

# APLICACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO BIODEGRADABLE A BASE DE ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*) Y MAÍZ (*Zea mays L.*) EN LA CONSERVACIÓN DE CARNE DE RES

## APPLICATION OF A BIODEGRADABLE COATING BASED ON CASSAVA (*Manihot esculenta*) AND CORN (*Zea mays L.*) STARCH IN THE PRESERVATION OF BEEF

María Belén Jaramillo<sup>1</sup>, Xavier Carrera<sup>2</sup>, Santiago Casado<sup>3</sup>, Andrea Rivera, Fabricio Guzmán<sup>5</sup>.

{maria.jaramillo3873utc.edu.ec<sup>1</sup>, washington.carrera3625@utc.edu.ec<sup>2</sup>, s.casado@uta.edu.ec<sup>3</sup>, evelyn.rivera6209@utc.edu.ec<sup>4</sup>, fabricio.guzman@utc.edu.ec<sup>5</sup>}

Fecha de recepción: 15/01/2025 / Fecha de aceptación: 24/01/2025 / Fecha de publicación: 03/03/2025

**RESUMEN:** El presente trabajo de investigación tiene como finalidad elaborar un recubrimiento biodegradable a base de almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y maíz (*Zea mays L.*) a diferentes concentraciones y aplicarlas en la conservación de carne de res, como una alternativa sostenible a la reducción del uso de recubrimientos plásticos. El trabajo de investigación ejecutó un proceso de extracción manual de los dos tipos de almidones teniendo como resultado un rendimiento de 51,99 y 46,86 % respectivamente, además se evaluaron los parámetros fisicoquímicos como: humedad, temperatura de gelificación, pH, solubilidad, cenizas, fibra y proteína. Además, se formularon los recubrimientos a diferentes concentraciones del porcentaje de almidón ( $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$ ) y se determinó la calidad física (espesor), mecánica (Fuerza de tracción), óptica (FTIR) y microbiológica (*Aerobios mesófilos* y *E. coli*). Del mismo modo, se comprobó que las diferentes concentraciones cumplieron con la calidad física y mecánica de acuerdo con la Normativa 2636 (2012). En los análisis FTIR se puede destacar la presencia de diferentes compuestos y enlaces con sus bandas de absorción como lo son O-H, C-H Y N-H, además de enlaces covalentes polares de C-O, metileno  $CH_2$  y presencia de esteres. Además, se realizó las pruebas microbiológicas en la carne de res luego de aplicar el recubrimiento, transcurrido los 3 días podemos indicar que, en cuanto a aerobios mesófilos, los

<sup>1</sup>Estudiante investigador, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná-Cotopaxi-Ecuador. <https://orcid.org/0009-0006-8986-9256>.

<sup>2</sup>Docente investigador, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná-Cotopaxi-Ecuador. <https://orcid.org/0000-0002-9237-7563>.

<sup>3</sup>Docente investigador, Facultad de Ciencias e ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador. <https://orcid.org/0000-0002-1473-8247>.

<sup>4</sup>Docente investigador, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná-Cotopaxi-Ecuador. <https://orcid.org/0000-0002-5580-8467>.

<sup>5</sup>Docente investigador, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná-Cotopaxi-Ecuador. <https://orcid.org/0009-0004-5658-5498>.

tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> se encuentran dentro de los parámetros. Del mismo modo, para la determinación de *E. coli* los tratamientos T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> fueron los que se encontraron dentro del rango de aceptabilidad mencionados por la Norma Técnica Ecuatoriana 1338-2012. Se concluyó que el recubrimiento en base a almidón de yuca y almidón de maíz cumple una función protectora de barrera para la conservación de la carne de res.

