, pp. 1-10, 2011.
- [9] P. Meza Ramos, L. Quipezco Ushñahua y V. Meza Contreras, «Elaboración de bioplásticos y determinación de su biodegradabilidad - Proyecto de laboratorio,» *Revista Del Instituto De Investigación De La Facultad De Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica Y Geográfica*, vol. 22, n° 43, pp. 67-80, 2019.
- [10] R. Díaz, «Caracterización energética del bagazo de caña de azúcar del Ingenio Vladéz - Ecuador,» de *Producción y aprovechamiento energético de biomasa*, Quito, 2008.

Recibido: 2021/08/30

Aceptado: 2021/10/02

ARTÍCULO ORIGINAL

## INCIDENCIA QUE TIENE EL PROCESO DE EXTRACCIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN A PARTIR DEL MAÍZ (*Zea mays*)

### IMPACT OF THE PROCESSES TO OBTAIN CORN STARCH (*Zea mays*) IN ITS PERFORMANCE

Heredia Aguirre Susana Isabel<sup>1</sup> , Álvarez Merchán Miguel Mauricio<sup>2</sup> , Huacho Chávez Iván Fernando<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Docente Investigador Facultad de Salud Pública, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

<sup>2</sup>Investigador Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la ESPOCH (GIADE), Riobamba, Ecuador.

<sup>3</sup>Docente Investigador Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la ESPOCH (GIADE), Riobamba, Ecuador.

\*Correspondencia: [sheredia@epoch.edu.ec](mailto:sheredia@epoch.edu.ec)

#### RESUMEN

La investigación efectuada contó como objetivo evaluar la incidencia de diferentes procesos en el rendimiento de obtención del almidón de maíz, se utilizaron procedimientos tales como: mecánicos de licuado, molienda y rallado, las muestras de maíz tuvieron un tratamiento previo de lavado y pesado, para lo cual, se precisó de un valor constante de 200 gramos por repetición, mismos que fueron alimentados a cada proceso respectivamente. En el primer caso se licuó por cinco minutos a velocidad intermedia utilizando la licuadora marca OSTER de perilla, con 100 mL agua, para la molienda se realizó en un molino convencional con un volumen de agua de 100 mL, y por último con un rallador de cocina sin disolver en agua, se procedió a filtrar y se dejó sedimentar por un lapso de 24, 20 y 3 horas respectivamente, logrando la eliminación del líquido sobrenadante, el último paso fue secar el producto al ambiente por el lapso de: 72, 50 y 72h respectivamente; los resultados obtenidos se analizaron con el test ANOVA, el cual permitió determinar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos utilizados en este estudio.

Finalmente se pesó y calculó el rendimiento por proceso identificando que el método de extracción de almidón de maíz más adecuado es el licuado con 13,91%.

**Palabras clave:** Maíz, tratamiento, sedimentación, filtración, almidón.

#### ABSTRACT



The objective of the research carried out was to evaluate the incidence of different processes in the performance of obtaining corn starch, procedures such as: mechanical blending, grinding and grating were used, the corn samples had a previous washing treatment and weighing, which were fed to each process respectively. In the first case, it was liquefied for treatment and weighing was necessary a constant value of 200 grams per repetition, which were fed to each process respectively. In the first case, it was liquefied for five minutes at intermediate speed using the OSTER brand blender with 100 mL of water, for grinding it was carried out in a conventional mill with a volume of water of 100 mL, and finally with a grader of cook without dissolving in water, it was filtered and allowed to settle for a period of 24, 20 and 3 hours respectively, achieving the elimination of the supernatant liquid, the last step was a dry the product in the environment for the period of: 72, 50 and 72 h respectively, the results obtained were analyzed with the ANOVA test, which made it possible to determine that there were no statistically significant differences between the treatments used in this study.

Finally, the yield per process was weighed and calculated, identifying that most suitable corn starch extraction method is the liquefied with 13,91%.

**Keywords:** Corn, treatment, sedimentation, filtration, starch.

## INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los principales productos dentro de consumo a nivel mundial, no solo como alimento de consumo para el ser humano, sino también como alimento para animales de crianza de los cuales luego se aprovecha su carne y demás derivados. Otro uso importante que se le da a este producto es en la industria de los biocombustibles, a pesar de que no tiene un peso altamente considerado dentro de la producción total de los biocombustibles ese aporte ha generado en los últimos tiempos una disminución en la producción de este grano como alimento humano y de animales poniendo en serio peligro la seguridad alimentaria de este producto. (1)

Se sabe que el almidón es un polisacárido complejo compuesto por amilosa y amilopectina, polímeros de glucosa, que se almacena en gránulos que poseen diferentes tamaños entre sí, además que varían en composición química y características físicas según la fuente de la cual provengan. (2)

Se puede decir que el 20% de los almidones (3) es amilosa y el 80% amilopectina en la mayoría de ellos. Esta sustancia que se la conoce como polímero, no solo sirve como almacenamiento de nutrientes de las plantas, sino también es considerado como una fuente de energía para los seres humanos esto es posible a través del

consumo de estos alimentos, además estas características nutricionales poseen múltiples aplicaciones dentro de la industria alimentaria (4), Dentro de la revisión bibliográfica se ha encontrado que los biopolímeros fabricados a partir del almidón (5) poseen características similares a las fórmulas que son desarrolladas a base de petróleo, pero entre estas dos materias primas que se utilizan para la obtención de plásticos (6) existe una gran diferencia, en el caso del almidón es biodegradable y una vez que este se haya degradado puede usarse incluso como compostaje. En otras palabras, es amigable con el ambiente. (7)

Con el avance tecnológico se pueden aplicar diferentes técnicas para la extracción de almidón por citar un ejemplo, en el sector industrial por lo general se utilizan reactivos, sobre todo en la parte de la maceración, que tiene como propósito obtener un mejor rendimiento lo que ayudado a la realización de algunas investigaciones que han estudiado la influencia de reactivos como el caso del carbonato de ácido sódico (5), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )(6) entre otros. Los residuos que se generan por este proceso junto con los reactivos pueden ser considerados como un problema de contaminación, si no son tratados adecuadamente como lo indican algunas investigaciones donde emplean soluciones de ácido láctico, sin embargo, es preciso destacar que el almidón de maíz siempre va a sufrir modificaciones a causa del proceso de nixtamalización. (7)

Con esos antecedentes en esta investigación se propone analizar la incidencia del proceso de extracción en el rendimiento relacionado con la cantidad de almidón de maíz obtenido por medio de procesos mecánicos como licuado, molienda y rallado, sin la inclusión de reactivos. Con estos tres procesos de desintegración se facilita la separación (11) del almidón de los demás componentes del maíz (8), dentro de los ensayos se añadió una cantidad de agua con la finalidad de separar el componente de interés para este estudio.

Una vez sedimentado y secado el almidón, se obtuvo un rendimiento muy similar entre los tres procesos utilizados, sin embargo, la mayor cantidad de almidón se obtuvo licuando la muestra, con el resultado obtenido se podría señalar a este procedimiento como el más adecuado para la extracción de almidón en granos de maíz.

## **METODOLOGÍA**

Como primer paso se procedió con el lavado y pesado estándar de 200 gramos de maíz, posteriormente se colocó en la licuadora añadiendo un volumen de 100 mL de agua, a velocidad intermedia se licúa el producto por un tiempo de 5 minutos. Luego se filtró (9) con una malla de nylon, dejando sedimentar por un lapso de 24 horas, seguidamente se separó el líquido sobrenadante y se lo colocó a la intemperie para realizar el proceso de secado (10) en un tiempo aproximado de 96 horas tanto para el primer y segundo ensayo y se consideró 72 horas para el tercero.

Otra forma de extracción de almidón fue mediante la utilización del molino, para este proceso se lavó y peso 200 gramos de maíz, luego se colocó en el molino para molerlo y posteriormente mezclar con 100 mL de agua, los pasos anteriores de consideraron antes de mezclar el producto con 150, 200 y 250 mL de agua; para la última repetición no se le añadió agua y se filtró con una malla de nylon, dejándolo sedimentar por un lapso de 20 horas, seguido se separó el líquido sobrenadante y se colocó a la intemperie para el proceso de secado en un tiempo aproximado de 50 horas.

Finalmente se aplicó el proceso de rallado para obtener el almidón, al igual que los otros tratamientos se procedió a lavar y pesar 200 gramos de maíz, se ralló el maíz para posteriormente filtrar con una malla de nylon, se dejó sedimentar por un lapso de 3 horas, para luego separar el líquido sobrenadante, se lo secó a la intemperie en un tiempo de 72 horas.

Con el almidón obtenido realizando los tres procedimientos se realizó un análisis proximal (11), microbiológico los valores de los parámetros fueron analizados estadísticamente aplicando el test ANOVA.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la aplicación de los diferentes tratamientos para la obtención de almidón se consideró al maíz que se produce en la región Interandina con énfasis en el Centro del territorio ecuatoriano siendo comercializado en diferentes plazas y mercados del país, en la Tabla 1 se describe ciertas características organolépticas propias del maíz (*Zea mays*).

**Tabla 1 Análisis organoléptico del grano de maíz**

No.	ENSAYOS	MAÍZ
1	Color	Blanco
2	Olor	Agradable (Fresco)
3	Sabor	Insípido

Fuente: Banda K. /et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

El maíz analizado cumplió con las características físicas (10) y (11) como: color blanquecino que depende del tiempo de maduración, olor agradable y dependiendo del grano si es tierno o maduro el sabor tiene una ligera variación insípida; según se detalla a continuación:

**Tabla 2 Análisis organoléptico del almidón**

TRATAMIENTO	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	ALMIDÓN
-------------	-------------------------	---------

T1-T2-T3	Color	Blanquecino
	Olor	Desagradable (agrio)
	Sabor	insípido
	Textura	Granular

Fuente: Banda K. /et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Otro aspecto importante es la concordancia en base al (11), almidón en cuanto al color blanco muy característico cuando no existe efecto del polen que proviene del maíz, su olor puede volverse desagradable debido al paso del tiempo mientras se seca este tiende a "oxidarse" y adquiere el olor a maduro. En cuanto a la textura en los dos trabajos es granular debido a que al secarse el almidón se convierte en polvo a continuación se detalla la fórmula química  $C_6H_{10}O_5$ .

En la tabla 3 se describe el peso promedio por grano y diámetro de las muestras que se utilizaron para la obtención de almidón, en los datos del diámetro se observan semejanzas con los resultados de las investigaciones (12) y (13), obteniendo un resultado promedio entre 0,7-0,9 cm en diámetro, pero en relación al peso por grano existe una diferencia notable ya que en las fuentes (12) y (13) obtienen un promedio de entre 0,32-0,45 gr por grano a comparación del 0,62 g; esta diferencia se puede establecer por dos razones la naturaleza del cultivo y la cosecha del maíz.

Tabla 3 Caracterización física del grano de maíz

No.	TRATAMIENTO	PRODUCTO		
		Peso de 100 granos (g)	peso equivalente x grano (g)	DIÁMETRO (cm)
1	T1	61,60	0,62	0,78
2	T2	60,80	0,62	0,68
3	T3	63,40	0,63	0,70
PROMEDIO		61,93	0,62	0,72

Fuente: Lima J., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

El análisis químico del maíz se determinó en base a las fuentes bibliográficas (14), (15), (16), (17), (18), (19), las mismas que se detallaron en la tabla 3 considerando los principales componentes que conforman el grano de maíz.

Tabla 4 Análisis químico del maíz

No.	COMPONENTE	UNIDADES	CANTIDAD
-----	------------	----------	----------

1	Agua	(g)	9,77
2	Proteína	(g)	8,314
3	Grasa	(g)	4,19
4	Carbohidrato	(g)	50,32
5	Fibra	(g)	2,16
6	Ceniza	ppm (mg/kg)	1,90
7	Calcio	ppm (mg/kg)	5,60
8	Fósforo	ppm (mg/kg)	168,50
9	Hierro	ppm (mg/kg)	1,50
10	Tiamina	(mg)	0,22
11	Riboflavina	(mg)	0,12
13	Niacina	ppm (mg/kg)	1,97
14	Calorías	(kcal)	359

Fuente: Lima J., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

En base a los diferentes autores en la tabla 4. Se evidenció que existe un alto valor en las cantidades de agua y ceniza, esto se debe porque los análisis fueron realizados cuando el maíz estaba tierno, excluyendo de que en si el grano de maíz ya contiene grandes cantidades de líquidos, en lo que respecta a los minerales existe mucha similitud ya que se encuentran en pequeñas partes por millón logrando un aporte nutricional único del grano de maíz.

**Tabla 5 Análisis proximal del maíz**

No.	ENSAYO	UNIDAD	MAÍZ	ESTÁNDAR	NORMA
1	Humedad	(%)	23,14	13-30	NORMA INEN NTE 0187
2	Ceniza	(%)	1,29	2	NORMA INEN NTE 2051
3	pH		6,22	4,5 - 6,5	NORMA MEXICANA NMX-F-382-1986
4	Fibra	(%)	2,00	2,5 Máx	NORMA INEN NTE 2051
5	Proteína	(%)	8,55	8 Min	NORMA INEN NTE 2051
6	Grasa	(%)	3,78	3,5 Min	NORMA INEN NTE 2051

Elaborado por: Robalino K., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

**Tabla 6 Análisis proximal del almidón**

No.	ENSAYOS	UNIDAD	ALMIDÓN	ESTÁNDAR	NORMA
1	pH		6	4,5 - 6,5	NORMA MEXICANA NMX-F-382-1986
2	Humedad	(%)	10,25	12,0 - 13,0	NORMA MEXICANA NMX-F-382-1987

3	Cenizas	(%)	0,40	1 Máx	Codex Standard 155-1985
4	Proteínas	(%)	2,75	0,8 Máx	NORMA MEXICANA NMX-F-382-1989
5	Lípidos	(%)	0,60	0,5 Máx	NORMA MEXICANA NMX-F-382-1990
6	Carbohidratos	(%)	82,06	80, 0 - 90,0	NORMA MEXICANA NMX-F-382-1991
7	Fibra	(%)	0,37	1 Máx	Codex Standard 155-1985
8	Temperatura de Gelatinización	°C	72	72,0 - 74, 0	NORMA MEXICANA NMX-F-382-1989

Elaborado por: Armendariz A., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH,2020

Los polímeros que contiene el almidón de maíz como: glucano, amilosa y amilo pectina lo distinguen de los otros almidones. Según Cornejo, 2018 (20) en cada almidón existen diferentes variaciones en su composición química en base a distintos parámetro que se detallan a continuación: glucanos, humedad, lípidos, proteínas y residuos fosforilados; esta varianza se relaciona con las superficie de granos del almidón. El almidón de maíz obtenido por los tres tratamientos cumple con las características que Cornejo propuso en su trabajo con una peculiaridad de que “la amilosa influye en el empaque del amilo pectina en cristalitas y en la organización de las láminas cristalinas dentro de los gránulos de almidón. Este hecho es importante para las propiedades que se relacionan con la absorción de agua como es la hinchazón y la gelatinización” respectivamente.

La humedad del almidón obtenido cumple con las Norma Mexicanas al comparar con Castellanos, quien obtuvo un valor de 10,45%, se puede apreciar una similitud; la variación existente puede darse a la aplicación de diferentes métodos y temperaturas de secado con el que obtuvieron los almidones. El porcentaje de fibra y ceniza obtenidos son aceptables dentro de lo que establece la norma Codex estándar; estos resultados se los comparó con Palacios(21), en el cual aun presentando mayor exactitud al realizar los métodos con todos los materiales e insumos necesarios, estos nos corroboran que el análisis proximal del almidón obtenido cumple con los parámetros; cabe recalcar que la temperatura es importante ya que esta modifica las funcionalidades químicas, el porcentaje de proteína es un poco mayor debido a la influencia del método de aislamiento del almidón en el cual la proteína se adhiere a la superficie del almidón y por esta razón son difíciles de remover.

Tabla 7 Análisis de amilosa y amilo pectina en el maíz

No.	PARÁMETRO	MAÍZ
1	Azúcares	3,00%
	Totales	

2	Amilosa	20,90%
3	Amilopectina	79,10%

Elaborado por: Banda K., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH,2020

**Tabla 8 Análisis de amilosa y amilo pectina en el almidón de maíz**

No.	PARÁMETRO	ALMIDÓN
2	Amilosa	62,80%
3	Amilopectina	37,20%

Elaborado por: Banda K., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH,2020

El porcentaje de almidón que existe en los diferentes alimentos es diferente. Según Cornejo(20), para el caso del maíz se tiene un porcentaje del 20,90% en el alimento, pero al extraerlo este corresponde al porcentaje de amilosa y amilo pectina aproximadamente del 70%, es decir que con este valor de almidón se lo puede considerar como alto y de tipo III si comparamos el almidón ceroso y el almidón insignificante en amilosa, los valores que se muestra en la Tabla 8 define que el almidón obtenido corresponde al tipo III. La cantidad que se obtiene viene definida según el método de extracción que se utilice, en Palacios se puede conocer la incidencia en el método de extracción del almidón encontrándose el método alcalino, ácido y control; comparando con los datos de la tabla 8 se observó una variación en el porcentaje de amilosa y amilo pectina obtenido, este hecho el autor lo menciona como “degradación de la amilosa en el proceso de extracción”; cabe resaltar que la morfología de los granos de almidón en el trabajo investigativo no presentaron variación pues estuvieron en el rango de aceptación.

En el estudio realizado por Cornejo(20), deduce que el contenido de amilosa afecta la cristalinidad del almidón, es decir, la amilosa influye en el empaque del amilo pectina y en la organización de las láminas cristalinas dentro de los gránulos de almidón; el almidón obtenido en esta investigación tiene una gelatinización muy buena ya que el porcentaje de amilosa es más del 50% demostrando que estos factores son importantes y que se relacionan con las propiedades de absorción de agua e hinchazón. Es importante considerar algunos factores adicionales como temperatura, alimento y método de extracción mismos que inciden en la cantidad de amilosa y amilo pectina que se obtiene.

**Tabla 9 Análisis microbiológico del maíz**

No.	TRATAMIENTO	HONGOS (UFC/g)	LEVADURAS Y MOHOS (UFC/g)	MESOFILOS (UPC/g)
1	T1	1,20*10exp7	9,30*10exp6	3,60*10EXP6
2	T2	1,10*10exp7	1,10*10exp7	4,70*10EXP6

3	T3	1,80*10exp7	1,00*10exp7	3,60*10EXP6
---	----	-------------	-------------	-------------

Elaborado por: Banda K., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH,2020

Tabla 10 Análisis microbiológico del almidón de maíz

No.	TRATAMIENTO	HONGOS (UFC/g)	LEVADURAS Y MOHOS (UFC/g)	COLIFORMES TOTALES (UFC/g)
1	T1	<10	<10	<3
2	T2	<8	<10	<3
3	T3	<10	<10	<2

Elaborado por: Banda K., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH,2020

Cabe resaltar que el almidón de maíz es uno de los que más se produce y que se ocupa a nivel industrial en la elaboración de harinas según lo indica Castellanos, en cuanto a las especificaciones para hongos y levaduras deben estar como máximo 100 coliformes totales y deben ser <3, al comparar con los datos obtenidos para el almidón de maíz estos valores son aceptables ya que se encuentran dentro de los rangos, la existencia de estos microorganismos pueden ser generados al momento de realizar el proceso de secado al aire libre, además van a depender del tiempo que este haya estado expuesto al ambiente o en el proceso que se denomina maceración a la vez va a depender de cada tratamiento. En el mismo documento se define que: "El número de microorganismos aerobios mesófilos encontrados en un alimento han sido uno de los indicadores microbiológicos de calidad más utilizados pues indica si la limpieza, la desinfección, transporte y el control de la temperatura durante el proceso industrial, se realizó de manera adecuada". Tanto el análisis del maíz como el análisis del almidón se encuentran en los rangos establecidos por la norma (COVENIN 902-87). Un aspecto que se debe considerar en cuanto a la proliferación de algunos tipos de mohos como: los bacillus es la humedad que existe en el producto permitiendo un crecimiento microbiano. En el maíz también pueden presentarse coliformes totales comúnmente son contaminantes bacterianos que vienen dados por pájaros, insectos y roedores, de esta manera se relacionan directamente con el grano. (22)

Tabla 11 Rendimiento del almidón de maíz

No	TRATAMIENTO	PESO (g)		RENDIMIENTO (%)
		MAÍZ	ALMIDÓN	
1	T1 (Licuado)	200,00	139,10	13,90
2	T2 (Molienda)		89,00	8,90
3	T3(Rallado)		72,00	9,50

Fuente: Cardenas L., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.