**Palabras clave:** FTIR, recubrimientos biodegradables, amilosa, amilopectina, retrogradación, esterificación

**ABSTRACT:** The purpose of this research work is to develop a biodegradable coating based on cassava starch (*Manihot esculenta*) and corn (*Zea mays L.*) at different concentrations and apply them in the preservation of beef, as a sustainable alternative to reduce the use of plastic coatings. The research work executed a manual extraction process of the two types of starches resulting in a yield of 51.99 and 46.86% respectively, in addition the physicochemical parameters were evaluated such as: humidity, gelation temperature, pH, solubility, ash, fiber and protein. In addition, the coatings were formulated at different concentrations of the percentage of starch (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> and T<sub>3</sub>) and the physical quality (thickness), mechanical (tensile force), optical (FTIR) and microbiological (mesophilic aerobes and *E. coli*) were determined. Likewise, it was verified that the different concentrations complied with the physical and mechanical quality according to Regulation 2636 (2012). In the FTIR analysis, the presence of different compounds and bonds with their absorption bands such as O-H, C-H and N-H can be highlighted, in addition to polar covalent bonds of C-O, methylene CH<sub>2</sub> and the presence of esters. In addition, microbiological tests were carried out on the beef after applying the coating. After 3 days, we can indicate that, in terms of mesophilic aerobes, treatments T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> and T<sub>3</sub> are within the parameters. Similarly, for the determination of *E. coli*, treatments T<sub>2</sub> and T<sub>3</sub> were those found within the range of acceptability mentioned by the Ecuadorian Technical Standard 1338-2012. It was concluded that the coating based on cassava starch and corn starch fulfills a protective barrier function for the preservation of beef.

**Keywords:** FTIR, biodegradable coatings, amylose, amylopectin, retrogradation, esterification

## INTRODUCCIÓN

En 2020, la producción mundial de yuca alcanzó aproximadamente 205 millones de toneladas en raíces, con un promedio en rendimiento global de 10,9 t/ha. Los principales países productores de yuca fueron Nigeria con 13,6 %, la República Democrática del Congo con 13,6 % y Tailandia con 9,6 %, sumando el 43 % de la producción mundial (1). En Ecuador, la yuca se cultiva en todas las provincias, principalmente por pequeños productores. Este cultivo se desarrolla tanto en suelos pobres como fértiles, ya que requiere una mínima cantidad de fertilizantes y agua. Además, la yuca es un cultivo de subsistencia debido a su alta producción de tubérculos por hectárea, la baja demanda de mano de obra, la estabilidad en el rendimiento y el período de cosecha (2).

Por otro lado, el maíz es el principal cultivo transitorio en Ecuador en términos de superficie sembrada. En 2021, se cultivaron 355 mil hectáreas de este cereal, con una producción estimada de 1,38 millones de toneladas. De esta producción, entre el 78 y 80% corresponden al maíz duro, mientras que el 20 al 22 % es maíz suave. En la región de la Costa y Amazonía se cultiva principalmente maíz amarillo duro, sobre todo híbridos, con un rendimiento promedio de 4,64 t/ha. En la Sierra, se siembran mayormente variedades de maíz de libre polinización con grano suave o harinoso, con un rendimiento promedio de 0,82 t/ha (3).

Es por ello que, la industria alimenticia enfrenta un desafío constante en la conservación de productos cárnicos debido a su alta susceptibilidad al deterioro microbiológico, químico y físico. Del mismo modo, las técnicas tradicionales de conservación, como el uso de conservantes sintéticos y métodos de envasado, han generado diversas preocupaciones por su impacto ambiental y efectos sobre la salud humana. En este contexto, los recubrimientos biodegradables han emergido como una alternativa prometedora para prolongar la vida útil de los alimentos. Estos recubrimientos pueden proporcionar una barrera efectiva en la disminución de la actividad de agua, la oxidación lipídica y la proliferación microbiana, con el fin de mejorar la calidad e inocuidad de los productos cárnicos (4).

El almidón es un polímero natural ampliamente utilizado en la fabricación de recubrimientos biodegradables debido a su disponibilidad, biocompatibilidad y propiedades formadoras de película. En particular, el almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y maíz (*Zea mays L.*) se ha destacado como una alternativa para la producción de recubrimientos, debido a su bajo costo y sus propiedades funcionales (5). Así también, el almidón de yuca ha mostrado su potencial como agente formador de película debido a su alta viscosidad y estabilidad térmica. Mientras que, el almidón de maíz ha sido utilizado para proporcionar una barrera efectiva contra la humedad y los contaminantes (6).

Así pues, el almidón compuesto por dos elementos principales: amilosa y amilopectina, se diferencian de acuerdo con su morfología y la cantidad de cada uno de estos componentes en los diferentes cereales y tubérculos (7). La amilopectina posee una propiedad de adherencia ya que posee propiedades coloidales como viscosidad, índice de gelificación. Además, se puede determinar como una alternativa importante dentro de la industria alimenticia debido a que se puede emplear como material de encapsulación análogo a la maltodextrina (8).