El análisis del rendimiento se puede observar en la tabla 11, donde se indica que el mejor rendimiento es para el tratamiento N°1 que tiene 13,90 %, para todos los tratamientos se consideraron diferentes variables según método de extracción, tiempo y volumen; peso de maíz 200 g el cual fue constante para todos los casos. Para que exista un buen rendimiento es importante tener en cuenta que tipo de extracción vamos hacer; en el trabajo de Palacios(21) ocuparon 3 tipos de extracción del almidón estos eran con agua destilada, método alcalino y ácido. Este trabajo recalca la idoneidad del método de extracción en los resultados para el primer método que es con agua se obtuvo un almidón con 20,25% de amilosa mientras que en el segundo método contiene un porcentaje de 75,84% de almidón y en el tercero se obtuvo 30,28% de amilosa, el segundo método es el que más porcentaje se pudo apreciar, en el cual menciona que puede ser debido al hidrólisis.

En este caso el porcentaje de rendimiento bajo puede ser debido al método de extracción y los equipos no adecuados, otro de los factores puede ser de que no se usó algún reactivo adecuado para la extracción. Según Castellanos (11) menciona que depende también de la madurez del grano es decir si es un maíz tierno o un maíz maduro.

Otro de los factores que Palacios (21) indica es que “la amilosa se degrada en oligosacáridos de bajo peso molecular, aunque estos efectos se reducen en almidones con bajo contenido de amilosa y alto poder de hinchamiento. Está claro que el método va afectar la morfología de la superficie del almidón. Esto significa que algunos componentes, principalmente de la superficie del gránulo, se van a eliminar como resultado del proceso, dando como resultado en algunos casos la formación de agujeros.”

Tabla 12 Varianza del almidón de maíz

	LICUADO	MOLIENDA	RALLADO
REPETICIÓN	T1	T2	T3
1	11,03	9,50	8,50
2	10,44	9,00	7,00
3	12,90	8,50	8,00
4	11,21	7,50	10,50
5	11,97	10,00	13,50

Fuente: Cardenas Lorena, et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

En la tabla 12 se indica los resultados de la extracción de almidón a partir de muestras de maíz de 200 g. Se aplicaron 3 tratamientos diferentes que consistieron básicamente en la variación de los equipos. Se eligieron equipos como licuadora, molino y rallador. Para cada una de ellas se realizaron 5 repeticiones con muestras de 200 gramos. La teoría a probar fue si existe alguna variación en la extracción del almidón al utilizar los diferentes equipos. Al analizar los promedios de cada tratamiento denota que existe variación en el procedimiento del licuado, el cual presenta un mayor porcentaje de extracción del almidón. Dada la naturaleza del diseño, fue necesario analizar estos datos estadísticamente si existen diferencias significativas entre los tratamientos. Para ello se procedió a realizar un análisis del factor ANOVA.

Tabla 13 Prueba anova del almidón de maíz

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE LOS CUADRADOS	F	PROBABILIDAD	VALOR CRÍTICO PARA F
Entre grupos	18,67	2	9,34	3,3	0,07	3,89
Dentro de los grupos	33,81	12	2,82			
Total	52,49	14				

Fuente: Heredia S., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

En la tabla 13 se muestra los resultados de la prueba de ANOVA realizada sobre los rendimientos del almidón de maíz con un nivel de confianza del 95%. Se planteó para esta investigación las siguientes hipótesis nula “no existen diferencias significativas entre los tratamientos” e hipótesis alternativa “existen diferencias significativas entre los tratamientos”. Dado que la probabilidad fue  $> 0,05$ , se aceptó la hipótesis nula. El análisis entonces se centró en que no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

## CONCLUSIONES

- ✓ Se determinó que en los resultados obtenidos en el rendimiento para el tratamiento del licuado fue de 13,90%, para la molienda 8,9 % y para el rallado 9,50%.
- ✓ Se identificó que el proceso más adecuado para la obtención del almidón es el licuado ya que presenta mayor rendimiento.
- ✓ Al realizar el análisis estadístico ANOVA se determinó que no existe diferencias significativas entre los tratamientos.

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primera instancia al Ing. Hannibal Brito por su guía, apoyo, e ideas que nos motivaron a realizar esta investigación, igualmente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarnos su infraestructura para poder realizar las diferentes experimentaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FAO. *Calidad y competitividad de la agroindustria rural de América Latina y el Caribe. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO.* 2004.
2. Arias M. *Obtención del Almidón de la Alocacia Macrorrhiza y Cuantificación del Oxalato de Calcio. Tsede.* 2019 Mayo 3; 2(1).
3. Aristizábal J, Sánchez T. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca Roma: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN;* 2007.
4. Cobana M, Antezana R. *Proceso de Extracción de Almidón de Yuca por Vía Seca. Revista Boliviana de Química.* 2007; 24(1): p. 77-83.
5. Brito H, Borja D, Chango G. *Obtaining yacon Flour (Smallanthus sonchifolius).* 2019.
6. Angeles P. *Diseño de un proceso industrial para obtener plástico biodegradable (TPS) a partir de almidón de yuca manihot sculenta Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Luis Gallo;* 2015.
7. Gross R, Kalra B. *Biopolímeros: Avances y perspectivas. Science.* 2002 Agosto 2; 297: p. 803-807.
8. Palacio J, Peñata Y. *Aumento del Rendimiento en la extracción del almidón a partir del grano de maíz y la influencia del carbonato de ácido sódico en las propiedades fisico-químicas del slurry. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.* 2012.
9. Rodríguez L, Gallardo I, Nieblas C, Ortiz W. *Evaluación de dos variedades de sorgo para la obtención de almidón. Centro Azúcar.* 2015; 42(1).
10. Salinas Y, Herrera J, Castillo J, Pérez P. *Cambios físico-químicos del almidón durante la nixtamalización del maíz en variedades con diferente dureza de grano. Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* 2003; 53(2).
11. Brito H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias II Riobamba: Docucentro ESPOCH;* 2001.

12. Castelló M, Barrera C, Pérez É, Valls N. Reducción del tamaño de partículas y tamizado de sólidos. Departamento de Tecnología de Alimentos. 2013.
13. Ji Y, Seetharaman K, White P. Optimizing a Small-Scale CornStarch Extraction Method for Use in the Laboratory. *Cerealo Chem.* 2004; 81(1): p. 55-58.
14. Brito H. *TEXTO BASICO DE OPERACIONES UNITARIAS III* Riobamba, Ecuador: Docucentro, ESPOCH; 2001.
15. Brito H, et al. Diseño de un proceso de producción industrial de almidón a partir de mashua (*Tropaeolum tuberosum*). *La Ciencia al Servicio de la Salud y la Nutrición.* 2019;; p. 202-209.
16. Juarez G. Instructivo de muestreo y análisis de maíz, frijol y arroz. *Diconsa.* 2011;; p. 46.
17. Castellanos J. *Determinación de Propiedades Fisicoquímicas y Características Microbiológicas en muestras de Materias Primas y Elaborados por Industrias del Maíz.* Universidad de Los Andes. 2010 Septiembre.
18. Ordoñez M, Gely M, Pagano A. *Study of phisical properties and the kinetics drying of hard-red corns grains.* *Avances en Ciencias e Ingeniería.* Septiembre 2012.
19. Silva W, Alfaro Y, Jiménez R. *Estudio De Las Propiedades Físicas Y De La Cinética De Secado De Granos De Maiz Colorado Duro.* UDO Agrícola. 2009 Dec.
20. FAO. *El maíz en la nutrición humana - Composición química y valor nutritivo del maíz.* In FAO...: Departamento de Agricultura; 2006.
21. Martínez M, Palacios I, Henry M. *Composición química del grano de maíz (Zea mays) Chococito del municipio de Quibdó, Chocó, Colombia.* *Revista de Investigación Agraria y Ambiental.* 2016; VII.
22. Ortiz J, Astudillo G, Ochoa A, Donos S. *Tabla de Composición de alimentos.* 2018.
23. Echeverría J, Muñoz C. *Maíz: regalo de los Dioses.* In Echeverría J. *Maíz: regalo de los Dioses.* Otavalo: Instituto Otavaleño de Antropología; 1988. p. 137.
24. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. *Investigación Agrícola del Maíz blanco. Base de datos nacional de nutrientes para referencia estándar.* 2013.
25. Moreiras , Col. *Tablas de Composición de Alimentos(MAÍZ EN MAZORCA, CRUDA, CONGELADA).* ; 2013.
26. Cornejo Y, Martínez O, Del Toro C, Wong F, Borboa J, Cinco F. *The structural characteristics of starches and their functional propieties.* *CyTA - Journal of Food.* 2018; 16(1): p. 1003-1017.
27. Palacios A, Castro J, Gómez C, Tovar T, Millán B, Del Real A, et al. *Effect of the alkaline and acid treatments on the physicochemical properties of corn starch.* *CyTA-Journal of Food.* 2013; 11(S1): p. 67-74.
28. Lozada L. *Granos y Harinas. Manual de Microbiología de los Alimentos.* 2008.

29. Hinojosa F, Cárdenas F, Álvarez H, Cobeña Ge(. *Manual de la yuca*. Manabí, Ecuador: EC. INIAP; 1995.
30. Waliszewski K, García Alvarado M, De la Cruz Medina J. Kinetics of enzymic hydrolysis of cassava flour starch - optimization modelling: *International Journal of Food Science & Technology*; 2007.
31. Eggleston G, Omoaka P, Arowshegbe A. Flour, starch and composite breadmaking quality of various cassava clones: *Journal of the Science of Food and Agriculture*; 1993.
32. Pérez E, Lares M, Gonzáles Z, Tovar J. Production and Characterization of Cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) Flour using different thermal treatments: *interciencia*; 2007.
33. Peroni FG. *Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas* Sao José do Rio Preto: Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"; 2003.
34. Huang J. *Function-Structure Relationships of Acetylated Pea Starches*. Netherlands: Wageningen University; 2006.
35. Fritz HG. *Study on production of thermoplastics and fibers based mainly on biological material*. Stuttgart: European Commission; 1994.
36. Surco F. *Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: Mashua (*tropaeolum tuberosum*), Oca (*Oxalis tuberosa*), ulluco (*Ullucus Tuberosus*) para su aplicación tecnológica* Lima; 2004.
37. Trujillo C. *OBTENCION DE PELICULAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDON DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz) DOBLEMENTE MODIFICADO PARA USO EN EMPAQUE DE ALIMENTOS* Puerto Maldonado, Perú: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios; 2014.
38. Montoya H. *Industrialización de la Yuca: Obtención de Almidón Nativo y sus Aplicaciones* Cauca, Colombia: Universidad del Valle; 2007.
39. Hernández M, et al.. *Caracterización físicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México*. Scielo. 2008.
40. Puchicela. *Extracción de Almidón de Arroz*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ( ESPE), Departamento de Ciencias de la Vida y la agricultura ; 2015.

Recibido: 2021/09/03

Aceptado: 2021/10/02

ARTÍCULO ORIGINAL

## INCIDENCIA DE LAS OPERACIONES UNITARIAS EN LA OBTENCIÓN DE ALMIDON DE OCA

EXTRACTION OF A NATURAL POLYMER BASED ON RICE (*Oryza sativa*) AND PISINGALLO CORN (*Zea mays*)

Armijos Cabrera Gabriela<sup>1</sup> , Novillo Yaguarshungo Carlos Enrique<sup>2</sup> , Gusque Ximena<sup>3</sup> , Núñez Niachimba Adriana María<sup>4</sup> 

<sup>1</sup>Investigador Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud, UTMACHALA, Machala, Ecuador.

<sup>2</sup>Investigador, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, UEB, Guaranda, Ecuador Ecuador.

<sup>3</sup>Colaborador Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador.

<sup>4</sup>Docente Investigador Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la ESPOCH (GIADE), Riobamba, Ecuador.

\*Correspondencia: [gvarmijos@utmachala.edu.ec](mailto:gvarmijos@utmachala.edu.ec)

### RESUMEN

El uso de productos agrícolas vuelve a tener interés por la población, especialmente para el consumo alimenticio, es por este motivo, que la investigación se desarrolló con la finalidad de determinar la incidencia que tienen las Operaciones Unitarias en la obtención del almidón de oca fresca (*oxalis tuberosa*) y su rendimiento, para lo cual, se realizó el experimento mediante análisis Anova de un 1 factor con 3 componentes el licuado, rallado y molido, con un total de 3 tratamientos con 5 repeticiones cada uno, iniciando con la selección de la materia prima se analizó sensorialmente, luego se lavó, peló, troceó la oca (*oxalis tuberosa*) de manera que se sometió a los diversos métodos de extracción respectivamente con un volumen de agua determinado, por este motivo, se filtró y decantó por un lapso de 12 horas para poder separar las macromoléculas del polímero natural del líquido sobrenadante, en consecuencia se secó a temperatura ambiente y se procedió a pesarlo, con los datos obtenidos en los distintos tratamientos se realizó el análisis de varianza determinando que existen diferencias significativas entre sus tratamientos, y que el almidón conseguido por los diferentes métodos de extracción tiene un rendimiento del 13,5%; 9,7% y 4,1% respectivamente, por lo cual, se concluye que el mejor mecanismo de obtención del almidón a partir de la oca fresca es a través del licuado.

**Palabras clave:** Oca, licuado, rallado, molido, secado, filtración, extracción, almidón.

## ABSTRACT

The use of agricultural products is once again of interest to the population, especially for food consumption, it is for this reason, that the research was developed in order to determine the impact that Unit Operations have on obtaining fresh goose starch (*oxalis tuberosa*) and its performance, for which, the experiment was carried out by Anova analysis of a 1 factor with 3 components the liquefied, grated and ground, with a total of 3 treatments with 5 repetitions each, Starting with the selection of the raw material, it was sensory analyzed, then washed, peeled, chopped the goose (*oxalis tuberosa*) so that it was subjected to the various extraction methods respectively with a certain volume of water, for this reason, it was filtered and decanted for a period of 12 hours to be able to separate the macromolecules of the natural polymer from the supernatant liquid, consequently, it was dried at room temperature and weighed, with the data obtained in the different treatments, the analysis of variance was carried out, determining that there are significant differences between their treatments, and that the starch obtained by the different extraction methods has a yield of 13.5%; 9.7% and 4.1% respectively, therefore, It is concluded that the best mechanism for obtaining starch from fresh goose is through blending.

**Keywords:** Goose, liquefied, striped, ground, dried, filtration, extraction, starch.

## INTRODUCCIÓN

La oca (*Oxalis tuberosa*) es un tubérculo que se ha cultivado a lo largo de los años en las comunidades y pueblos andinos del Ecuador de manera más significativa en las provincias de Imbabura, Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo (1,2) gracias a sus suelos fértiles y a su clima adecuado para la siembra (3). Este producto forma parte del Patrimonio Alimentario del Ecuador (4), pero su consumo es bajo debido al desconocimiento y desvalorización injustificada que durante años se ha generado en torno a este tubérculo, ya que la mayor parte de la producción es destinada al consumo local de los mismos agricultores, por lo que el restante, representado por una pequeña cantidad, es destinada a la venta local.

En el caso de los productos agrícolas a nivel de Ecuador, uno de los mayores problemas es que no pueden venderlos, y en el caso de lograrlo, lo hacen a precios relativamente bajos porque los intermediarios son los que se llenan los bolsillos de dinero, provocando pérdida económica a los grandes productores. A partir, de lo

mencionado, lo que se pretende con la presente investigación es dinamizar la economía mediante la implementación de procesos que involucre la transformación agroindustrial de este tipo de productos tomando en cuenta las alternativas que los mismos ofrecen para otorgarles un valor agregado (1) y que a su vez puedan generar recursos.

Por su parte, la oca tiene un gran potencial para ser utilizada en diversas aplicaciones alimentarias debido a las características físicas y nutritivas que presenta (5), dado que el almidón es el principal componente del tubérculo de oca (~60% del peso seco) (6) sin embargo, hay que tomar en cuenta que la calidad de los alimentos a base de oca puede verse afectada por las propiedades del almidón (7). En su estado nativo es granular, el tamaño de los gránulos (1 100  $\mu\text{m}$ ) varía, dependiendo de la fuente (8), químicamente, tiene dos tipos de biomacromoléculas (amilosa y amilopectina), la amilosa es el componente menor (20-30%) y la amilopectina es la que se encuentra en mayor porcentaje en la mayoría de los almidones de diversas plantas (8,9). Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización (10).

El objetivo del presente trabajo se centra en evaluar la incidencia que tienen los métodos de extracción de almidón oca (*Oxalis tuberosa*) en su rendimiento, a partir del licuado, rallado y molido de la materia prima que previamente debe ser sometida a un exhaustivo proceso de selección y acondicionamiento con el fin obtener el almidón de la misma siguiendo la metodología descrita con el fin de darle un valor agregado a este producto y a su vez generar recursos a partir de la implementación del proceso más óptimo que resulte de la investigación.

## **METODOLOGÍA**

Las muestras de oca fueron adquiridas en el mercado Mayorista en la ciudad de Riobamba en la provincia de Chimborazo, las cuales fueron sometidas al análisis sensorial que nos permitieron determinar las características como el color, aroma, sabor y texturas, además de que este análisis es eficaz para el control de calidad y aceptabilidad de un alimento (11).

El almidón del *Oxalis tuberosa* fue extraído de acuerdo con los métodos descrito por (6,12) en cuanto al tratamiento de la materia prima con algunos ajustes. En los cuales el proceso para la obtención del almidón con el objetivo de eliminar impurezas que se encuentren presentes en el producto se procede con el lavado, seguido de ello el pelado, troceado y pesado de la oca. Posteriormente se aplica los diversos métodos de extracción seleccionados. El proceso se presenta con la información mínima (13), para la obtención del almidón de oca a



través del licuado se aplicó el método detallado por (7) con variaciones en las temperaturas de secado y el medio filtrante.

Una vez tratada la materia prima se colocó en la licuadora con un volumen de 300 mL de agua de botellón, con la primera velocidad por un tiempo de 1,5 minutos y una vez homogenizada la mezcla se procede al filtrado, el cual consiste en separar los sólidos suspendidos de un líquido utilizando en este caso como medio filtrante una malla nylon (14), el líquido filtrado se deja decantar por un lapso de 12 horas y una vez transcurrido dicho tiempo se realiza un nuevo lavado con 300 ml de agua con la finalidad de obtener un almidón blanco, el mismo que se sometió al proceso de sedimentación para separar el líquido sobrenadante, y por último se recogió el almidón y se inició con el proceso de secado por 24 horas permitiendo que el producto de interés tenga las características deseada (15), dicho almidón ya seco se pesó. Los pasos descritos previamente se lo realizaron para las 5 repeticiones.

El método para obtener almidón obtenido por rallado es especificado por la Universidad Nacional del Altiplano (16) en cuanto a nosotros al aplicar dicho método realizamos cambios en cuanto a los reactivos químicos, ya que los mismo no se implementaron.

La materia prima ya previamente tratada se procede a rallar colocándola en una bandeja a la cual se le agregó 300 mL de agua para poder tener una mezcla homogenizada, y desde este punto se realizó los pasos antes mencionado en el proceso por licuado.

La aplicación para el molido de la oca fresca fue propuesta por (17) modificando la utilización del tamizado ya que en nuestro caso el medio filtrante como ya se especificó antes en el método por licuado fue la media nylon, sin embargo, el método de extracción por molino se rige bajo el mismo patrón del licuado como del rallado con la única diferencia que en este caso la oca fresca se troceará previamente en pequeños pedazos para ser depositado en el molino.

Para todos los tratamientos en los cuales se obtuvieron el almidón de la oca se procedió a realizar los análisis tanto microbiológicos, como proximales en el cual se detalla los valores de humedad, ceniza, pH, proteínas, entre otros. Dichos cálculos fueron tomados de una tesis realizada en la ESPOCH (18). Y así mismo se determinó el rendimiento mediante la relación de peso seco de almidón obtenido y peso del tubérculo (19), además de que el contenido de amilosa y amilopectina se determinó utilizando el cálculo descrito por (19,20).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1 Taxonomía de la Oca (*Oxalis tuberosa*)

No.	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
1	Reino	Vegetal
2	División	Equisetophyta
3	Clase	Equisetopsida
4	Subclase	Magnoliidae
5	Orden	Oxalidales
6	Familia	Oxalidaceae
7	Género	<i>Oxalis</i>
8	Especie	<i>Oxalis tuberosa</i> Molina

Fuente: Núñez A., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Tabla 2 Caracterización Organoléptica de la Oca

No.	ENSAYOS	OCA
1	Color	Amarillo
2	Olor	Inoloro
3	Sabor	Ácido(grosella)

Fuente: Núñez A., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

En la tabla 2 se determinó mediante el uso de los sentidos las características de la materia prima usada para la elaboración de Almidón, (21) afirma que la mayoría de las especies de oca tienen un color de piel amarillo como lo es la materia prima seleccionada para la elaboración de almidón, al igual que el sabor depende de la especie con la que estamos trabajando y el tiempo de maduración que tenga esta, en nuestro caso corresponde a ácido y el olor no característico.

Tabla 3 Análisis físico de la Oca

No.	TRATAMIENTO	PRODUCTO		
		PESO (g)	LONGITUD (cm)	DIÁMETRO (cm)
1		22,000	7,00	8,50
2		30,000	8,00	8,00

3	T1	32,000	8,50	9,00
4		41,000	11,00	9,00
5		52,000	12,00	9,50
P		35,400	9,300	8,800
1	T2	25,000	7,50	7,50
2		29,000	8,50	8,30
3		44,000	10,00	8,70
4		52,000	11,50	9,00
5		40,000	12,50	7,00
P		38,000	10,000	8,100
1	T3	20,000	5,00	8,60
2		19,000	7,00	7,20
3		26,000	8,50	7,80
4		29,000	9,00	8,50
5		23,000	10,00	7,70
P		23,400	7,900	7,960
PROMEDIO		32,267	9,067	8,287

Fuente: Núñez A., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

En la tabla 3 se ha colocado el análisis físico realizado a la materia prima en este caso es la oca en la cual se han tomado muestras al azar y se procedió a pesar, medir la longitud y el diámetro, teniendo un promedio en peso de 32,267, longitud promedio de 9,067 y diámetro promedio de 8,287 (22) afirma que no hay un promedio exacto debido a que el cultivo de las mismas es muy extenso al igual que su tamaño y diámetro, todo va a depender del lugar en donde han sido cultivadas.

Tabla 4 Caracterización Físico Química de la Oca

No.	ENSAYOS	UNIDAD	OCA	ESTÁNDAR	NORMA
1	Humedad	(%)	83,80	80,10	NTE INEN 382

2	Ceniza	(%)	0,41	3,90	NTE 401	INE N
3	Solubilidad	(%)	11,93			
4	pH		6,44	4,54	NTE 389	INE N
5	Viscosidad	cP	3219,07			
6	Temperatura de gelatinización	°C	52,26			
7	Fibra	(%)	0,80	0,80	AOAC 7050	
8	Proteína	(%)	1,00	1,10	AOAC 2049	

Fuente: Núñez A., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

En la tabla 4 se ha registrado el análisis proximal realizado a la Oca antes del tratamiento, para lo cual ha sido necesario compararlo con las normas establecidas, según (23) dice que la humedad ha sobrepasado el límite, pero el porcentaje de ceniza es muchísimo menor al de la norma, mientras que el pH es mayor al valor estándar, esto puede deberse a un sin número de factores principalmente el método de cultivo o el lugar.

**Tabla 5 Análisis microbiológico de la oca**

No.	TRATAMIENTO	HONGOS (UPC/g)	LEVADURAS Y MOHOS (UPC/g)	COLIFORMES TOTALES (UPC/g)
1	T1		1000	110
2	T2	50	50	30
3	T3	50		80

Fuente: Núñez A., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

En la tabla 5 se ha realizado experimentalmente el análisis microbiológico a la materia prima en donde para cada uno de los tratamientos se ha analizado la cantidad de hongos, mohos y levaduras y coliformes totales, (23) afirma que para el tratamiento de licuado ellos han determinado hongos 50 UPC/g , levaduras y mohos 50 UPC/gy coliformes totales 30 UPC/g indicando que nuestro estudio ha sido similar.

**Tabla 6 Análisis de la Oca (Amilosa y Amilopectina)**

N°	PARÁMETRO	OCA	INSTITUCIÓN
1	Azúcares Totales	23,28	LAB. INVESTIGACION FC ESPOCH
2	Amilosa	ND	LAB. INVESTIGACION FC ESPOCH

3	Amilopectina	42,17	LAB. INVESTIGACION FC ESPOCH
---	--------------	-------	------------------------------

Fuente: Núñez A., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Para la Oca también se realizó la tabla 6 teniendo así el análisis de amilosa y amilopectina en el cual se obtuvo que en la oca solo existe un porcentaje de 23, 28% de azúcares totales, mientras que la amilosa, pero tenemos 422,17% de amilopectina lo que ayuda de una buena manera a la obtención de almidón con gran eficiencia. Según (23) el porcentaje total de almidón para la oca es de 42,17%.

**Tabla 7 Caracterización Organoléptica del Almidón de oca**

No.	ENSAYOS	Almidón de OCA
1	Color	Blanco
2	Olor	Inoloro
3	Sabor	Amargo

Fuente: Núñez A., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

En la tabla 7 se realizó la misma técnica del análisis organoléptico, pero en este caso el producto obtenido, teniendo un color blanco, inoloro y amargo, según (24) a mayor cantidad de almidón en el tubérculo se obtendrá un mayor porcentaje de almidón puro.

**Tabla 8 Análisis Proximal del Almidón de Oca**

No.	ENSAYOS	UNIDAD	ALMIDÓN	ESTÁNDAR	NORMA
1	Humedad	(%)	25,36	10,5-13	ITINTEC N° 209.604 1971
2	Ceniza	(%)	0,41	0,50	ITINTEC N° 209.604 1972
3	Solubilidad	(%)	11,93	0,25	ITINTEC N° 209.604 1973
4	pH		6,44	4,5- 7	ITINTEC N° 209.604 1974
5	Viscosidad	cP	168,75	60,00	ITINTEC N° 209.604 1975
6	Temperatura de gelatinización	°C	56,26		
7	Fibra	(%)	1,11		
8	Proteína	(%)	0,43	0,50	ITINTEC N° 209.604 1978

Fuente: Núñez A., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

En la tabla 8 tenemos el análisis proximal del almidón de la Oca en la cual se realizó experimentalmente el análisis proximal al producto que se obtuvo mediante los tratamientos así tenemos que un porcentaje de humedad de 25,36; ceniza 0,41; Solubilidad 11,93, un pH de 6,44; viscosidad cP 3219,0 y porcentaje de proteína de 0,43 estos valores obtenidos fueron comparados con los valores estándares para la norma de

VIII International Congress Industrial Processes, Hydrocarbons and the Environment  
 consumo industrial de ITINTEC N° 209.604 1971, Justificándose de esta manera los resultados correspondientes dentro del rango.

**Tabla 9 Análisis del Almidón de Oca (Amilosa y Amilopectina)**

N°	PARÁMETRO	ALMIDÓN	INSTITUCIÓN
1	Azúcares Totales		LAB. INVESTIGACIÓN FC ESPOCH
2	Amilosa	29,38	LAB. INVESTIGACIÓN FC ESPOCH
3	Amilopectina	71,00	LAB. INVESTIGACIÓN FC ESPOCH

Fuente: Núñez A., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

En la tabla 9 se determinó el análisis de amilosa, amilopectina y azúcares totales para el producto (almidón de oca) con un valor de amilosa de 29,30% y amilopectina de 71,00%, En donde podemos comparar con los valores obtenidos en diferentes estudios según (16) amilosa de 29% y amilopectina de 71 %; según (12) amilosa de 29% y amilopectina de 71%; según (25) amilosa de 31,7% y según (26) amilosa de 27,67 % en donde nuestros valores están dentro del rango.

**Tabla 10 Rendimiento del Almidón de Oca**

No	Tratamiento	Variables	Repetición	Volumen agua (mL)	Peso (g)			Rendimiento (%)		Tiempo secado (h)
					Oca (g)			R	Promedio	
						Almidón obtenido(g)	Promedio			
1			R1		25			12,5		
2			R2		26			13		
3			R3		26			13		

4	T1	LICUADO	R4	300	200	26	27	135	13	13,5	24	
5			R5			32			16			
6	T2	RALLADO	R1			19			9,5			
7			R2			20						10
8			R3			19						9,5
9			R4	18	9							
10			R5	21	10,5							
11	T3	MOLIDO	R1	7	8,2	41	3,5	4,1	24			
12			R2	9			4,5					
13			R3	7			3,5					
14			R4	7			3,5					
15			R5	11			5,5					

Fuente: Núñez A., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

La tabla 10 representa el rendimiento de acuerdo con los tratamientos realizados teniendo un rendimiento de 13,5 para el primer tratamiento, para el segundo 9,7% y para el tercero 4,1; según (12) el tratamiento óptimo tenía un promedio de 14%, eligiendo el primer tratamiento como el más efectivo.

Tabla 11 Análisis de Varianza

GRUPO	REPETICIONES	SUMATORIA	PROMEDIO	VARIANZA
1	3	25,5	8,5	21
2	3	27,5	9,16	18,6
3	3	26	8,66	23,1
4	3	25,5	8,5	22,8
5	3	30	10	39,3

Fuente: Núñez A., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

De los datos analizados se obtuvieron las varianzas presentes en la tabla 11, en la cual se aceptó la tesis alternativa, en la que se proponía que el método con el que se obtenga el almidón iba a tener repercusión en el rendimiento de este. Sin duda se corroboró que a través de la prueba Tukey que de hecho se aplica cuando el número de muestras por cada grupo son iguales indicando (18) que efectivamente el rendimiento del almidón cambia de acuerdo con el método de extracción que se utilice. Es así como el tratamiento del molido en este caso T3 presenta una mayor diferencia con respecto al T2 Y T1, y a su vez nos ayudó a verificar que el T1, es decir, el licuado es con el que se obtienen mejores resultados.

## CONCLUSIONES

La obtención del almidón de la oca se realizó empleando diferentes métodos de extracción como licuado, rallado y molido, donde las diferencias en los rendimientos son muy significativas, es así como el rendimiento obtenido en la producción de almidón empleando los diferentes equipos se obtienen los valores de 13,5%; 9,7% y 4,1% respectivamente. Como se puede evidenciar el mejor rendimiento del almidón fue el de 13,5% en el cual la licuadora que por sus características permite reducir el tamaño de partícula de la oca al mínimo, separando el zumo que contiene el almidón y la fibra de este tubérculo. Además, cabe recalcar que el producto obtenido cumple con los estándares de calidad de la norma para uso alimenticio.

## AGRADECIMIENTO

A Dios, familiares, amigos y seres queridos, quienes gracias a su apoyo incondicional se convirtieron en la fuerza que nos llevó a perseverar y superar cada desafío que se nos presentó a lo largo del semestre como es la situación que ahora mismo vive el país con esta pandemia. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a los docentes de la Facultad de Ciencias quienes nos adoctrinan de conocimientos los cuales formaron una parte importante el desarrollo de nuestro proyecto. Al Ing. Hannibal Brito quien además de ser el asesor de este proyecto fue nuestro mentor, quien con su indeleble conocimiento nos guió para poder desarrollar de la mejor manera esta idea de la extracción de almidón.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Silva Alcoser MG. Valorización de la oca (*Oxalis tuberosa*) para la obtención de mezclas de biopolímeros, Bachelor Tesis. Quito: 2017.
2. Mosquera Cadena DC. ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE LA HARINA DE OCA BLANCA (*Oxalis tuberosa*) Y SU APLICACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE PAN DE MOLDE POR SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LA HARINA DE TRIGO. 144. Quito: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL; 2015.
3. Barrera V, Tapia C, Monteros A. Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Quito, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP); 2004.
4. Ministerio de Cultura y Patrimonio. Oca. [Online].; 2013.



5. Sangketkit, C., Savage, G. P., Martin, R. J., Searle, B. P., & Mason, S. L. Sensory evaluation of new lines of oca (*Oxalis tuberosa*) grown in New Zealand. *Food Quality and Preference*. 2000; 11 (3): p. 189-199.
6. Valcarcel Yamani B, Rondan Sanabria GG, Finardi Filho F. The physical, chemical and functional characterization of starches from Andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* Molina), olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2013 Julio; 49(3): p. 453-464.
7. Zhu, F., & Cui, R. Comparison of molecular structure of oca (*Oxalis tuberosa*), potato and maize starches. *Food Chemistry*. 2019; 296: p. 116-122.
8. Pérez, S., & Bertoft, E. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules. A comprehensive review. 2010; 62(8): p. 389-420.
9. Bertoft E. Understanding starch structure:Recent progress. *Agronomy*. 2017;(7(3)): p. 56.
10. Badui Dergal S. *Química de los alimentos*. Cuarta ed.: Pearson Education; 2006.
11. Palate Amaguaña JE. Estudio del efecto de la temperatura y el tiempo en las características físico químicas de la oca (*oxalis tuberosa*) durante su maduración. Trabajo de Investigación de manera independiente, Ambato: Univerdad Técnica de Ambato, Ingeniería en Alimentos y Biotecnología; 2012.
12. Surco Laos FA. Caracterizaron de almidones aislados de tuberos andinos:mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca(*oxalis tuberosa*),olluco(*Ullucus tuberosus*) para su aplicacion tecnologica. Tesis de post grado. Lima:- Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Farmacia y Bioquímica; 2004.
13. Brito H. *Texto Basico de Ingenieria de Plantas CRD-XEROX Ie*, editor. Riobamba; 1999.
14. Brito H. *Texto Basico de Operaciones Unitarias II* Riobamba: Docucentro ESPOCH; 2001.
15. Brito H. *Texto Basico de Operaciones III* Riobamba: DocuESPOCH; 2001.
16. Carrion Florez L. OBTENCION DE ALMIDON Y GLUCOSA A PARTIR DE LA OCA (*Oxalis tuberosa*) POR HIDROLISIS ÁCIDA Y SU CINÉTICA DE EXTRACCION. Tesis de Grado. Lima: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Química; 2018.
17. Mogrovejo Alvarez AG. Determinación de la influencia de dos métodos distintos en la obtención de almidón a partir de la oca (*Oxalis tuberosa* Molina) variedad amarilla. Tesis de Grado. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ingeniería en Biotecnología de los recursos naturales; 2019.
18. Cajamarca Ruiz EE. Evaluación Nutricional de la Oca (*Oxalis tuberosa* sara-oca) Fresca, Endulzada y Deshidratada en Secador de Bandejas. Tesis de grado. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Bioquímica y Farmacia; 2010.
19. Velásquez Barreto F, Velezmoro C. Propiedades reologicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos. *Scientia Agropecuaria*. 2018 abril; 9(2): p. 189-197.

20. Xu, Y.; Grizzard, C.; Sismour, E.N.; Bhardwaj, H.L.; Li, Z. Resistant starch content, molecular structure and physicochemical properties of starches in Virginia grown corn, potato and mungbean. *Journal of Cereal and Oil seeds.*; 4(1): p. 10-18.
21. Apaza Morocco BD. *Extracción y caracterización del almidón de oca (Oxalis tuberosa) de la variedad k'ellu kamusa.* Universidad Peruana Union. 2018; p. 21- 22.
22. Cruz Hilacondo WE. *Análisis de la diversidad morfológica y estructura genética de oca cultivadas (oxalis tuberosa mol.).* 2018.
23. Caiza Asitimbay CD. *elaboración de alimentos; oxalis tuberosa; valoración nutricional; proyecto RUNA KAWSAY[Ecuador]; alimentos tradicionales; productos alimenticios alternativos; oca (Oxalis tuberosa).* Tesis de Grado. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias; 2011.
24. Brito H, et al. *Diseño de un proceso de producción industrial de almidón a partir de mashua (Tropaeolum tuberosum).* *La Ciencia al Servicio de la Salud y la Nutrición.* 2019;: p. 202-209.
25. Zavaleta Sanches JL. *Caracterización reológica de almidón de Arracacha (Arracacia xanthorrhiza), Camote (Ipomoea batatas) y Oca (Oxalis tuberosa).* Tesis de Grado. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Ingeniería Agroindustrial; 2019.
26. *Aplicación de almidones modificados por esterificación (osa) a partir de almidones nativos provenientes de tubérculos andinos.* Tesis doctoral. Lima: Universidad Nacional Agraria, Ciencia de Alimentos, 2019.

Recibido: 2021/07/19

Aceptado: 2021/10/02

ARTÍCULO ORIGINAL

## COMPOSTAJE DE LOS RESIDUOS VEGETALES GENERADOS EN LA EP – EMMPA MERCADO DE PRODUCTORES SAN PEDRO DE RIOBAMBA

### COMPOSTING OF THE VEGETABLE WASTE GENERATED IN THE EP – EMMPA MARKET OF PRODUCERS SAN PEDRO DE RIOBAMBA

Janneth Jara<sup>1\*</sup>, Kleber Niquinga<sup>2</sup>, Hannibal Brito<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Investigador GIAD, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

<sup>2</sup>Investigador Facultad de Ciencias, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

\*Correspondencia: [ljara@epoch.edu.ec](mailto:ljara@epoch.edu.ec)

#### RESUMEN

Los residuos vegetales generados en la Empresa Pública Mercado de Productores San Pedro de Riobamba fueron compostados mediante un sistema abierto de pilas con volteo manual, se utilizó residuos de la poda, kikuyo y cascarilla de arroz en mezcla con excretas de ratas y ratones provenientes del Bioterio de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo como agente estructurante. Se formaron tres pilas con distintas relaciones carbono – nitrógeno. A lo largo de la investigación se controló la temperatura, la humedad y la aireación para asegurar el correcto desarrollo del proceso. En la fase termófila se lograron temperaturas superiores a los 58 °C con lo que se aseguró la higienización del proceso y una buena degradación de los residuos. Los compost obtenidos fueron analizados en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. El pH de los compost fue ligeramente alcalino y estuvieron dentro de los límites permitidos; los valores de la conductividad eléctrica fueron inferiores a 6 dSm<sup>-1</sup>, lo que garantizó una baja salinidad. Los porcentajes de materia orgánica de los compost de las pilas 1 y 3 superaron el 40%. Los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio en dos compost fueron superiores a los establecidos en la legislación española. Los índices de germinación de los compost de las pilas 1 y 3 fueron superiores al 80%, estos resultados indicaron la ausencia de sustancias fitotóxicas. Los compost obtenidos fueron entregados a la Comunidad Sumak Tarpuy para emplearlos en la siembra de quinua orgánica.

**Palabras clave:** compost, contaminación ambiental, residuos vegetales.

## ABSTRACT

*The vegetable waste obtained from the public sector San Pedro de Riobamba Producers Market was composted using an open system compost pile with manual turning. As for bulking agents, residues from tree pruning, kikuyo and rice husk were used in a mixture with rat and mouse droppings from the research animal facility of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Three piles were formed with different carbon-nitrogen ratios. Throughout the investigation, the temperature, humidity, and aeration were controlled to ensure the correct development of the process. In the thermophilic phase, temperatures above 58 ° C were achieved, which ensured the sanitization of the process and a good degradation of the waste. The compost obtained was analysed in the laboratories of the Faculty of Sciences of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. The pH of the compost was slightly alkaline, and they were within the allowed limits; the electrical conductivity values were less than 6 dSm<sup>-1</sup>, which guaranteed low salinity. The percentages of organic matter in the compost from piles 1 and 3 exceeded 40%. The nitrogen, phosphorus and potassium contents in two compost were higher than those established in Spanish legislation. The germination rates of compost from piles 1 and 3 were higher than 80%. These results indicated the absence of phytotoxic substances. The compost obtained was delivered to the Sumak Tarpuy Community to be used in the growing of organic quinoa.*

**Keywords:** *Compost, environmental pollution, green waste.*

## INTRODUCCIÓN

*Los mercados en el país, son lugares populares donde se concentra una gran actividad de compra y venta de legumbres, hortalizas, frutas, tubérculos y cereales (1), entre una gran variedad de productos provenientes del campo. En la ciudad de Riobamba, la Empresa Pública Mercado de Productores San Pedro de Riobamba (EP-EMMPA) es el mercado más grande (2) en donde se comercializa, al por mayor y menor, una gran variedad de productos provenientes de la costa, la sierra y el oriente.*

*Los residuos que se generan diariamente, alrededor de 8 toneladas y en un 95 % de naturaleza orgánica, son retirados con la finalidad de evitar la presencia de vectores que puedan afectar la salud de las personas, además de malos olores y la emanación de gases efecto invernadero al ambiente. Estos residuos normalmente son llevados y colocados en la celda emergente del relleno sanitario de Porlón, ubicado a unos 10 Km de la ciudad de Riobamba (3). Esta práctica es inapropiada, pues no sólo se desaprovechan los nutrientes que contienen estos residuos, sino que se fomenta la presencia de vectores (4), se generan lixiviados que, al no ser*

tratados adecuadamente, contaminan el suelo y las aguas superficiales y subterráneas, y se reduce el tiempo de vida útil de los rellenos sanitarios (5) conllevando altos costos económicos.