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la aplicación de un recubrimiento biodegradable a base de almidón de yuca y maíz utilizando el Agar-Agar como agente gelificante en la conservación de filetes de carne de res, debido a su capacidad para mejorar la calidad microbiológica, y organoléptica durante su almacenamiento, siendo una alternativa importante para la sostenibilidad y sustentabilidad con el medio ambiente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación experimental se realizó en la provincia de Cotopaxi, Cantón la Maná, el desarrollo de pruebas y fase experimental se efectuará en el laboratorio de Germoplasma de la

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN) de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, el estudio tuvo una duración de 120 días, comprendidos en 90 días elaboración y registro de datos, 20 días en el análisis de resultados 10 días en la redacción del documento.

En el presente estudio se realizó en distribución de 3 tratamientos, con tres repeticiones en donde cada unidad experimental estuvo formada por (mmm). Los mismos que se analizaron bajo un diseño experimental Completamente Azar. Los resultados que se muestran se basan en el procedimiento de diferencias significativas (HSD) de Tukey.

#### **Procedimiento para la extracción del almidón de yuca (*Manihot esculenta*).**

Para este procedimiento se seleccionaron yucas que no presenten daños físicos, retirando la cascara con ayuda de un cuchillo y posteriormente realizando un lavado, se cortaron en trozos finos para facilitar su trituración, para este proceso se colocó 400 gr de yuca en una licuadora con 800 ml de agua durante 40 segundos a velocidad alta. La pulpa obtenida se pasó por un cedazo hacia un recipiente, se dejó en reposo por 24 horas y se eliminó el líquido libre de almidón, posteriormente se colocó en una bandeja y se secó a una temperatura de 37°C durante 24 horas, los gránulos secos de almidón obtenidos se triturarán por medio de un triturador manual para reducir su tamaño. Se tamizó por medio de una malla de 150  $\mu\text{m}$ , el almidón obtenido de cada tratamiento y repetición se guardará en fundas ziploc con su respectiva identificación.

#### **Procedimiento para la extracción del almidón de maíz (*Zea mays L.*).**

Para este procedimiento se seleccionaron granos de maíz sin ningún daño físico, se retiró las impurezas, posteriormente se dejó en remojo durante 24 horas esto permitió el ablandamiento y la liberación del almidón. Tras el remojo, el maíz se muele en un molino para descomponer el grano y liberar el almidón. En esta etapa, se utiliza agua para formar una pasta de maíz. La pasta resultante se sometió a un proceso de separación mediante filtración y centrifugación. El almidón se encuentra suspendido en el agua y se separa del salvado (fibra) y el germen del maíz. El líquido resultante se dejó reposar para que el almidón se decante al fondo del recipiente, luego se eliminó el sobrenadante. A continuación, se realizó la purificación del almidón con abundante agua, eliminando impurezas solubles y otras sustancias no deseadas. El almidón limpio se secó a una temperatura de 37°C durante 36 horas, hasta obtener un polvo fino y de color blanco.

#### **Pruebas fisicoquímicas de los almidones.**

La metodología de análisis fisicoquímico de almidones involucra una serie de pruebas que permiten caracterizar sus propiedades esenciales.

#### **Rendimiento.**

El rendimiento obtenido se calculará en base a la cantidad de materia prima empleada y la cantidad de almidón obtenido, dicho cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{P_f}{P_0} * 100$$

Donde:

P<sub>0</sub>= Peso de la materia prima (g)

P<sub>f</sub>= Peso del almidón (g)

### **Humedad**

La determinación de humedad se llevó a cabo por método gravimétrico para lo cual, se utilizó una estufa (BIOBASE, BOV-T30CII). Se puede medir a través de la pérdida de peso mediante el método de secado en termobalanza, en el que el contenido de humedad se determina a partir del cambio de peso de la muestra después de la evaporación del agua (9).

### **Cenizas**

La determinación de cenizas se realizó por incineración por el método AOAC 940.26: 2000, utilizando una mufla (Thermo Scientific, FB1310M-33). Se tararon los crisoles en la mufla a 550°C durante 1 hora, luego se enfriaron en un desecador hasta alcanzar peso constante. A continuación, se pesaron tres muestras de aproximadamente 3 g de almidón de yuca y maíz, colocándolas en los crisoles correspondientes. Las muestras fueron calcinadas sobre el reverbero hasta que cesó la emisión de humo. Posteriormente, los crisoles con las muestras calcinadas se colocaron en la mufla a 550°C durante 7 horas, o hasta que las muestras se convirtieron completamente en ceniza, alcanzando una coloración blanca. Tras enfriar los crisoles en un desecador durante 25 a 30 minutos, se procedió a pesar los crisoles con las cenizas para calcular el porcentaje de cenizas con la siguiente ecuación:

$$\%cenizas = \frac{(P - p)}{M} * 100$$

En donde:

P= Masa del crisol con las cenizas en gramos

p= Masa del crisol vacío en gramos

M= Masa de la muestra en gramos

### **Solubilidad**

Se secaron los tubos de centrifuga en la estufa a 60°C y luego se pesaron. A continuación, se adicionaron 1.5 g de almidón de yuca y maíz en cada tubo, realizando el ensayo por triplicado para cada almidón. Se midieron 30 ml de agua destilada precalentada a 60°C y se añadieron a cada tubo. Tras agitar levemente el sedimento, los tubos se colocaron en un baño maría a 60°C durante 30 minutos y luego se agita a los 10 minutos. Luego, se centrifugaron a 3000 rpm por 30

minutos a temperatura ambiente. Se tararon los vasos de precipitación y se midió el volumen del líquido obtenido, de los cuales se colocaron 10 ml en un vaso de precipitación. El líquido se secó en la estufa a 70°C durante 24 horas. Finalmente, se pesaron los tubos de centrifuga con el gel y los vasos de precipitación con los insolubles y se realizó el cálculo correspondiente con la siguiente formula:

$$\text{Indice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{\text{Peso solubles (g)} * V * 10}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

## pH

El pH se determinó con un multiparámetro (STRIRER, PL-700PC). Se realizó la calibración del medidor de pH utilizando soluciones tampón de 4.0 y 7.0. Posteriormente, se pesaron 20 g de almidón de yuca y maíz, que se colocaron en vasos de precipitación. Se adicionaron 100 ml de agua destilada previamente hervida para eliminar el CO<sub>2</sub>. La solución se filtró a través de un papel filtro y se tomó una alícuota. Finalmente, se introdujo el electrodo del medidor de pH y se midió el pH de la muestra.

## Temperatura de gelificación

Se disolvieron 10 g de almidón en 100 ml de agua destilada y se colocó el vaso en un baño maría a 85°C. Se mantuvo una agitación constante con el termómetro hasta que se formó una pasta homogénea. Durante este proceso, se tomó la lectura directamente del termómetro para monitorear la temperatura.

## Fibra

Se colocaron 2 g de muestra seca y desengrasada en un vaso de Berzellius, junto con núcleos de ebullición y 250 ml de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) al 1.25%. El vaso fue llevado al equipo correspondiente y se mantuvo en ebullición durante 30 minutos exactos. Posteriormente, se desconectó el vaso del equipo y se filtró al vacío. El vaso y el papel filtro fueron lavados con 250 ml de agua caliente para asegurar la eliminación de residuos. El residuo filtrado se trasvasó nuevamente al vaso de Berzellius, y se adicionaron 250 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 1.25%. El vaso fue colocado de nuevo en el equipo, ajustando el condensador, y se mantuvo en ebullición durante 30 minutos exactos. Tras este tiempo, el vaso fue desconectado del condensador, se dejó enfriar y luego se filtró a través de un crisol, que contenía una capa de lana de vidrio previamente tarada.

$$\%F = \left\{ \frac{P_1 - P}{m} \right\} * 100$$

Donde:

%F = Fibra cruda en porcentaje en masa.

P1= masa del crisol con el residuo desecado en (g).

P= masa del crisol junto con la ceniza en (g).

m= masa de la muestra luego de secar (g).

### Proteína: Método Kjeldahl

Se pesaron 0.5 g de almidón en un tubo de digestión del equipo Kjeldahl. A continuación, se añadieron 2 g de mezcla catalizadora (1.8 g de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 0.2 g de CuSO<sub>4</sub>) y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) al tubo. El tubo fue colocado en el equipo Kjeldahl, donde se encendió el sistema. Una vez alcanzado el tiempo establecido en el proceso, se apagó el equipo y se dejó enfriar el tubo de digestión. Tras enfriarse, se retiró el tubo del equipo y se le añadieron 25 ml de agua destilada. Posteriormente, el tubo fue colocado en un destilador. En la parte derecha del destilador, se colocó un Erlenmeyer de 500 ml con 50 ml de ácido bórico al 4%, al que se agregaron dos gotas de indicadores: rojo de metilo y verde de bromocresol. El color de la solución se tornó verde esmeralda, lo que indicó que el amoníaco fue capturado. Finalmente, se tituló el destilado con una solución de HCl 0.1 N hasta que el color de la mezcla cambió a rojo, indicando el final de la titulación con los datos calculamos el porcentaje de contenido de proteína con la siguiente ecuación:

$$\%P = 1.4 * f * V * \frac{N}{m}$$

%P= Contenido de proteína

f= factor para transformar el % N2 en proteína (específico del alimento)

V= Volumen del HCl empleado en la titulación

N= Normalidad del HCl (ml)

m= Masa (g) Determinación de la formulación del recubrimiento biodegradable.