Por todas estas razones, el reciclaje de los residuos orgánicos es muy importante, pues convierte los residuos en insumos que pueden regresar al suelo, aportándole nutrientes y microorganismos benéficos, mejorando la capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico, ayudando así a la rentabilidad de la producción. Desde el punto de vista ambiental, este reciclaje de materiales (6) y su aplicación al suelo, proporciona muchos beneficios, tales como el incremento de la materia orgánica en el suelo, la reducción del metano producido en los rellenos sanitarios o vertederos municipales, la sustitución de turba como sustrato, la absorción de carbono (7), el control de la temperatura edáfica y el aumento de la porosidad del suelo, reduciendo de esta manera el riesgo de erosión y la desertificación (8).

El compostaje, al ser un tratamiento biotecnológico, es un método de reciclaje que reduce el peso y el volumen de los residuos (9), permitiendo, de esta manera, transformar grandes cantidades de residuos orgánicos en un abono que puede ser utilizado en labores agrícolas amigables con el ambiente. Además, el compostaje es un tratamiento bien considerado por la comunidad científica, porque elimina patógenos y olores, al igual que la contaminación visual (10).

En esta investigación, se compostaron cuatro toneladas de residuos orgánicos provenientes de la recolección selectiva de la EP-EMMPA, empleando, como agente estructurante, poda, kikuyo y cascarilla de arroz en mezcla con excretas de ratas y ratones del Bioterio de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

El abono obtenido, previo un control de calidad, en el que se determinaron parámetros físico químicos (pH y conductividad eléctrica), químicos (porcentajes de nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica) y biológicos (índice de germinación) fue entregado a la asociación campesina Sumak Tarpuy del cantón Colta, dedicada al cultivo de quinua orgánica de exportación.

## METODOLOGÍA

Los residuos vegetales provenientes de la EP-EMPPA fueron recogidos selectivamente y trasladados a la nave cubierta de compostaje de la ESPOCH. Como agente estructurante se utilizó poda, kikuyo y cascarilla de arroz proveniente de las camas de las ratas y ratones del Bioterio de la Facultad de Ciencias. Se formaron tres pilas trapezoidales de 2m x 1,5m x 1,5m (largo, ancho, altura). La Pila 1 se formó con 6 partes de mercado y una de cascarilla de arroz con una relación C/N de 31, la Pila 2 con 3 partes de residuos de mercado y 2 de poda y kikuyo con una relación C/N de 29 y la Pila 3 con 3 partes de residuos de mercado, 2 de poda y una de cascarilla de arroz con una relación C/N 32,87. El proceso duró 260 días incluyendo el período de maduración y a lo largo del proceso se registró la temperatura, la humedad, la aireación, el pH, la Conductividad eléctrica (CE) y la materia orgánica (MO). El volteo de las pilas para controlar la aireación fue manual y se realizó cuando descendió la temperatura.

La temperatura se midió con un termómetro Termopar de 2-canales Tipo-K con sonda HI 766TR1, la humedad se registró con un higrómetro y cuando ésta bajó hasta un 60% se procedió a regar las pilas con la ayuda de una manguera.

Para determinar el pH y la CE se preparó un extracto acuoso en proporción 1:10. Se utilizó un equipo multiparámetro ORION VERSASTAR PRO. La MO se determinó por el método gravimétrico (mufla VULCAN A-550) a temperaturas de 430 °C por 24 horas.

En las muestras iniciales y finales se realizaron los análisis de los macronutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) y como prueba biológica se estableció el Índice de germinación (IG). Para el análisis de macronutrientes se empleó un Kit de N, P, K marca "La Motte", reportando los porcentajes de los macronutrientes. Previamente, las muestras fueron sometidas a una digestión ácida y por espectrofotometría, se obtuvieron los porcentajes de macronutrientes. Para determinar el IG se utilizaron semillas de berro (*Lepidium sativum* L) siguiendo la técnica empleada por Zucconi, 1981 (11), para lo cual, se hizo el conteo de las semillas germinadas y la medición de la elongación de la raíz empleando un calibrador vernier digital Truper. Previo a todos los análisis, las muestras tomadas por el método del cuarteo fueron secadas a 105°C hasta peso constante en una estufa ESCO Isotherm con aire forzado. Todos los análisis se hicieron por triplicado y los resultados se reportaron sobre base seca.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la finalidad de establecer las relaciones C/N para armar las pilas, se caracterizaron todos los residuos orgánicos. En la Tabla 1, se encuentran los resultados de los análisis realizados.

Tabla 1 Caracterización de los residuos orgánicos

PARÁMETRO	RESIDUOS DE MERCADO	PODA - KIKUYO	CASCARILLA DE ARROZ
Materia orgánica (%)	84,51	78,09	80,70
Carbono* (%)	45,93	42,44	43,86
Nitrógeno total (%)	1,81	1,36	0,92
Humedad (%)	82,83	14	20

\*Valor establecido por cálculo Iglesias E., 1992 (12)

En todos los residuos, la cantidad de materia orgánica fue alta, por lo que son considerados ideales para procesos de compostaje. En la cascarilla de arroz (84,51%) su valor se asemejó al reportado en una investigación sobre la caracterización de diez variedades de este residuo en Uganda que indicaron valores de hasta 84,13% (13); sin embargo, los mismos autores reportaron valores máximos de nitrógeno en la cascarilla de arroz de 0,63 %, inferior al obtenido en esta investigación (0,92%). Esto podría deberse a que, la cascarilla empleada procedió de la cama ratas y ratones y pudo contener restos de orina y de excretas. Los residuos de mercado y de poda presentaron contenidos de materia orgánica y nitrógeno total similares a los reportados en otras investigaciones de compostaje de residuos de la misma naturaleza (14), (15).

### Parámetros de control

#### Temperatura

En la Figura 1, se presenta la evolución de la temperatura a lo largo del proceso de compostaje. Se pudo apreciar que en los primeros días de compostaje la temperatura de las pilas subió rápidamente, como un indicativo de la intensa actividad biológica (16); (17); (18). Esta primera fase termofílica, duró alrededor de 40 días, lo que aseguró la desinfección del producto. La pila 3 alcanzó la temperatura más alta (62,4 °C). Los volteos, en total 5, se realizaron cuando bajó la temperatura de las pilas. Pasado los 200 días, la temperatura de las pilas descendió y fueron aproximándose a las del ambiente. El período de maduración duró aproximadamente 60 días.

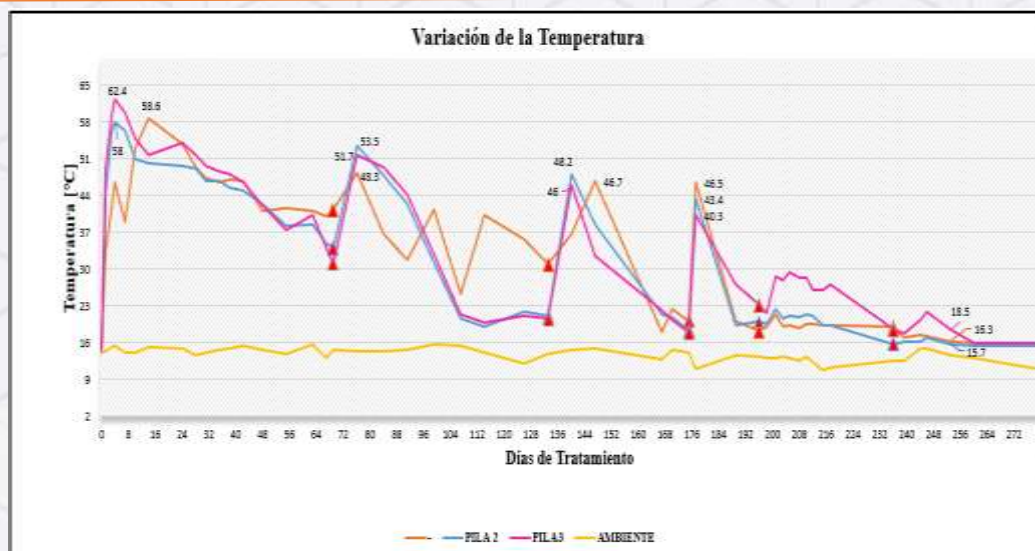


Figura 1 Variación de la temperatura

La evolución del pH se presenta en la figura 2.

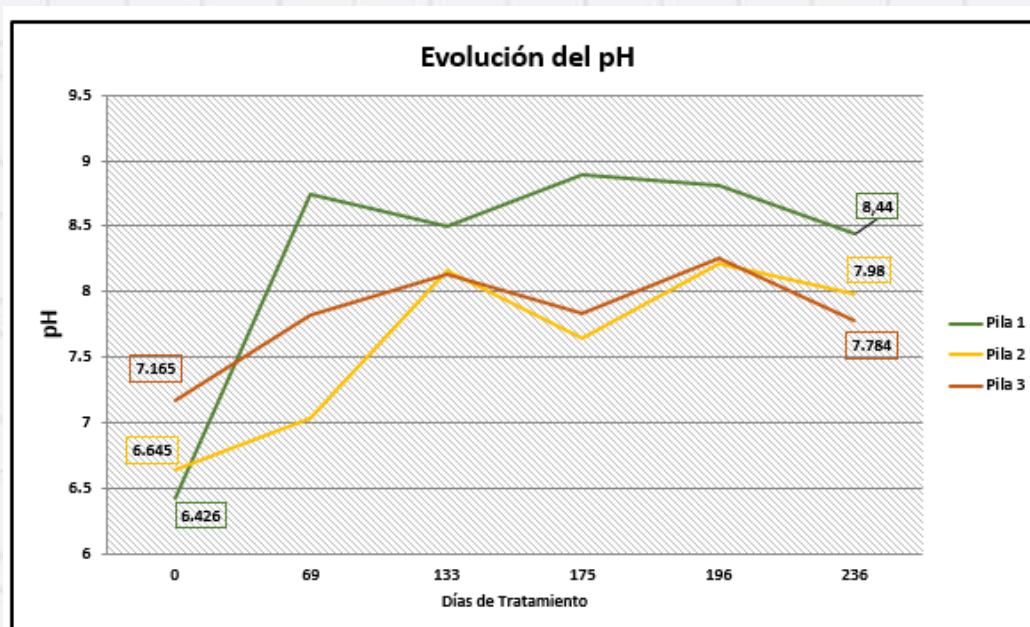


Figura 2 Evolución del pH

Al inicio del proceso todas las pilas presentaron pH cercanos a la neutralidad. Durante la fase de biodegradación el pH, sobre todo de la pila 1, subió llegando a alcanzar un valor cercano a 9; valores de pH similares fueron reportados durante el compostaje de residuos agroindustriales (Costa M., et al., 2016).



Finalmente, los compost presentaron pH superiores a la neutralidad; nuevamente el compost de la pila 1 presentó el pH más básico (8,44). Valores básicos en el producto final, se han reportado en estudios previos realizados por Marmolejo (2011) y Marmolejo et al. (2010). Brito et al. (2008), por lo que se recomienda que los productos con valores de pH básicos sean mezclados con otros compost de pH bajos, de manera que puedan ser aplicados en diferentes usos.

La evolución de la conductividad eléctrica se muestra en la Figura 3. Como se puede apreciar, tanto los valores iniciales como los finales, estuvieron dentro de los valores establecidos por la legislación española (19). En las tres pilas se notó una disminución no muy marcada de este parámetro, posiblemente debido a la pérdida de sales durante los períodos de riego de las pilas. De cierta manera, esto resulta favorable, pues la CE es una medida indirecta del contenido de sales asociada a la presencia de sodio, cloruro, potasio, nitrato, sulfato y sales de amonio, que en elevadas concentraciones son tóxicas para las plantas e inhiben su crecimiento (20), (21).

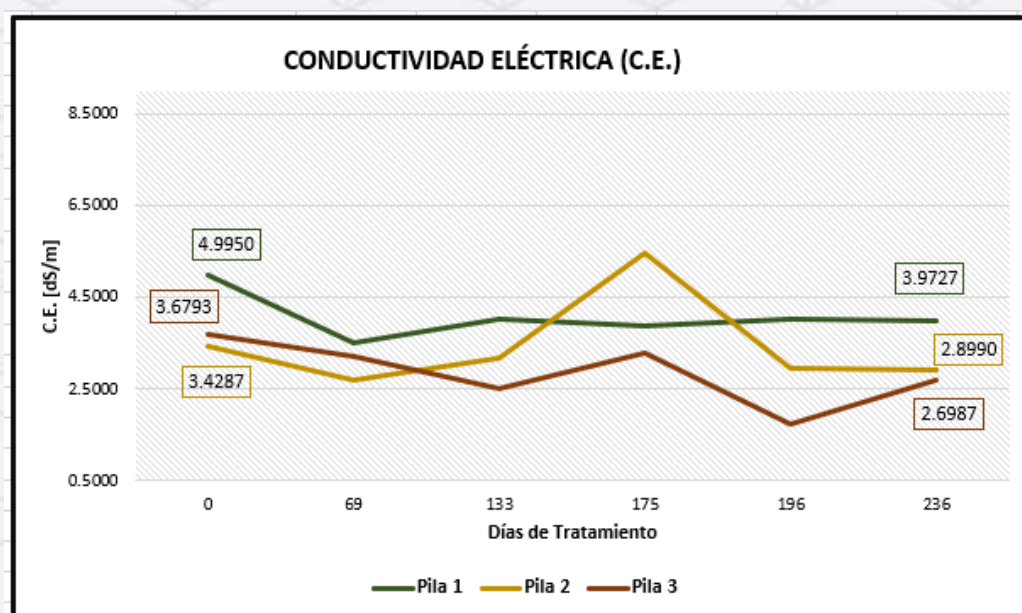


Figura 3 Conductividad eléctrica

Materia orgánica

Al ser un parámetro muy importante para la calidad del compost, resulta fundamental examinar los contenidos iniciales y finales de materia orgánica para seguir el curso de la transformación de los residuos. Debido a los procesos de biodegradación de los residuos, los porcentajes de materia orgánica descendieron a lo largo del proceso como se puede ver en la Figura 4. Según la legislación española (19), los compost deben tener al menos un 40% de materia orgánica, por lo que el compost de la pila 2 no cumpliría este requisito (36%). Sin embargo, datos proporcionados por la asociación alemana para la calidad del compost, establecen como valor medio de materia orgánica un 33,4% respecto a la materia seca (22).

La mayor pérdida de materia orgánica ocurrió, como se esperaba, en la etapa bioxidativa, sobre todo en los dos primeros meses y se estabilizó en la etapa de maduración.

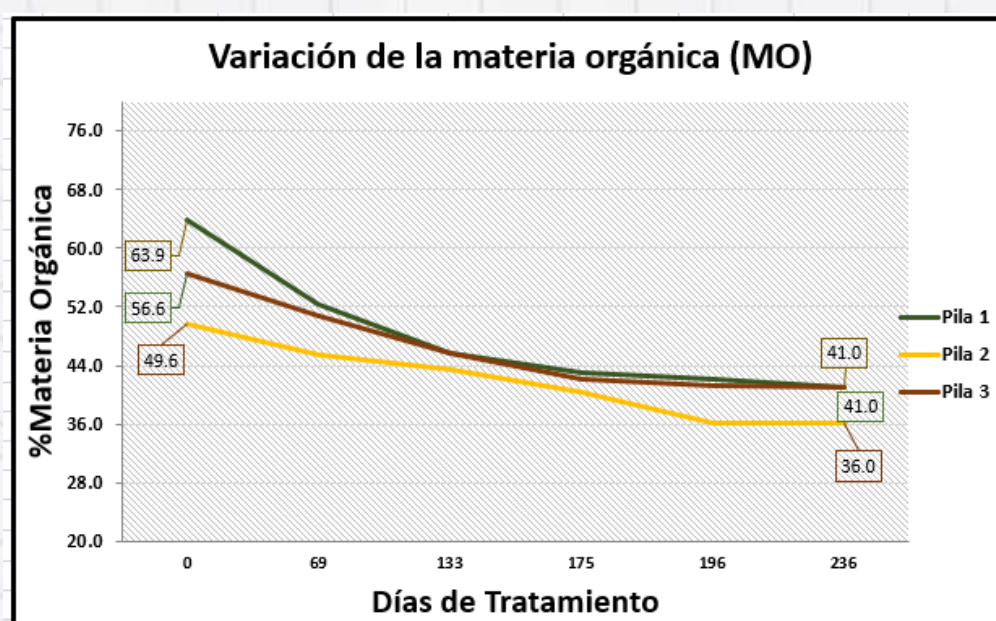


Figura 4 Variación de la materia orgánica

### Análisis de macronutrientes

Según la legislación española (BOE, 2013), los compost deben presentar concentraciones de N, P, K superiores al 1%. Sólo el compost de la pila 1 presentó valores superiores a los indicados. Sin embargo, todos los compost presentaron valores altos de nitrógeno total, como se puede apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2 Análisis de macronutrientes

Parámetro	Pila 1	Pila 2	Pila 3
-----------	--------	--------	--------

	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
<b>Nt (%)</b>	1,09	1,32	1,52	1,75	1,16	1,44
<b>P (%)</b>	0,69	1,15	0,66	0,97	0,72	0,87
<b>K (%)</b>	1,06	1,28	1,24	0,99	0,92	0,97

Nt= Nitrógeno total, P= Fósforo, K= Potasio

Excepto para el contenido de potasio de la pila 2, los porcentajes finales de los macronutrientes fueron superiores a los iniciales. Esto se debe a la concentración de los macronutrientes debido a la pérdida de materia orgánica.

### Índice de germinación

Esta es una prueba biológica relativamente sencilla y brinda una información confiable sobre la fitotoxicidad del compost, que puede inhibir la germinación y el crecimiento de las semillas, debidas, en parte, a la presencia de polifenoles en los residuos vegetales compuestos en su mayoría por ácidos fenólicos. En la Figura 5 se encuentran los porcentajes de los índices de germinación iniciales y finales. Los porcentajes de los compost finales son superiores a los de la mezcla inicial, lo que es un indicativo de la baja fitotoxicidad de los compost. Según Zuconni, 1981 (23) los valores superiores al 80% indican un compost de calidad, pero los valores entre 50 y 80 % señala una leve toxicidad por lo que no se recomienda su uso directo como enmienda agrícola. Este sería el caso del compost obtenido de la pila 2.

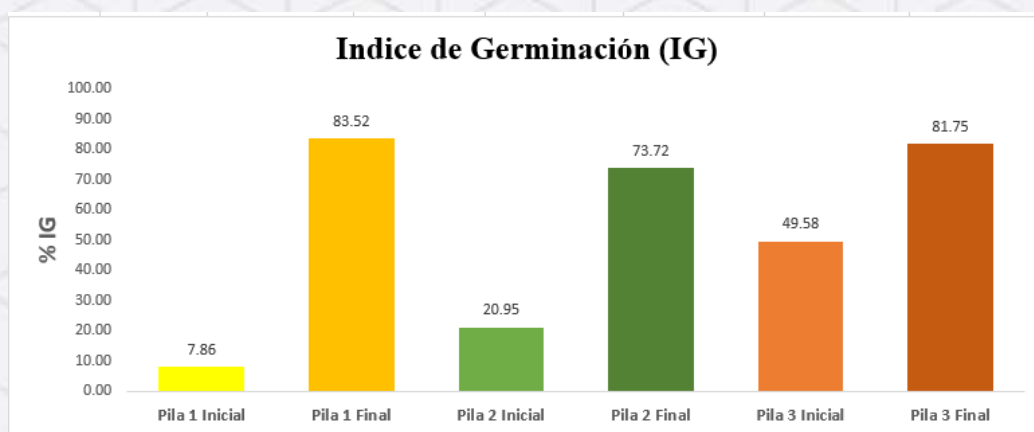


Figura 4 Índice de germinación

### Agradecimiento

Los investigadores agradecen a las siguientes instituciones: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Gobierno Autónomo Descentralizado de la ciudad de Riobamba (GAD-Riobamba), Comité Europeo para la Formación y la Agricultura (CEFA) y la Empresa Pública Municipal Mercado de Productores San Pedro de Riobamba (EP-EMMPA).

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

### **CONCLUSIONES**

- ✓ *Los parámetros fisicoquímicos, químicos y biológicos determinados en los residuos y en la primera toma de muestra una vez formadas las pilas, indicaron que los materiales de partida fueron idóneos para realizar procesos de compostaje. Esto se debió, en parte, a que todos los residuos provinieron de una recolección selectiva en la fuente y a que los de residuos de mercado, abundantes en macro y micronutrientes, se mezclaron apropiadamente con agentes estructurantes ricos en carbono y libres de contaminantes. Estos factores, aunados a un control adecuado de la temperatura, humedad, aireación, pH y conductividad eléctrica incidieron en la calidad del abono preparado.*
- ✓ *El compost obtenido, no se puede considerar como un fertilizante, pero sí como un producto que aporta materia orgánica a suelos pobres como los de las comunidades del cantón Colta, ayudando a retener el agua y liberando macro y micronutrientes disponibles para las plantas, mejorando la porosidad y la aireación de los suelos.*

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. *Costa M, et al. Composting time reduction of agro - industrial wastes. Engenharia agricola. 2016; 36.*
2. *Brito H. Residuos sólidos generados en el Centro Comercial la Condamine y su disposición final Santa Cruz de la Sierra: SE; 2015.*
3. *Brito H, et al. Cierre Técnico de botaderos de basura. 2017.*
4. *Marmolejo L. Marco conceptual para la sostenibilidad de los sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos en cabeceras municipales menores a 20.000 habitantes del Valle del Cauca Cali: Facultad de ingeniería Universidad del Valle; 2011.*
5. *Brito H, Chariguamán N, Villota V. Cierre Técnico de Botaderos de Basura Riobamba; 2017.*

6. Brito H, et al. *Generación de biogas a partir de estiercol de ganado a nivel de finca en el oriente ecuatoriano*. 2016.
7. Marmolejo L, Oviedo J, Torres P. *Influencia de la separación en la fuente sobre el compostaje de residuos sólidos municipales*. Agronómica de la Universidad Nacional. 2010.
8. Román P, Martínez M, Pantoja A. *Experiencias en América latina. Manual de compostaje del agricultor*. 2013.
9. Brito L, Smith S. *Methods to improve the composting process of the solid fraction of dairy cattle slurry*. Bioresource Technol. 2008.
10. Costa M, et al. *Compostagem de resíduos da indústria de desfibrilacao de algodao*. Engenharia agrícola. 2005; 25(2).
11. Zucconi F, Pera A, Forte M, De Bertoldi M. *Evaluating toxicity of immature compost*. BioCycle. 1981; 22: p. 54–57.
12. Iglesias Jiménez E, Pérez García V. *Relationships between organic carbon and total organic matter in municipal solid wastes and city refuse composts*. Bioresource Technology. 1992; 41(3).
13. Olupot PW, Candia A, Menya E, Walozi R. *Characterization of rice husk varieties in Uganda for biofuels and their techno-economic feasibility in gasification*. Chemical Engineering Research and Design. 2016; 107: p. 63–72.
14. Jara Samaniego J, et al. *Urban waste management and its potential agricultural use in South American developing countries: a case study of Chimborazo region (Ecuador)*. Commun. Soil Sci Plant Anal. 2015; 46.
15. Jara Samaniego J, Gallegos Núñez J, Pullopaxi A. *Biotransformación de residuos orgánicos generados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Ecuador mediante compostaje*. Intersedes. 2020; XXI(44).
16. Orrico J, Orrico A, Lucas J. *Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves*. Engenharia Agrícola. 2010; 30(3).
17. Sadeh Y, Poulsen T, Bester K. *Impact of compost process temperature on organic*. The Science of the total Environment. 2014.
18. Ali M, Kazmi A, Ahmed N. *Study on effects of temperature, moisture and pH in degradation and degradation kinetics of aldrin, endosulfan, lindane pesticides during full-scale continuous rotary drum composting*. Chemosphere Oxford. 2014; 102.
19. BOE. *Productos fertilizantes*. In Estado AEBOd. Real Decreto 506/2013. Madrid: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado; 2013.
20. Hargreaves J, Warman P. *A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture*. Agr Ecosyst Environ. 2008.

21. Sullivan D, Miller R. *Compost quality at-tributes, measurements, and variability*. En: *Compost utilization in horticultural cropping systems* (P.J. Stoffella y B.A. Kahn, Eds.). Boca Raton. 2001.
22. Brito H. *TEXTO BASICO DE OPERACIONES UNITARIAS III* Riobamba, Ecuador: Docucentro, ESPOCH; 2001.
23. Zucconi F. ELSEVIER. [Online].; 1981 [cited 2019 02 06. Available from: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6586/1/20T00839.pdf>.
24. Brito H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias II* Riobamba: Docucentro ESPOCH; 2001.
25. Brito H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias I* Riobamba: Docucentro ESPOCH; 2000.

Recibido: 2021/07/31

Aceptado: 2021/10/02

ARTÍCULO ORIGINAL

## ELABORACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS ENRIQUECIDOS EN LA PARROQUIA CALPI-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

### PREPARATION OF ENRICHED ORGANIC FERTILIZERS IN THE CALPI PARISH – PROVINCE OF CHIMBORAZO

Torres Uquillas Alex<sup>1</sup> , Jara Samaniego Janneth<sup>2</sup> , Gallegos Núñez Janneth<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Colaborador Facultad de Ciencias, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

<sup>2</sup>Docente Investigador Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la ESPOCH (GIADE), Riobamba, Ecuador.

\*Correspondencia: [ljara@esPOCH.edu.ec](mailto:ljara@esPOCH.edu.ec)

### RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue elaborar abonos orgánicos enriquecidos para la producción de cultivos agroecológicos en la parroquia Calpi. Los residuos de la zona y los proporcionados por la fundación Maquita, fueron caracterizados para establecer que las mezclas apropiadas cumplan con las relaciones carbono-nitrógeno establecidas en la bibliografía. Con la participación de la comunidad, se armaron tres pilas experimentales, una en cada comunidad: San Francisco Cunuhuachay, Nitiluisa y Gaushi. Los residuos empleados fueron: bosta de vacuno, gallinaza y cascarilla de arroz (como agente estructurante) en proporción 3:1:2 respectivamente, con una relación carbono-nitrógeno de 25,39. El proceso de biodegradación tardó 150 días; los volteos fueron manuales y se realizaron para controlar la aireación, la temperatura y la humedad. Durante todo el proceso se controlaron parámetros como la temperatura, humedad, pH y materia orgánica. Al inicio y al final del proceso se determinaron los macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio y para descartar la fitotoxicidad de los abonos se estableció el porcentaje del índice de germinación. Todos los análisis se hicieron por triplicado y los datos fueron reportados sobre base seca. La caracterización de los abonos garantiza su empleo en actividades de agricultura orgánica.

**Palabras clave:** Residuos orgánicos, cultivos agroecológicos, compost.

### ABSTRACT

The aim of this work was to develop enriched organic fertilizers for the production of agroecological crops in the parish of Calpi. The residues from the area and those provided by the Maquita Foundation were characterized to establish that the appropriate mixtures of residues comply with the carbon-nitrogen ratios established in the literature. With the participation of the community, three experimental piles were built, one in each community: San Francisco Cunuhuachay, Nitiluisa and Gaushi. The residues used were: beef dung, chicken and rice husk (as bulking agent) in ratio 3:1:2 respectively, with a carbon-nitrogen ratio of 25,39. The biodegradation process lasted 150 days; the turns were manual and were carried out in order to control aeration, temperature and humidity. Throughout the process parameters such as temperature, humidity, pH and organic matter were controlled. At the beginning and at the end of the process the macronutrients nitrogen, phosphorus and potassium were determined and to rule out the phytotoxicity of the fertilizers the percentage of germination rate was established. All analyses were done in triplicate and data were reported on a dry mass basis. The characterization of fertilizers guarantees their use in organic farming activities.

**Keywords:** Agroecological crops, compost, Organic wastes.

## INTRODUCCIÓN

La desertificación es un fenómeno mundial que afecta aproximadamente a un 40% de la masa terrestre. En Ecuador se estima que entre un 27% y un 43% del territorio sufre problemas de desertificación afectando a una parte muy importante de la población (1). La desertificación disminuye la productividad de los suelos, reduce la producción de alimentos y despoja a la tierra de su cubierta vegetal, incluso repercute negativamente en otras áreas no afectadas directamente por sus síntomas, por ejemplo, causando crecidas, salinización de los suelos, deterioro de la calidad del agua o deposición de lodo en ríos, arroyos y embalses. Produce o agrava las hambrunas, la malnutrición, la pobreza y los movimientos migratorios, y puede desencadenar crisis, conflictos e inestabilidad. Conlleva también pérdidas macroeconómicas no desdeñables (2).

En los ecosistemas agrícolas, la calidad del suelo depende en gran medida de la cantidad, calidad y dinámica de sus reservas de carbono orgánico. La fundación Maquita es una organización que promueve la soberanía alimentaria de las familias y comunidades desde la agricultura familiar, fomentando procesos agroecológicos para potenciar el desarrollo agrícola con sostenibilidad y protección al ambiente. Con su apoyo se ha levantado una base de datos que indica que los suelos de la parroquia Calpi son pobres en materia orgánica. Urge, por lo tanto, incorporar al suelo abonos orgánicos preparados como compost, vermicompost o bokashi, en preferencia



a la disposición directa de excretas animales y residuos frescos de cosecha que pueden causar daño a la salud de los ecosistemas.

Si los abonos se enriquecen con microorganismos benéficos y otras sustancias se podría lograr una buena regeneración de estos suelos. Los microorganismos tienen la potencialidad de biodegradación, biolixiviación, biocompostación, fijación de nitrógeno, mejora la fertilidad del suelo y también en la producción de hormonas de crecimiento vegetal (3). La aplicación de microorganismos eficientes acorta el proceso de compostaje e incrementa la mineralización del compost, así como los contenidos de macro y micronutrientes (4).

En este sentido, se conoce que ciertas comunidades de Chimborazo preparan artesanalmente inoculantes microbianos a los que llaman microorganismos eficientes y los emplean como estimulantes del crecimiento de las plantas y la fertilidad del suelo. Este concepto fue desarrollado originalmente por el profesor Teuro Higa de la Universidad de Ryukyus, Okinawa Japón (1971), se espera que el compost suplementado con microorganismos autóctonos eficientes, a través de la bioaumentación ofrezca los efectos ligados a la actividad microbiana, mencionada anteriormente (4, Anamika.....).

Anamika Sharmaa, Tarak Nath Sahab, Anju Aroraa, Raghubir Shaha, and Lata Nain. Efficient Microorganism Compost Benefits Plant Growth and Improves Soil Health in Calendula and Marigold. Horticultural Plant Journal, 2017 3 (2): 67–72.

El proceso seleccionado para preparar los abonos orgánicos fue el compostaje, un método relativamente sencillo de degradación de materia orgánica de diferente origen. Sin embargo, se necesita el control periódico de la temperatura, humedad y oxigenación a lo largo del mismo para obtener un producto de calidad (5). Los abonos fueron preparados en 3 comunidades de Calpi con la ayuda de sus habitantes. Una vez encontradas las mezclas y condiciones óptimas, se capacitará a las mujeres, jóvenes y adultos mayores de la comunidad para que continúen con estas prácticas amigables con el ambiente. Se debe considerar que la producción de estos abonos orgánicos y su comercialización puede generar ingresos económicos, impulsando el crecimiento económico sostenible, de manera redistributiva y solidaria.

Finalmente, se impulsaría el desarrollo de las capacidades productivas y del entorno, para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir rural incorporando el tema de género, economía popular y comercio justo.

## METODOLOGÍA

La Fundación Maquita periódicamente realiza la entrega de insumos para la preparación de abonos orgánicos, principalmente cascarilla de arroz, un residuo que se utiliza como agente estructurante. En cada una de las tres comunidades seleccionadas, se armó una pila con bosta de ganado vacuno, gallinaza y cascarilla de arroz en proporción 3:1:2 respectivamente, con una relación C/N de 25,39. Con la finalidad de gestionar los residuos disponibles en la zona, en la pila armada en la comunidad de Gaushi, se añadió una pequeña cantidad de excretas de cuy, cuya composición fue comparable a la de la bosta de ganado vacuno. Las pilas se armaron por capas empezando con la cascarilla de arroz, intercalando con excretas de ganado vacuno y gallinaza hasta llegar a una cantidad aproximada de 700 Kg. Para ajustar la humedad y acelerar el proceso de biodegradación, se añadió una solución madre acuosa enriquecida con microorganismos autóctonos.

Esta solución madre del caldo de cultivo se preparó artesanalmente, con 20L de agua destilada, 3 litros de melaza y 225,6 g de levadura disuelta. En un saco de yute se colocó 1,5 Kg de la mezcla inicial de las pilas (500g de cada pila) y se sumergió en la solución preparada, durante 15 días bajo condiciones aeróbicas estériles a temperatura ambiente (6).

La fase biodegradativa duró 150 días y al momento se encuentran en la etapa de maduración. Los parámetros de control fueron: temperatura (medida con un termómetro HANNA HI- 35002 K-TT inmerso a 70 cm de profundidad en 5 lugares de la pila), humedad (SOIL TESTER higrómetro), pH y conductividad eléctrica (equipo multiparámetro Consort C860) y materia orgánica (método gravimétrico, mufla VULCAN A-550 a temperaturas de 430 °C por 24 horas). El volteo fue manual y se realizó en función de la temperatura, cuando ésta descendía hasta aproximarse a la del ambiente. El volteo permitió reactivar las pilas proporcionando condiciones aerobias para el crecimiento microbiano y ajustando la humedad.

En las muestras iniciales y finales se determinaron los macronutrientes nitrógeno (N), potasio (K) y fósforo (P). Las muestras fueron sometidas previamente a una digestión ácida y por espectrofotometría, se obtuvieron los porcentajes de macronutrientes (Kit "La Motte de N, P, K"). Para descartar problemas de fitotoxicidad se determinó el índice de germinación (IG) de semillas de berro (*Lepidium sativum* L) según la técnica empleada por (7), datos no mostrados.

Las muestras tomadas mediante el método del cuarteo al inicio, a lo largo del proceso (antes de cada volteo) y al final, fueron secadas a 105°C hasta peso constante en una estufa ESCO Isotherm con aire forzado. Todos los resultados se reportaron sobre base seca.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1 Relación carbono/nitrógeno (C/N) de ingredientes para compostaje

INGREDIENTE	H <sub>2</sub> O (%)	PESO	% CARBONO	% DE NITRÓGENO	RELACIÓN C / N
1	VACA	77,15	3	38,06	2,09
2	GALLINAZA	7,5	1	21,26	1,71
3	CASC. ARROZ	20	2	42,59	0,92
<b>RESULTADO</b>					25,38

Para establecer la relación C/N en la mezcla de residuos a compostar es importante conocer los porcentajes de carbono, nitrógeno total y humedad presentes en cada tipo de residuo, como se aprecia en la Tabla 1. El porcentaje de carbono fue obtenido a partir del contenido porcentual de materia orgánica dividiéndola para 1,84 (8). Para los cálculos respectivos, se utilizó el software University of Cornell: Calculate C/N Ratio For Three Materials®1996.

La relación C/N se escogió con base en la disponibilidad de residuos en las comunidades. Cabe indicar que cada comunidad dispone de sus propios residuos almacenados, estos no siempre provienen de la misma fuente, por lo que la relación C/N es más bien orientativa y puede variar de una comunidad a otra. Por esta razón, se decidió trabajar con una relación C/N ideal según la mayoría de autores, pues al caracterizar los residuos existe variabilidad en la concentración de los nutrientes, ya sea por la dificultad de tomar muestras representativas, la forma de muestreo, la manipulación de las muestras, el tiempo de almacenaje, el tipo de alimentación de los animales y su forma de crianza. Esto hace que en ocasiones se prefiera estimar las cantidades de nutrientes aportados por los residuos a partir de datos tabulados (9).

### Parámetros analizados

#### Temperatura

La Figura 1 muestra el comportamiento de las 3 pilas; se puede identificar claramente la etapa termofílica, muy similar en todas las pilas, durante el primer mes de compostaje. Es importante alcanzar estas temperaturas, que promueven la destrucción de semillas y microorganismos patógenos, pues éstos presentan baja resistencia a temperaturas entre 50 y 60°C (10). De acuerdo a (11), esta fase es la más importante cuando se trabaja con residuos de origen animal, en la cual la destrucción de patógenos es crítica para garantizar la posterior aplicación de un producto seguro. Las temperaturas mesofílicas se alcanzaron alrededor del día 40 y a partir del día 140 la temperatura fue bajando. Al momento las pilas se encuentran en un proceso de maduración. La pila de la comunidad de Gausi fue la que presentó las temperaturas más altas, posiblemente se debió al cuidado que esta pila recibió por parte de los campesinos, pues tuvieron la precaución de cubrirla en épocas de lluvia.

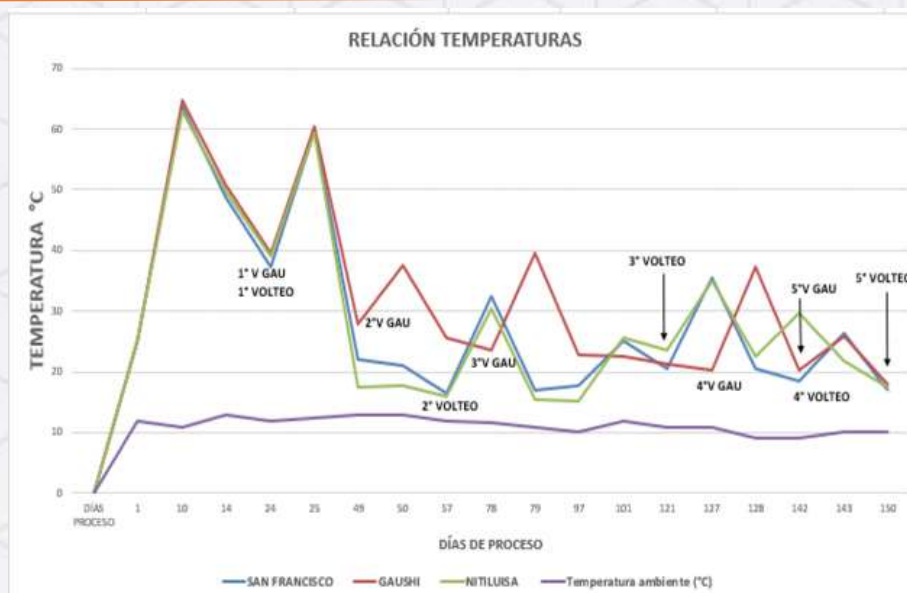


Figura 3 Evolución de la temperatura de compostaje

Al final del proceso, en los tres tratamientos (Figura 1), la temperatura se encontraba en los rangos de las características deseadas de un compost; esto es un indicador de la calidad de la materia prima y también una buena respuesta que informa sobre la idoneidad de un procedimiento tecnológico aplicado (12).

## pH

Como se puede apreciar en la Figura 2, los valores de pH en las 3 pilas bajaron con el paso del tiempo, ubicándose en valores cercanos a la neutralidad. Tener compost con estos valores de pH garantiza su uso adecuado, sin afectar a los suelos.



Figura 4 Evolución del pH

### Conductividad eléctrica

El aumento de la conductividad eléctrica ocurre como consecuencia de la mineralización de la materia orgánica que incrementa los contenidos de nutrientes y de sales. Los valores de conductividad obtenidos al final del compostaje (de 4,24 a 5,65 dS/m) se encuentran dentro de los parámetros permitidos para los compuestos orgánicos usados como abonos o fertilizantes (13).

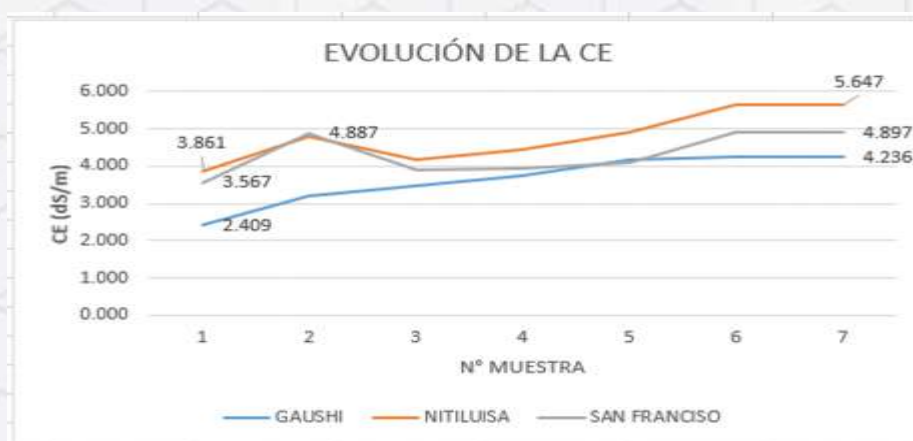


Figura 5 Evolución de la Conductividad eléctrica

### Materia orgánica

En la Figura 4 se observa que, conforme avanzaba el proceso de compostaje disminuyó la cantidad de materia orgánica debido a la biodegradación de los residuos. La muestra 5 corresponde al día 142 del proceso. Aquí, los porcentajes de materia orgánica en las 3 pilas presentaron valores entre 27 y 36%; Al momento, la pila de Gaushi presentó el porcentaje más bajo (27%), posiblemente debido a que esta pila tenía un contenido menor de materia orgánica. En cambio, la pila de Nitiluisa, presentó los valores iniciales y finales más altos (36%). La materia orgánica estabilizada en los compost hace que macronutrientes como el fósforo incrementen paulatinamente su disponibilidad para los cultivos (14).

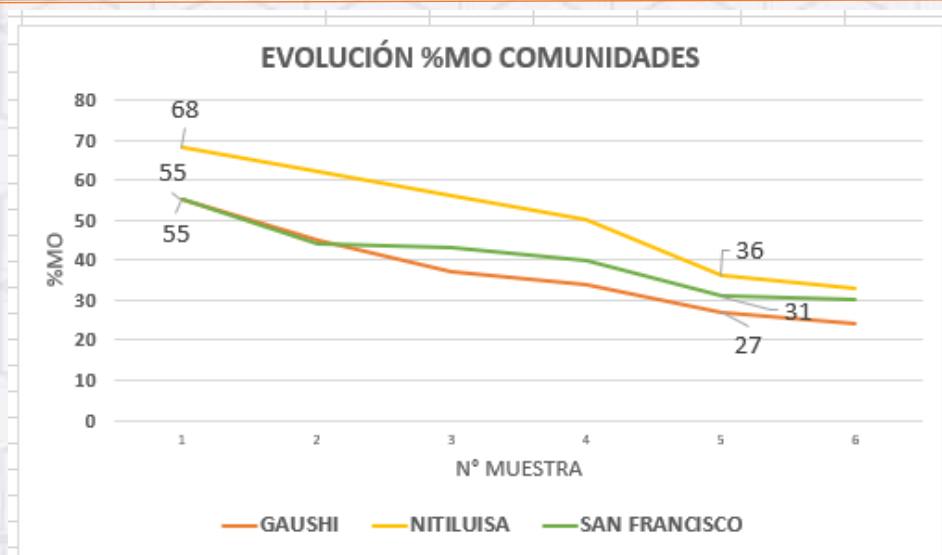


Figura 6 Evolución de la materia orgánica

### Análisis de Macronutrientes

Los porcentajes de N y P en los compost de las 3 comunidades fue superior a los de las muestras tomadas inicialmente. La concentración de nutrientes en las etapas finales del proceso se debe, entre otros factores, al comportamiento propio del efecto de la pérdida de materia orgánica (15), sumada por la suplementación con materias primas ricas en nutrientes; de otro lado la adición de nutrientes de fuentes naturales y la inoculación de microorganismos, tiene el potencial de aumentar la concentración de nutrientes en el compost que, al mismo tiempo, están disponibles para las plantas (16). La importancia de las comunidades microbianas (bacterias, actinobacterias y hongos) está bien establecida durante el proceso (17), y cumplen un papel determinante.

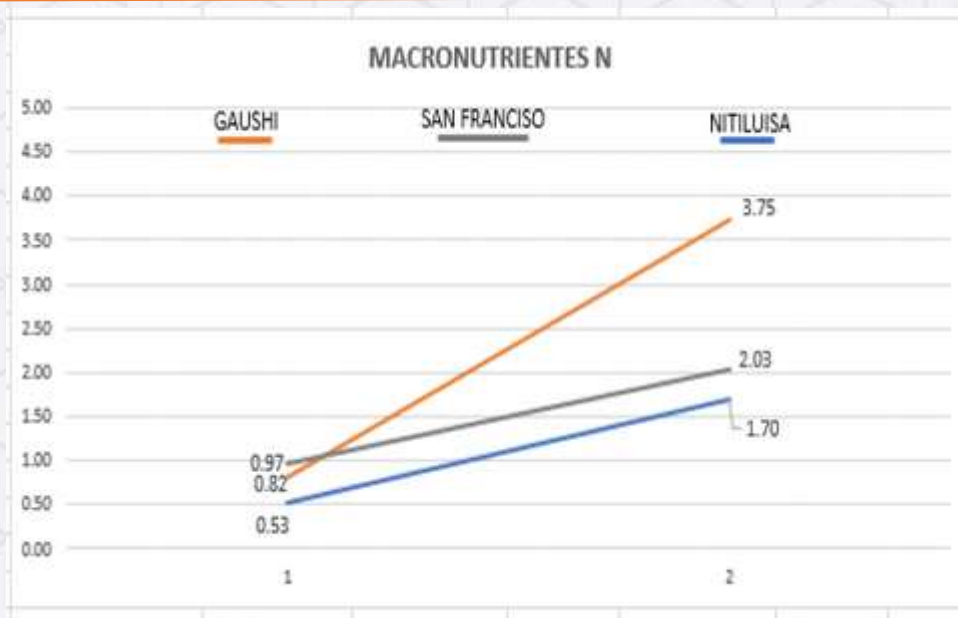


Figura 7 A) Contenidos de Nitrógeno por comunidades

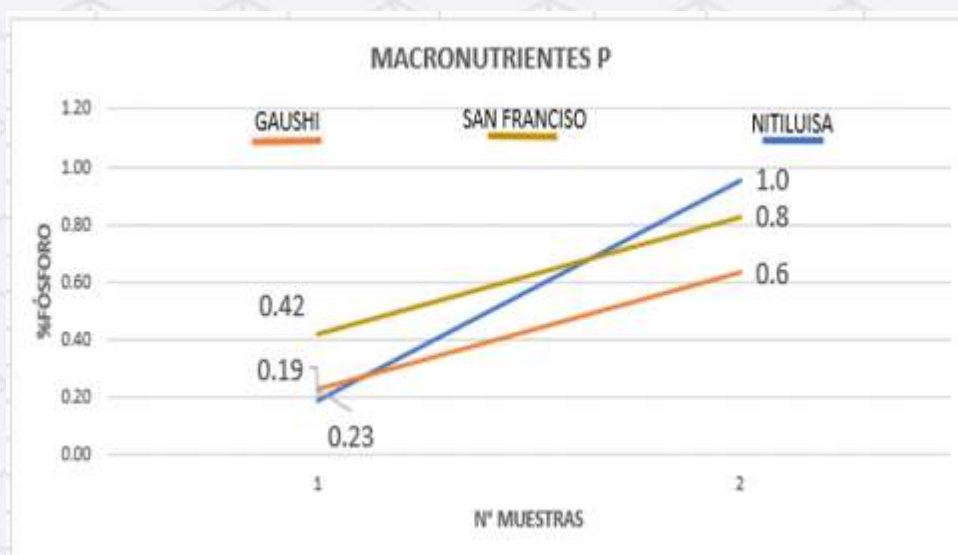


Figura 8 B) Contenidos de Fósforo por comunidades

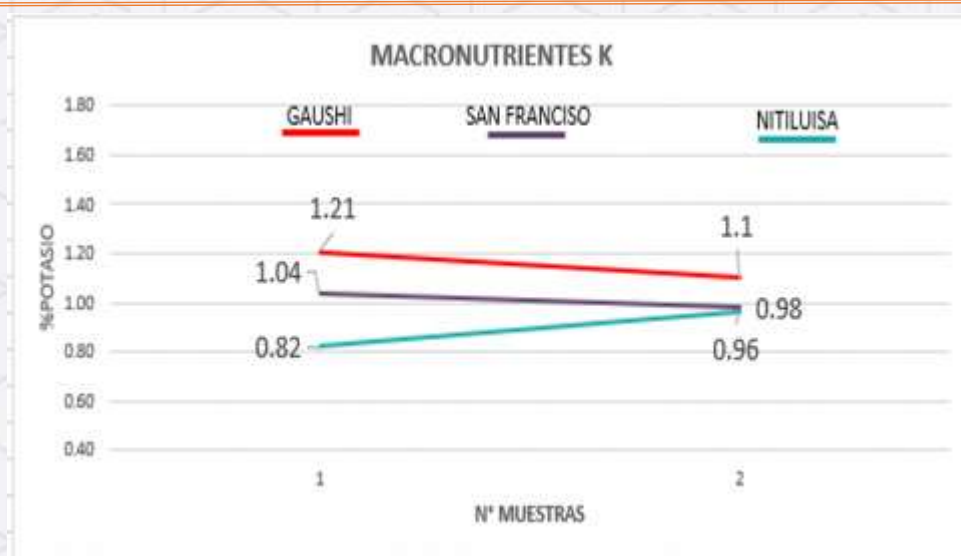


Figura 9 C) Contenidos de Potasio por comunidades

Si bien el porcentaje de potasio bajó en las pilas de Gaushi y Nitiluisa, éstos siguen siendo superiores con respecto a compost y vermicompost obtenidos a partir de bosta de ganado vacuno (18).

Los resultados de esta experiencia de compostaje en las comunidades confirman lo manifestado por varios autores: el reciclaje y la utilización de desechos agrícolas se consideran un paso importante para la protección del medio ambiente, estructura energética y desarrollo agrícola (19), el compost se aplica para ayudar a restaurar los suelos perturbados, acelerar la revegetación y controlar la erosión (20) en la que los microorganismos desempeñan un papel integral (21).

## CONCLUSIONES

El compostaje de bosta de ganado vacuno, gallinaza y cascarilla de arroz, enriquecido con microorganismos autóctonos en 3 comunidades de la parroquia Calpi, permitió obtener abonos orgánicos con una cantidad aceptable de materia orgánica y macronutrientes, una conductividad eléctrica dentro de los límites fijados y valores de pH ligeramente superiores a la neutralidad. Su adición a los suelos agotados y con bajos contenidos de materia orgánica ayudaría a mejorar su estructura, permitiendo su aireación y la captación de macro y micronutrientes. El compost, al contener materia orgánica estabilizada constituye una alternativa adecuada que reemplazaría a la práctica tradicional de abonar los suelos con residuos animales y vegetales, directamente, sin ningún tratamiento, práctica que debe ser reemplazada por provocar la contaminación del suelo y del agua.



*En la elaboración de compost se involucró a sectores organizados de las comunidades lo que permitió un intercambio de experiencias y el empoderamiento de prácticas amigables con el ambiente, tendientes a lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir rural incorporando el tema de género, economía popular y comercio justo.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Los investigadores agradecen a la Dirección de Vinculación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Fundación Maquita por la financiación de la investigación.*

## **CONFLICTO DE INTERESES**

*Los autores declaran no tener conflicto de intereses.*

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1. Morales C, Parada S, United Nations., & Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. Santiago de Chile: Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 2005*
- 2. Holtz U. Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y su dimensión política (CNULD).2003*
- 3. Kumar B, Gopal D. Effective role of indigenous microorganisms for sustainable environment. 3 Biotech. 2015; 5(6): 867-876.*
- 4. Aye S. Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality. Jour. Myan. Acad. Arts & Sc. XIV.2016; (1): 317-331.*
- 5. Torrentó M. Materia orgánica y compostaje. Control de la calidad y del proceso. Jornada Técnica: Fertilidad y Calidad del Suelo. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. Chile. 2011;19.*
- 6. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. CENTA, Guía Técnica 4 Microorganismos. 2020*
- 7. Zucconi F, Pera A, Forte M & De Bertoldi. Evaluating toxicity of immature compost. BioCycle. 1981; 22, 54–57.*
- 8. Iglesias E, Perez V. Determination of maturity indices for city refuse compost. Agriculture, Ecosystems and Environment. 1992*

9. Barbazán M, Del Pino A, Moltini C, Hernández J, Rodríguez J. Characterization of organic materials applied in intensive farming systems in Uruguay. *Agrociencia Uruguay* [Internet]. 8Mar.2021 [cited 28Jul.2021];15(1):82-92.
10. Neklyudov A, Fedotov G, Ivankin A. Aerobic processing of organic waste into composts. *Applied Biochemistry Microbiology*, New Yor. 2006; v. 42, p. 341–353.
11. Orrico Júnior M, Orrico A, Lucas Júnior J. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*. maio/jun. 2010; v.30, n.3, p.538-545.
12. Marešová K, Kollárová M. Influence of compost covers on the efficiency of biowaste composting process. *Waste Management*. 2010; 30: 2469-2474.
13. BOE. Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. *Boletín Oficial del Estado*. 2013; 164: 51119-51207.
14. Bravo I, Montoya J, Menjivar J. Retention and availability of phosphorus associated with organic matter in a Typic Melanudands of Cauca department, Colombia. *Acta agronómica*. 2013;62(3): 261-267.
15. Santamaría-Romero S, Ferrera S, Almaraz S, Galvis, Barois B. Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N-total durante el composteo y vermicomposteo. *Agrociencia*. 2001; 35:377-384.
16. Sánchez Ó, Ospina D, Montoya S. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Management*. 2017; 69: 136-153.
17. Chandna P, Nain L, Singh S, Kuhad R. Assessment of bacterial diversity during composting of agricultural byproducts. *BMC Microbiology*. 2013;13(99): 1-14.
18. Castillo J, Hernández A, Domínguez D, Ojeda D. Effect of California Red Worm (*Eisenia foetida*) on the nutrient dynamics of a mixture of semicomposted materials. 2010;70,3, pp.465-473
19. Wang B, Dong F, Chen M, Zhu, J, Tan, J, Fu, H, Wang, Y, Chen, S. Advances in recycling and utilization of agricultural wastes in China: Based on environmental risk, crucial pathways, influencing factors, policy mechanism. *Procedia Environmental Sciences*. 2016; 31: 12-17.
20. Al-Bataina B, Young, T, Ranieri E. Effects of compost age on the release of nutrients. *International Soil and Water Conservation Research*. 2016; 4(3): 230-236. 21. Wang J, Song Y, Ma T, Raza W, Li J, Howland J, Huang Q, Shen Q. Impacts of inorganic and organic fertilization treatments on bacterial and fungal communities in a paddy soil. *Applied Soil Ecology*. 2017; 112: 42-50.


Recibido: 2021/08/30

Aceptado: 2021/10/02

ARTÍCULO ORIGINAL

## TOXICIDAD DEL SULFATO DE NÍQUEL HEXAHIDRATADO EN EL CULTIVO HIDROPÓNICO DE ACELGA

### TOXICITY OF NICKEL SULPHATE HEXAHYDRATE IN HYDROPONIC CULTURE OF ACCELGA

Armijos Cabrera Gabriela Viviana<sup>1</sup> , Toaquiza Juan Benjamín<sup>2</sup> , Tandalla Silvana Abigail<sup>2</sup> , Córdova Lesly Jhoana<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Investigador Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.

<sup>2</sup>Colaborador Facultad de Ciencias ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

\*Correspondencia: [gvarmijos@utmachala.edu.ec](mailto:gvarmijos@utmachala.edu.ec)

#### RESUMEN

*La Beta vulgaris var cicla L. (acelga), es una subespecie de Beta vulgaris que es una planta bianual y de ciclo largo, de clima templado, que germina bien con temperaturas medias; los cambios bruscos de clima perjudican a la misma y abunda por toda la zona del Callejón Interandino, por estas características, se ha considerado a esta especie en esta investigación para evaluar la capacidad y el efecto tóxico que tiene el Níquel (Ni) sobre la plata en concentraciones de 0, 5, 10, y 20 mg/L, cada una con tres repeticiones en cultivos hidropónicos, para lo cual, se realizaron observaciones cada 15 días durante 2 meses. A partir de lo cual, se determinaron parámetros físicos – químicos como pH, conductividad eléctrica (CE, mS/cm) del medio hidropónico y características morfológicas de la planta (elongación radicular, número de hojas y tamaño de la planta), posteriormente se realizó el análisis estadístico Anova y Tukey para determinar que existe diferencias significativas entre los tratamientos, ya que las plantas mostraron más toxicidad en concentraciones de 20 mg/L, por la presencia de marchitez y coloración amarillenta de las hojas. El resultado de la concentración final de Ni fue analizado en el laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo mismos que fueron de 0,75; 2,02; y 2,54 mg/L respectivamente.*

**Palabras clave:** *Beta vulgaris var cicla L, Concentración, Níquel, Efecto Tóxico.*

#### ABSTRACT

The *Beta vulgaris* var *cicla* L. (chard), is a subspecies of *Beta vulgaris* that is a biannual and long-cycle plant, with a temperate climate, that germinates well with medium temperatures; sudden changes in climate damage it and abound throughout the area of the Callejón Interandino, due to these characteristics, this species has been considered in this research to evaluate the capacity and the toxic effect that Nickel (Ni) has on silver in concentrations of 0, 5, 10, and 20 mg / L, each one with three replications in hydroponic crops, for which observations were made every 15 days for 2 months. From which, physical-chemical parameters such as pH, electrical conductivity (EC, mS / cm) of the hydroponic medium and morphological characteristics of the plant (root elongation, number of leaves and size of the plant) were determined, Subsequently, the Anova and Tukey statistical analysis was performed to determine that there are significant differences between the treatments, since the plants showed more toxicity in concentrations of 20 mg / L, due to the presence of wilting and yellowing of the leaves. The result of the final concentration of Ni was analyzed in the Environmental Services laboratory of the National University of Chimborazo, which was 0.75; 2.02; and 2; 54 mg / L respectively.

**Keywords:** *Beta vulgaris* var *cicla* L, Concentration, Nickel, Toxic Effect.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial los metales pesados son considerados como elementos tóxicos para la salud de los seres vivos, como también para el ambiente, además no son biodegradables; han sido muy utilizados a nivel industrial, generando un gran problema para la salud humana y ambiental por la emisión al agua, suelo y aire; generando por un lado un efecto sinérgico y por otro la bioacumulación en los tejidos de los seres vivos, dichos metales se biomagnifican junto con los niveles tróficos, además se pueden lixiviar en aguas superficiales o subterráneas. (Gabrielyan, Shahnazaryan, & Minasyan, 2018), además los procedimientos secuenciales de extracción de níquel mediante el uso de plantas proceso conocido como rizofiltración (Brock, Shaw, & Asensi, 1981), así como la acumulación y tolerancia de níquel en diferentes poblaciones y sobretodo en el uso de cultivos hidropónicos generando hiperacumulación, es decir, muestra un crecimiento óptimo en disoluciones con una concentración de 30  $\mu$ M de Ni. (Brock, Shaw, & Asensi, 1981)

El níquel es conocido como un metal de transición, el cual posee cinco estados de oxidación razón por la cual es capaz de formar una gran variedad de compuestos, el estado de oxidación más común presente en el medio es el +2; las especies inorgánicas son las que poseen los efectos más tóxicos. (Schaumlöffel, 2012). El níquel se liberado al entorno de manera natural y también antropogénica; las principales fuentes de contaminación del

*níquel son las descargas mineras, la industria de la fundición, refinación de elementos metálicos que utilizan este elemento como principal materia prima. (Alonso-Arena et al, 2019)*

*Una de las causas de la contaminación en suelos y plantas es el níquel presente en lodos residuales que frecuentemente son usados como fertilizantes. (Alonso-Arena et al, 2019). El grado de contaminación del níquel se puede determinar mediante el uso de indicadores biológicos (Pavón & Campos, 2000). Diversos géneros de plantas son capaces de acumular elevadas concentraciones de metales pesados en sus tejidos, y se les conoce como “hiperacumuladoras”; generalmente poseen una menor cantidad de biomasa, esto se debe a que utilizan mayor energía en los mecanismos necesarios para adaptarse a elevadas concentraciones del metal. (Gallegos, 2016)*

*La capacidad acumuladora dependerá de la especie; el metabolismo, el metal pesado presente, el suelo de cultivo y la interacción planta-raíz-metal. (Alonso-Arena et al, 2019). Una técnica de eliminación de metales pesados es la rizofiltración, es un mecanismo de fitorremediación, en donde la planta tiene la capacidad de acumular la mayor concentración de metales en la raíz que es la parte más expuesta a los iones metálicos. (Parra, 2017). La planta debe poseer características como una alta tasa de crecimiento y área superficial para absorber, concentrar y precipitar metales pesados. (Delgado et al, 2011)*

*Las plantas acuáticas con gran potencial para ser usadas en la rizofiltración de metales presentan la ventaja de tolerar y acumular los metales en sus tejidos (Parra, 2017). Dichas plantas son cultivadas en invernaderos, y sus raíces son sumergidas en el agua, en lugar de tierra. (Orejuela, 2017). Si el sistema radicular de la planta se encuentra bien desarrollado, sus raíces son colocadas en contacto con el agua o efluente a tratar. A medida que las raíces se saturan de agua y contaminantes se van cortando y eliminando. (Beltrano, 2016)*

*La técnica de rizofiltración presenta grandes beneficios y menores costos respecto a los métodos tradicionales usualmente empleados en el tratamiento de efluentes con elevadas cargas de metales pesados. (Ferrer, 2010). Otra de las ventajas de esta técnica es que es estética y naturalmente amigable con el ambiente. (Guevara & Torres, 2009). La presente investigación tiene como propósito evaluar el efecto toxicológico del Níquel en plantas de acelga (*Beta vulgaris* var), tratadas con 5, 10, 20 mg/L de sulfato de níquel hexahidratado, en un sistema hidropónico de acelga.*

## **METODOLOGÍA**

*El bioensayo fue desarrollado en gavetas de plástico en condiciones controladas, en el barrio El Pinar, al norte de la ciudad de Riobamba. El xenobiótico que se utilizó fue el Sulfato de Níquel Hexahidratado disuelto en agua. La investigación se efectuó durante el crecimiento de las plantas para lo cual se realizaron análisis de concentración del xenobiótico inicial en el agua.*

*En primer lugar, se buscó determinar cuáles especies son aptas para la absorción de metales en solución, con este objetivo se recolectan plantas de acelga (*Beta vulgaris* var. *ciela* L.) de alrededor de 30 cm de longitud y con raíces bien desarrolladas, las plantas fueron sometidas a la fase adaptación durante un periodo de 15 días con la solución nutritiva *Quyfer-Plant*.*

*Luego se preparó tres tratamientos con soluciones sintéticas de 5 mg/L, 10 mg/L, y 20 mg/L de sulfato de níquel hexahidratado con tres repeticiones de cada concentración. Las raíces de las plantas ya desarrolladas (30- 60 cm de altura) se colocan en contacto con las soluciones preparadas, se emplearon 200 plantas de una sola especie para la absorción, el proceso se realiza por 30 días. Los controles se realizaron los días: 1, 2, 3, 4, 7, 15, 22 y 30.*

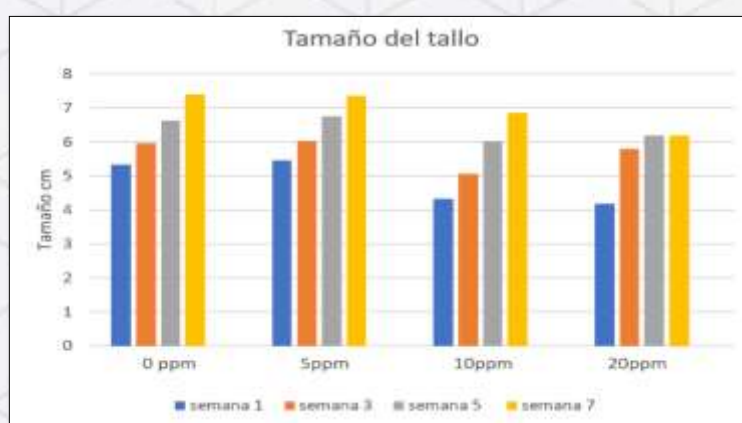
*Adicionalmente se registra el tamaño de cada planta, de las raíces, de las hojas y tallos, tanto al inicio como al final del proceso, con los datos finales se planteó una hipótesis nula de los 3 sistemas, para verificar si se acepta o no la hipótesis nula se utilizó la prueba de Anova, luego se hizo la prueba Turkey para probar las diferencias entre las medias de los tres tratamientos. Se tomaron datos de CE, pH mismos que fueron organizados y presentados en el programa Excel, así como los registros del tamaño de la planta, raíces, hojas y tallo. Los datos fueron analizados mediante una estadística descriptiva para la visualización de los parámetros controlados durante el proceso.*

*Finalmente, la cantidad sulfato de níquel hexahidratado absorbido por las raíces al final del proceso, se determinó por la diferencia entre la concentración inicial y final del xenobiótico en la solución, los datos que obtuvieron mediante análisis de laboratorio. Los análisis químicos fueron realizados en el laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo.*

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El crecimiento y desarrollo de la *Beta vulgaris* var. *cicla L* se midió durante 10 semanas, siendo la adaptación de las plantas al medio acuático la primera semana se visualizó que a partir de 5 semana a la 7 semana en concentraciones de 20mg/L y 10 mg/L de sulfato de níquel hexahidratado las plantas presentan un decaimiento y una suspensión de crecimiento, debido a que la toxicidad del níquel ataca al funcionamiento de la planta.

En cuanto al blanco este se desarrolla con normalidad; mientras a una concentración de 5ppm se puede observar un crecimiento similar en comparación con el blanco, esto es debido a que según Fuente especificada no válida. el rango normal de níquel en la mayoría de tejidos de las plantas está entre los 0,05 y 5 ppm.

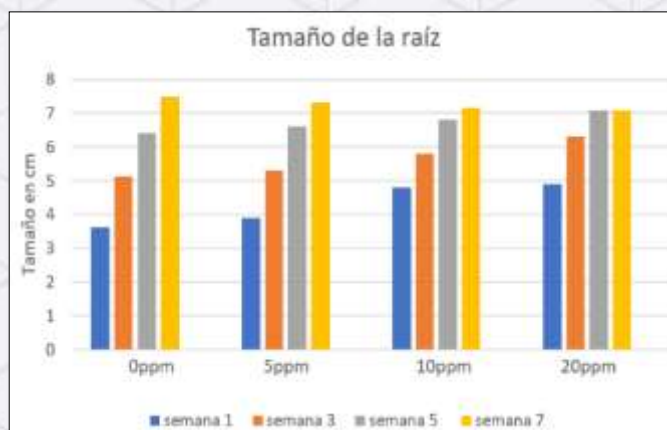


Fuente: Toaquilza B. /et al, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

Gráfico 1 Crecimiento del tallo en diferentes concentraciones de  $[NiSO_4 (H_2O)_6]$  durante 7 semanas

El tamaño de la raíz, este a diferencia del tallo presenta un mayor crecimiento en todas las concentraciones, sin embargo, según Fuente especificada no válida. las plantas que mostraron los más severos efectos tóxicos en su crecimiento fueron a una concentración de 20mg/L ya que el metal inhibe el crecimiento radicular, la mismas que experimentaron una toxicidad gradual en el transcurso del tiempo.

El crecimiento radicular también depende de la cantidad de nutrientes disponibles en el sustrato, cuando existe escasez, estas se ven obligados a extenderse para cubrir mayor área y obtener los nutrientes necesarios.



Fuente: Toaquiza B. /et al, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

Gráfico 2. Crecimiento de la raíz en diferentes concentraciones de  $[NiSO_4 (H_2O)_6]$  durante 7 semanas.

La cantidad de hojas iniciales en el blanco fue incrementando en el transcurso del tiempo, en comparación a las que contenían diferentes concentraciones de níquel estas fueron decreciendo con el tiempo debido a factores como la clorosis lo cual conllevó a la muerte de las mismas. A una concentración de 20 mg/L las plantas presentaron una clorosis en sus bandas debido a la acumulación del níquel.



Fuente: Toaquiza B. /et al, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

Gráfico 3 Cantidad de hojas en diferentes concentraciones de  $[NiSO_4 (H_2O)_6]$  durante 7 semanas

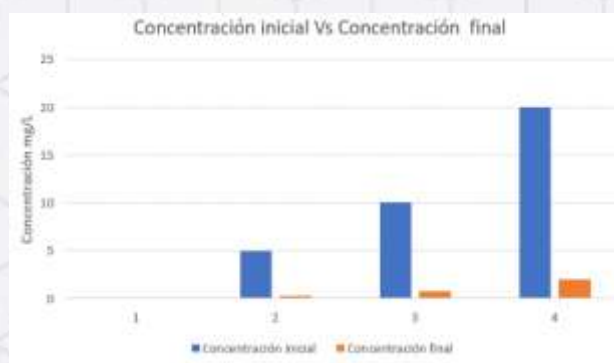
Las concentraciones que se consideraron en este experimento para encontrar la dosis letal fueron de 5, 10 y 20 ppm, tomando como referencia un blanco. Además, se realizó un análisis para corroborar la disminución de la concentración del tóxico en el agua. Dando como resultados: 0,24; 0,75 y 2,02 ppm respectivamente. Con lo cual se comprueba que la *Beta vulgaris* es una planta hiperacumuladora de níquel.



Tabla 1 Análisis de la concentración de Níquel en cultivos hidropónicos de acelga

MUESTRA	UNIDADES	METODO/PROCEDIMIENTO	INICIAL	FINAL
MA-013-20	mg/L	STANDARD METHODS 3500 Ni-3111B	5	0,24
MA-014-20	mg/L	STANDARD METHODS 3500 Ni-3111B	10	0,75
MA-015-20	mg/L	STANDARD METHODS 3500 Ni-3111B	20	2,2

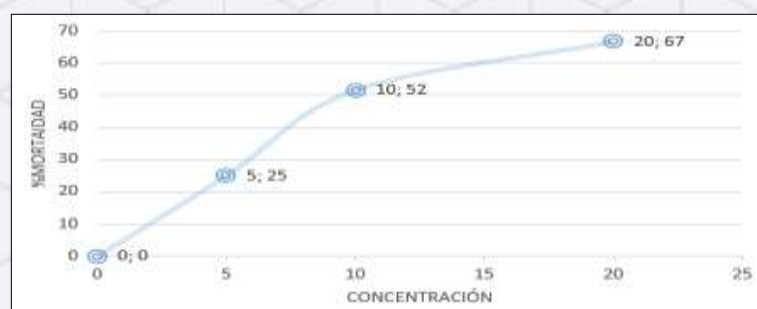
Fuente: Córdova L./et al, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.



Fuente: Toaquiza B./et al, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

Gráfico 4 Concentración inicial y final de la evaluación toxicológica de un cultivo hidropónico de acelga en presencia de níquel

Las plantas fueron sometidas a 3 tratamientos, además de un grupo control (blanco), se observó que a partir de la concentración 10 mg/L de sulfato de níquel hexahidratado se evidencia un aumento en la mortalidad con un valor del 69 %, esto concuerda a investigaciones posteriores donde indican que las hortalizas y vegetales toleran hasta 10 mg/L y desde 20 mg/L la tasa de mortalidad tiene a aumentar, por lo tanto, este valor vendría a ser la dosis exacta de administración a las plantas fuera de ese rango la planta morirá.



Fuente: Toaquiza B./et al, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

Gráfico 5 Curva dosis/respuesta

Para el análisis estadístico Anova se toma en consideración las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_{5\text{mg}} = \mu_{10\text{mg}} = \mu_{20\text{mg}}$$

$$H_A: \mu_{5\text{mg}} \neq \mu_{10\text{mg}} \neq \mu_{20\text{mg}}$$

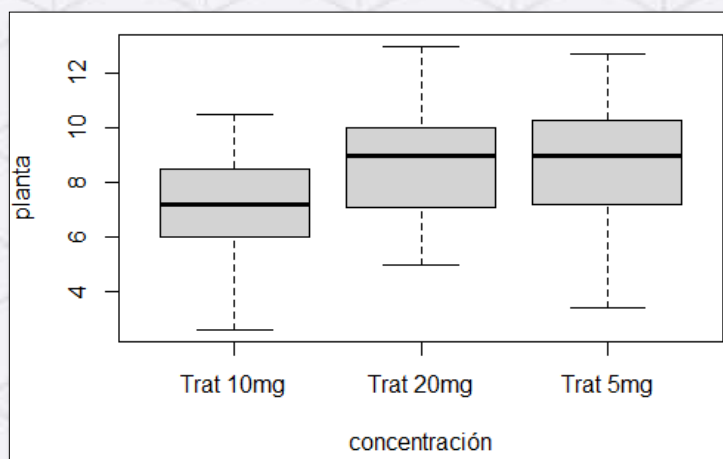
Tabla 2 Análisis Anova del tamaño de la planta a concentraciones de 5, 10 y 20 ppm

Fuente de variabilidad	Suma de cuadros	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_0$	Valor-p
Tratamiento	96.4	3	48.21	15.17	8.32e-07
Error	562.7	177	3.18		
Total	659.1	180	51.39		

Fuente: Córdova L. /et al, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

La hipótesis nula se rechaza si  $F_0 > F$

La distribución F con un valor crítico para  $\alpha = 0,05$  es de  $F_{0,05; 2,177} = 3,047$ , como  $F_0 = 15,17 > F = 3,047$  se rechaza  $H_0$  con lo cual se concluye que si hay diferencia o efecto de los tratamientos de las diferentes concentraciones respecto al crecimiento de la planta, es decir, que no todas tienen la misma tolerancia.

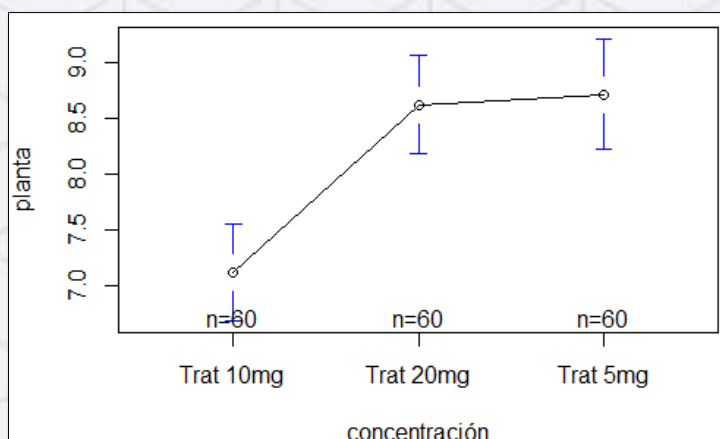


Fuente: Córdova L./et al, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

Gráfico 6 Diagrama de caja para el tamaño de la planta

Es una manera descriptiva de comparar los tratamientos. En el Gráfico 6 se observa que el tratamiento 10 mg/L parece diferente a los tratamientos 20 mg/L y tratamiento 5 mg/L en cuanto a sus medias. Entre los

tratamientos 20 mg/L y 5 mg/L no hay una diferencia significativa por que se traslapan entre sí en relación a sus medias.



Fuente: Córdova L. /et al, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

Gráfico 7 Plotmeans tamaño de la planta

Plotmeans permite hacer una comparación visual y estadística de todos los tratamientos, para saber cuáles procedimientos son diferentes entre sí, como se observa en el Gráfico 7. La conclusión práctica sería que el mejor tratamiento es de 5mg/L (concentración de xenobiótico) por que la planta tuvo una mayor adaptación reflejado en un mayor crecimiento de la planta. Sin embargo, no es posible decir que el Trat 5mg/L sea mejor que el Trat 20mg/L, ya que sus intervalos se traslapan. Una manera de decidir en forma estadística sobre la diferencia entre estos 2 métodos es incrementar la potencia de la proba, o recurrir a otros criterios para tomar la decisión. En cuanto al análisis de Tukey, se establece que la diferencia muestral del tratamiento 5mg/L y 10 mg/L no es significativa, es decir sus medias son iguales, el comportamiento o la absorción del xenobiótico a esa concentración es parecida en los dos tratamientos, este método se aplica cuando el Anova se rechaza.

## CONCLUSIONES

La rizofiltración, es una técnica alternativa que se puede utilizar para el tratamiento efluentes contaminados con metales pesados debido a su elevada relación costo-beneficio a comparación de otros métodos mecánicos o químicos. En el estudio se ha empleado la rizofiltración para tratar agua contaminada con sulfato de níquel hexahidratado mediante un cultivo hidropónico de *Beta vulgaris* var *cicla L.* empezando con concentraciones de Ni a 0, 5, 10 y 20 ppm. Al culminar el bioensayo se determinó la concentración final del agua con valores de 0; 0,24; 0,75 y 2,02 ppm.

*La respuesta de Beta vulgaris var cicla L. a una concentración de 10 ppm presentó un incremento en la tasa de mortalidad, reduciendo más de la mitad de la población y a concentraciones de 20 ppm, una disminución de la población cercana al 70% de la población en estudio; además, desde el día 60 las hojas presentaron clorosis y marchitez. En concentraciones altas presentan inhibición de crecimiento de las raíces y decoloraciones de las hojas. La capacidad de las plantas para absorber y adsorber contaminantes inorgánicos es todavía un tema de análisis e investigación. En la medida en que este conocimiento se incremente, será posible una aplicación más eficiente a gran escala de esta tecnología.*

*Al comparar las medias de los tratamientos por el método Anova, se concluye que los tratamientos son diferentes entre sí, razón por la cual se acepta la hipótesis alternativa en donde se especifica que las medias de cada tratamiento no son iguales. Puesto que el método Turkey se aplica cuando el Anova se rechaza, se ha determinado que la diferencia entre los tratamientos a concentraciones de 5 mg/L y 10 mg/L no es significativa.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Extendemos un fraterno agradecimiento al Ing. Hanníbal Brito Ph.D. por su apoyo incondicional en la redacción del artículo científico, ya que con su guía se cristalizó este manuscrito.*

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Aguilar, I. S. (2001). Acumulaciones tóxicas de Niquel en el crecimiento y la nutrición del trigo . Obtenido de [https://chapingo.mx/terra/contenido/19/3/art199-299.pdf?fbclid=IwAR1\\_7dyzul1a6WP3ivx5kXCx62QRvQO4s0hLrr-xcbnTpdCf4vnBKrnzQIk](https://chapingo.mx/terra/contenido/19/3/art199-299.pdf?fbclid=IwAR1_7dyzul1a6WP3ivx5kXCx62QRvQO4s0hLrr-xcbnTpdCf4vnBKrnzQIk)*
- Alonso-Arena et al, A. (30 de Mayo de 2019). ¿Es funcional la biorremediación en la eliminación de níquel en un suelo contaminado? Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/337622052\\_Es\\_funcional\\_la\\_biorremediacion\\_en\\_la\\_eliminacion\\_de\\_niquel\\_en\\_un\\_suelo\\_contaminado](https://www.researchgate.net/publication/337622052_Es_funcional_la_biorremediacion_en_la_eliminacion_de_niquel_en_un_suelo_contaminado)*
- ATSDR. (s.f.). Recuperado el 2019 de Noviembre de 2019, de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs15.html?fbclid=IwAR0QffcE7E00b3r-rhn\\_3AnnoxJIARKcuGr0mRtt9GAGEXw9TuOIEv33aLE](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs15.html?fbclid=IwAR0QffcE7E00b3r-rhn_3AnnoxJIARKcuGr0mRtt9GAGEXw9TuOIEv33aLE)*
- Beltrano, J. (2016). Cultivo en hidroponía. Obtenido de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1)*
- Bonilla, S. (2013). Estudio para Tratamientos de Biorremediacion de suelos contaminados con plomo, utilizando el metodo de fitorremdiación. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4400/6/UPS-ST000985.pdf>*

- Brock, R., Shaw, S., & Asensi, M. (1981). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1399-3054.1981.tb02693.x>. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1399-3054.1981.tb02693.x>
- Cajuste, J., & Antonio, V. (2012). CADMIO, NÍQUEL Y PLOMO EN AGUA RESIDUAL, SUELO Y CULTIVOS EN EL VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO, MÉXICO. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/302/30200302.pdf>
- Castro, C., Lestón, G., & Monterroso, C. (2007). Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género *Alyssum* L. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/540/54016204.pdf>
- Delgado et al, A. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-04622011000200002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002)
- Ferrer, A. (2010). Analisis del Sistema Sanitario en Navarra. Obtenido de Intoxicación por metales: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1137-66272003000200008](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272003000200008)
- Gabrielyan, A., Shahnazaryan, G., & Minasyan, S. (23 de Diciembre de 2017). Distribution and Identification of Sources of Heavy Metals in. Obtenido de <http://downloads.hindawi.com/journals/jchem/2018/7172426.pdf>
- Gabrielyan, A., Shahnazaryan, G., & Minasyan, S. (18 de Marzo de 2018). Obtenido de <https://www.hindawi.com/journals/jchem/2018/7172426/>
- Gallegos, C. (2016). Fitorremediación en un suelo salino afectado por contaminación con cadmio en el agua de riego. Obtenido de <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/4290/1/TFG%20Claudia%20Gallego%20Moreno.pdf>
- Gawesaki et al, E. (2007). Effect of nickel on antioxidative enzyme activities,. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s10535-006-0102-5>
- Guevara, A., & Torres, E. (2009). USO DE LA RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES LIQUIDOS DE CIANURACION QUE CONTIENEN CROMO, COBRE Y CADMIO. Obtenido de <file:///C:/Users/CRISTIAN/AppData/Local/Temp/RLMMArt-09S01N2-p871.pdf>
- Olivares, V. V. (2015). Níquel en alimentos y factores influyentes en sus niveles, ingesta, biodisponibilidad y toxicidad: unarevisión. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/19476337.2014.917383?fbclid=IwAR2S2XIL-0EzSoS73-DajWay93gR9-QYokRdWN4rWSA34kFp9PUjID3eCNI&>
- Orejuela, J. (2017). EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LA *Heliconia psittacorum* (heliconiaceae) CULTIVADA HIDROPÓNICAMENTE PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS CON PRESENCIA DE CROMO (VI). Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7036/1/236T0283.pdf>
- Parra, F. (Noviembre de 2017). RIZOFILTRACIÓN DE AGUAS DE RIEGO AGRÍCOLA CONTAMINADOS POR METALES PESADOS EN COMUNIDADES DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO, PUEBLA. Obtenido de <http://www.csambientales.buap.mx/sites/default/files/Tesis%20Maestr%C3%ADa/Fernando%20Parra%20Gallegos.pdf>
- Pavón, S., & Campos, E. (2000). Remoción de níquel, cadmio y zinc del agua, utilizando *clinoptilolita heulandita*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/104/10401906.pdf>

Schaumlöffel, D. (2012). *Especies de níquel: análisis y efectos tóxicos*. Obtenido de *Diario de oligoelementos en medicina y biología*: <http://codam.com.ar/2018/09/10/usos-y-aplicaciones-del-niquel/>

Seregin, V., & Kozhenvnikova, A. (2006). *Papel fisiológico del níquel y sus efectos tóxicos en plantas superiores*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1134/S1021443706020178>

Recibido: 2021/09/01

Aceptado: 2021/10/02

ARTÍCULO ORIGINAL

## OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PROCEDENTES DE FÁBRICAS DE JEANS

### OPTIMIZATION OF THE TREATMENT OF INDUSTRIAL WATER FROM JEANS FACTORIES

Brito Fray Juan Francisco <sup>1</sup> , Brito Fray Dayanara Geovanna <sup>2</sup> , Haro Velastegui Carla Viviana <sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Investigador Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática UCE, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Colaborador Facultad de Arquitectura UCE, Quito, Ecuador.

<sup>3</sup> Colaborador Facultad de Ciencias ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

\*Correspondencia: [jfbrito@uce.edu.ec](mailto:jfbrito@uce.edu.ec)

### RESUMEN

Se realizó el diagnóstico del tratamiento de aguas residuales de cuatro empresas de confección de pantalones tipo jeans en la ciudad de Pelileo, Provincia Tungurahua, Ecuador, para lo cual, se tomó una muestra por semana por un lapso de dos meses con un total de ocho por empresa, mismas que fueron recolectadas en la descarga a la red de alcantarillado con un volumen de 20 mL cada hora hasta completar 1 L, mismas que fueron llevadas a laboratorios acreditados por el SAE para su respectivo análisis, donde se determinó que los tenso activos y sulfuros se encontraron fuera de norma, por lo que, fue necesario realizar pruebas de tratabilidad para identificar el porcentaje óptimo de floculante por cada litro de afluente. El floculante fue dosificado de acuerdo a la cantidad óptima identificada al sistema de tratamiento de aguas residuales, posteriormente se procedió con la toma de muestras de agua tratada de los parámetros de descarga a la red de alcantarillado de la ciudad para el análisis correspondiente de acuerdo a la normativa ambiental vigente para los límites de descarga a la red de alcantarillado de la ciudad, parámetros que se encuentra en el Acuerdo Ministerial 097 A Anexo I Tabla 9. Las muestras de agua residual fueron llevadas al Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH para su respectivo análisis teniendo como resultado la remoción del 99,5 % en sulfuros y 49,12 % en tensoactivos, cumpliendo de esta manera con lo establecido en las leyes ambientales, es decir, reduciendo los impactos al entorno.

**Palabras clave:** Remoción, sulfuros, tensoactivos, agua residual.

## ABSTRACT

*The diagnosis of the wastewater treatment of four companies that manufacture jeans-type pants in the city of Pelileo was carried out, Tungurahua Province, Ecuador, for which, a sample was taken per week for a period of two months with a total of eight per company, same that were collected in the discharge to the sewer network with a volume of 20 mL every hour until completing 1 L, they were taken to laboratories accredited by the SAE for their respective analysis, where it was determined that the active tensile and sulfides were found outside the norm, therefore, treatability testing was necessary to identify the optimal percentage of flocculant for each liter of influent. The flocculant was dosed according to the optimal amount identified to the wastewater treatment system, subsequently, we proceeded to take samples of treated water from the discharge parameters to the city's sewerage network for the corresponding analysis in accordance with current environmental regulations for the limits of discharge to the city's sewerage network. parameters found in Ministerial Agreement 097 A Annex I Table 9. The residual water samples were taken to the water laboratory of the ESPOCH Faculty of Sciences for their respective analysis, resulting in the removal of 99,5% in sulfides and 49,12% in tense assets, thus complying with the provisions of environmental laws, that is, reducing impacts to the environment.*

**Keywords:** Removal, sulfides, surfactants, waste water.

## INTRODUCCIÓN

*Pelileo se encuentra ubicado en el cantón de su mismo nombre y pertenece a la provincia de Tungurahua, se caracteriza por ser una ciudad con alto porcentaje de empresas de confección y tinturado de ropa jean, convirtiéndose en un polo de desarrollo socio económico para la zona y el país, generando una alta demanda de productos textiles a nivel nacional e internacional, por este motivo, el proceso de producción de jean utiliza dentro de sus procesos el teñido (1) de telas para posteriormente proceder con la confección de prendas de vestir para su comercialización, es en esta fase del proceso donde se generan aguas residuales que son conducidas para su tratamiento en las plantas de tratamiento de aguas residuales en cada empresa (obligación norma*



ambiental), estas plantas luego del diagnóstico efectuado a 4 empresas se determina que no funcionan adecuadamente, de esta manera, descargan el efluente con algunos parámetros fuera de norma establecida por el organismo de control, generando de esta manera impactos negativos a los cuerpos hídricos en la ciudad y el cantón, para lo cual, se procedió con la toma de una muestra por semana en cada una de las empresas por el lapso de dos meses con un total de ocho muestras por empresa, mismas que fueron recolectadas en la descarga a la red de alcantarillado con un volumen de 20 mL cada hora hasta completar 1 L, mismas que fueron analizadas en laboratorios acreditados por el SAE, donde se determinó que los tenso activos y sulfuros se encontraron fuera de norma, por lo que, fue necesario realizar pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para determinar la cantidad óptima de floculante por litro de agua residual.

El químico floculante (2) fue dosificado de acuerdo a la cantidad óptima identificada en la prueba de jarras para el sistema de tratamiento de aguas residuales de las empresas textiles, posteriormente se tomaron muestras del agua tratada y se procedió a su análisis en el laboratorio de aguas de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, el resultado obtenido presentó una remoción del 99,5 % en sulfuros y 49,12 % en tenso activos (3), verificando de esta manera que los parámetros se encuentran por debajo de la norma ambiental vigente AM 097 A (1), de los parámetros de descarga a la red de alcantarillado de la ciudad, de esta manera se reduce los impactos ambientales al entorno.

## **METODOLOGÍA**

Se inició con el análisis de datos entregados por las empresas participantes, mismos que fueron tabulados y analizados para identificar la mejor tratabilidad del proceso, para lo cual, se procedió a determinar la cantidad óptima de floculante en la prueba de jarras (5) para dosificar al agua residual (2 muestras semanales de agua residual durante 2 meses con un total de 16) (6), estos análisis fueron realizados en el laboratorio de aguas de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Luego del proceso de optimización con el floculante y cantidad adecuada se procedió con la toma compuesta (100 mL cada 20 minutos hasta completar 1L) de muestras de agua residual antes y después del tratamiento, mismas que se llevaron al laboratorio de aguas de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH para su correspondiente análisis de acuerdo a los parámetros establecidos en la norma. Estas muestras se recolectaron en envases ámbar de 1 L previamente preparadas con solución para preservar la misma, se ubicaron en el cooler para su transporte hacia la ESPOCH.

Los resultados de las muestras de agua residual a la entrada y la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales se obtuvieron luego del análisis en el Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, pruebas de caracterización de color, pH, conductividad y Sólidos Totales Disueltos en el agua cruda (7), con estos valores obtenidos se procedió a determinar los porcentajes óptimos de floculante mediante el equipo de prueba de jarras, evaluando las variables de proceso para la desestabilización de las partículas coloidales en el agua residual, para esto se preparó en los 4 vasos de precipitación de 1 L, la adición del floculante policloruro de aluminio de las empresas y también de una casa comercial, estas pruebas (8) se desarrollaron con 32 unidades de análisis, colocando en cada vaso de precipitación agua residual y se añadió floculante a cada uno de ellos en dosis progresivas, utilizando pipeta de 1, 5 y 10 mL para dosificar el floculante, luego se mezcló por el lapso de 1 minuto hasta homogeneizarla, se deja en reposo para determinar el tiempo de sedimentación de cada uno de los vasos de precipitación (9) e identificar el más adecuado, posteriormente se separa los sedimentos y el agua tratada se analiza los parámetros de color, pH, sólidos totales disueltos y conductividad, determinando que el más adecuado es el que tiene el menor valor de color, sólidos totales disueltos y pH.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras del agua residual se tomaron a la entrada al sistema de tratamiento de agua residual (STAR) y luego del tratamiento antes de la descarga al sistema alcantarillado público de la ciudad, para lo cual, se efectuaron determinaciones de caudal, pH, temperatura y conductividad.

Tabla 1 Valores de Parámetros In Situ de Agua al Ingreso del Sistema de Tratamiento

No.	HORA	CONDUCTIVIDAD (mS/cm)	pH	TEMPERATURA (C)
1	07H00	1831	5,3	35
2	07H30	1742	6,5	46

3	08H00	1659	4,2	42
4	08H30	890	7,5	35
5	09H00	1973	4,32	38,6
6	09H30	1918	4,88	28,7
7	10H00	1961	4,31	48,3
8	10H30	1917	1,41	39
9	11H00	1829	2,81	41,1
10	11H30	1956	3,2	35,2
11	12H00	1960	4	37
12	12H30	1775	3,11	35,2
13	13H00	1918	3,04	32,6
14	13H30	1820	3,55	29,8
15	14H00	1491	2,56	27,8
16	14H30	1713	1,15	32,5
17	15H00	1820	3,81	30,5
18	15H30	1716	5,30	28,4

Fuente: Haro C., Empresas de jean, 2019.

Los resultados del análisis de agua residual in situ se lo realizaron con el equipo HACH, determinando los valores de conductividad, pH y temperatura como se describe en la tabla 1 con rangos de pH de 1,41 a 7,5 estabilizándose en 5,3 y en relación a la temperatura que va de 28,4 a 46 °C; valores fluctuantes por la dinámica del proceso

Tabla 2 Caudal al Ingreso y descarga del Sistema de Tratamiento de aguas residuales

No.	Hora	CAUDAL INGRESO STAR		CAUDAL SALIDA STAR	
		(L/s)	(m3/s)	(L/s)	(m3/s)
1	9:00	1,8045	0,0018045	1,75	0,00175
2	9:30	1,92307692	0,00192308	1,7094	0,0017094
3	10:00	2,83018868	0,00283019	1,88679	0,00188679
4	10:30	2,28070175	0,0022807	1,97368	0,00197368

5	11:00	2,12389381	0,00212389	1,85841	0,00185841
6	11:30	1,97587719	0,00197588	1,97368	0,00197368
7	12:00	1,99511111	0,00199511	1,99074	0,00199074
8	12:30	1,79039301	0,00179039	1,74672	0,00174672
9	13:00	1,73913043	0,00173913	1,78261	0,00178261
10	13:30	2,48868778	0,00248869	2,0362	0,0020362
11	14:00	2,14642857	0,00214643	1,96429	0,00196429
12	14:30	2,45073171	0,00245073	2,34146	0,00234146
13	15:00	2,34234234	0,00234234	2,34234	0,00234234
14	15:30	2,11453744	0,00211454	2,11454	0,00211454
15	16:00	2,13953488	0,00213953	2,13953	0,00213953
16	16:30	2,04347826	0,00204348	2,04348	0,00204348
17	17:00	1,74496644	0,00174497	1,71141	0,00171141
18	17:30	1,55172414	0,00155172	1,55172	0,00155172
Caudal Promedio $Q_E$ (m <sup>3</sup> /s)			<b>0,00208252</b>	<b>0,001951</b>	
$Q_E$ (L/h)			<b>7497,0609</b>	<b>7023,6</b>	

Fuente: Haro C., Empresas de Jean, 2019.

Se determinó las características del caudal obteniendo un promedio de 7 m<sup>3</sup>/h, variable que es muy importante al momento de dosificar el floculante y tener mejores resultados al momento de remover los contaminantes del agua residual

**TABLA 3 Dimensión de los Tanques Simétricos**

No.	TANQUE	Ancho (m)	Largo (m)	Profundidad (m)
1	Desarenador	1,500	3,040	1,120
2	Homogenización	1,840	1,250	1,440
3	Sedimentador 1	2,210	2,000	1,440
4	Sedimentador 2	2,210	2,420	1,610
5	Almacenamiento 1	2,230	1,650	1,100

Fuente: Haro C., Empresas de Jean, 2019.

TABLA 4 Dimensión de los Tanques Asimétricos

No.	TANQUES	Área (m <sup>2</sup> )	Profundidad (m)
1	Floculador horizontal 1	1,5393	0,3100
2	Aireador	4,8320	1,4700
3	Floculador horizontal2	7,4794	0,8100
4	Almacenamiento 2	3,3950	0,8600

Fuente: Haro C., Empresas de Jean, 2019.

Se ha determinado las características de los diferentes tanques simétricos tabla 3 y asimétricos tabla 4 que se encuentran en el sistema de tratamiento de aguas residuales, identificando que en el tanque floculador horizontal 1 tiene 2 salidas la primera que lleva al tanque de aireación (existe desbordamiento de agua residual con floculante) y la segunda al tanque sedimentador 1, valores con los que se interacciona la fenomenología del proceso de remoción de contaminantes, especialmente en el proceso de floculación sitio en el cual, se dosifica el floculante y se elimina la mayor cantidad de carga contaminante, para lo cual, se efectuó las pruebas de dosificación preparando la solución al 20, 25, 30 % de concentración (tabla 5), con volumen de 5, 10 y 15 mL por cada litro de agua residual.

Las bombas 1 y 2 son las encargadas de dosificar 200 mL de floculante en un tiempo de 1,4 minutos cada una, previo a su adición se preparó 3 pruebas de tratabilidad para determinar el porcentaje óptimo de floculante a ser añadido en el sistema de tratamiento de acuerdo a la tabla 5, determinando una dosificación del 25 % de floculante para cada litro de agua residual, para su dosificación se prepara en 200 mL de agua destilada antes de su mezcla en el sistema de tratamiento.

TABLA 5 PAC en la solución

No.	C <sub>PAC</sub> (%)	V <sub>a</sub> (mL)
1	20	50
2	25	50
3	30	50

Fuente: Haro C., Empresas de Jean, 2019.

Del análisis de tratabilidad realizado se ha determinado que el policloruro de aluminio (PAC) de la casa comercial 2, es la que tiene mejor rendimiento ya que 1 L de floculante trata 200 L de agua residual, en cambio la casa comercial 1 solo 66 L, viendo claramente que es más eficiente y con menor costo.

**TABLA 6 Valores del Agua residual y tratada**

No.	Parámetros	Unidad	*Valor Límite Permisible	RESULTADOS	
				**Ingreso al Sistema de Tratamiento	Descarga al Sistema de Alcantarillado
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno	ppm	250	225	222
2	Demanda Bioquímica de Oxígeno	ppm	500	410	403
3	Tensoactivos	ppm	2	6,57	4,58
4	Sulfuros	ppm	1,0	36,48	7,34
5	pH	---	5-9	7,20	6,62

\*AM 097 A, anexo 1, tabla 9. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público. \*\* Datos promedio de las empresas

Fuente: Haro C., Empresas de Jeans, 2019.

Los datos obtenidos en promedio por las empresas se encuentran por arriba de la norma (tabla 6), motivo por el cual, se realizaron las pruebas de tratabilidad para aplicarlas al proceso de tratamiento y posteriormente tomar muestras del agua tratada de acuerdo a los parámetros establecidos en el Acuerdo ministerial 097 A, anexo 1, tabla 9, para determinar el porcentaje de remoción de los contaminantes como se indican en la tabla 6, en la cual, se presentan los valores del análisis de agua realizada antes y después del tratamiento, determinando que existe remoción de la carga contaminante del 30,60 % en la DBO; 37,90 % en la DQO; 79,9 % en sulfuros y 70,9 % en color y que los parámetros se están dentro de los límites exigidos por el organismo de control a excepción de los sulfuros que se encuentran luego del tratamiento por encima de la norma. También se ha determinado que los tensoactivos tiene una remoción del 49,12 %, esto se debe a que, se desconoce las características del detergente.

## CONCLUSIONES

- ✓ No existe control en la dosificación del floculante.
- ✓ Hay desbordamiento del agua residual en el tanque de aireación.
- ✓ De los resultados obtenidos por las empresas se ha determinado que los tensoactivos y sulfuros están fuera de norma, tensoactivos con 6,57 ppm y sulfuros con 36,48 ppm.
- ✓ El resultado obtenido después de la optimización en el tratamiento de agua residual determina que la DBO tiene 222 mg/L, DQO con 403 mg/L y sulfuro con 7,34 mg/L.
- ✓ El caudal fue modificado en las bombas de dosificación de 8,448 L/h a 18,74 L/h por bomba.

## AGRADECIMIENTO

Extendemos un fraterno agradecimiento a las empresas que dieron las facilidades para la realización de este trabajo de investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brito H, et al. Optimización del sistema de tratamiento de efluentes generados en la lavandería y tintorería de jeans CORPOTEX. 2017.
2. Alvarado L. Uso de las Cáscaras de Papa como Coagulante Natural en el Tratamiento de Aguas Potables de la Planta "La Diana". Publicaciones e Investigación. 2012;; p. 7.
3. Brito H, et al. Cuantificación de efluentes de aguas residuales del Camal Frigorífico Riobamba. Ciencia Digital. 2019;; p. 783-794.
4. Ministerio del Ambiente de Ecuador. Acuerdo Ministerial 097A. Anexo I: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes del Recurso Agua. Quito; 2015.
5. Valencia J, Brito H. Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para el Área de Bovinos en el Camal Frigorífico Municipal De Riobamba Riobamba; 2012.
6. Ramalho R. Tratamiento de Aguas Residuales. Barcelona; 2003.
7. Salas G. Eliminación de sulfuros por oxidación en el tratamiento del agua residual de una curtiembre: Quim. Ing. Quim; 2005.
8. Brito H. Texto Básico de Operaciones Unitarias II Riobamba: Docucentro ESPOCH; 2001.
9. Brito H. TEXTO BASICO DE OPERACIONES UNITARIAS III Riobamba, Ecuador: Docucentro, ESPOCH; 2001.
10. Hernández A. Depuración de aguas residuales. 3rd ed. Madrid: Paraninfo; 1994.
11. Harold E. Alcantarillado y tratamiento de aguas negras México: Continental; 1971.
12. Romero J. Calidad del agua. 3rd ed. Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería; 2009.
13. Sierra C. Calidad del agua - Evaluación y diagnóstico Medellín: Ediciones de la U; 2011.



GIAD, 2021, Esta obra está sujeta a la licencia Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

GIAD – Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la ESPOCH



Campus  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Panamericana Sur Km 1 ½

RIOBAMBA - ECUADOR