Las formulaciones evaluadas en este estudio consisten en tres tratamientos diferentes para la elaboración de recubrimientos biodegradables a base de almidón de maíz, almidón de yuca y Agar-Agar, con el objetivo de conservar productos cárnicos. En todos los tratamientos, el Agar-Agar actúa como agente gelificante, proporcionando estabilidad a los recubrimientos y permitiendo su formación en película para la conservación de los productos cárnicos Tabla 1.

**Tabla 1. Determinación de la formulación del recubrimiento con diferentes concentraciones de almidón.**

FORMULACIÓN	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Almidón de maíz	50%	75%	25%

**APLICACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO BIODEGRADABLE A BASE DE ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*) Y MAÍZ (*Zea mays L.*) EN LA CONSERVACIÓN DE CARNE DE RES.**

Almidón de yuca	50%	25%	75%
Agar-Agar	0,5 g	0,5 g	0,5 g
Agua Destilada	250 ml	250 ml	250 ml

### Pruebas físicas

Espesor: La medición se realizó con un micrómetro digital 2781, un total de 10 veces entre superficies lisas y rugosas, a continuación, se calculó un promedio entre las mismas.

### Pruebas mecánicas

Fuerza de tracción: Para este procedimiento se recortó películas de 2 cm de ancho x 5 cm de largo situándolas en una máquina universal marca Metrotec modelo MTE-50 aplicando una fuerza de 200 N y velocidad de 5 mm min<sup>-1</sup> (10).

### Pruebas ópticas

Análisis FTIR:

La espectroscopía Infrarroja por la Transformada de Fourier (FTIR) es una técnica empleada para obtener la huella dactilar molecular que absorbe la onda infrarroja de acuerdo con los enlaces químicos y estructurales, proporcionando información de la estructura específica de biomoléculas como lípidos, proteínas, carbohidratos y ácidos nucleicos, a través de una serie de bandas identificables de grupos funcionales en la región electromagnética del infrarrojo medio (11).

### Pruebas microbiológicas

Para las pruebas microbiológicas aplicamos el recubrimiento en los filetes de carne de res y dejamos reposar en un periodo de 24 horas a una temperatura de 4°C, simulando la vida de anaquel a la que están los filetes de carne de res. Las pruebas se aplicaron a los microorganismos Aerobios mesófilos UFC/ml según la NTE INEN 1529-5 y *E. coli* UFC/ml de acuerdo con la NTE INEN 1529-8.

## RESULTADOS

Rendimiento de los almidones

**Tabla 2. Resultados del rendimiento de los almidones obtenidos**

	PESO INICIAL	PESO DEL ALMIDÓN	RENDIMIENTO %
YUCA	1663.69 g	865,118 g	51,99%

MAÍZ	1289,96 g	604,60 g	46,86%
------	-----------	----------	--------

### Parámetros fisicoquímicos

Los resultados de los análisis fisicoquímicos se muestran en la tabla 3, donde se expresan los datos obtenidos en el análisis de humedad, temperatura de gelificación, pH, solubilidad, cenizas, fibra y proteína de los almidones (yuca y maíz) respectivamente.

**Tabla 3. Resultados de los parámetros fisicoquímicos aplicados a los dos tipos de almidón**

	Humedad %	Temperatura de gelificación	pH	Solubilidad %	Cenizas %	Fibra %	Proteína %
Yuca	9,13 ± 0,81	75°C ± 2	4,14 ± 0,07	3 ± 0,015	1,84	0,53	0,49
Maíz	7,63 ± 0,44	60°C ± 2	5,20 ± 0,25	0,93 ± 0,033	1,6	3,68	1,7

### Elaboración del recubrimiento biodegradable

Para la elaboración del recubrimiento utilizamos tres formulaciones (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>) en concentración de almidone, para cada tratamiento, se disolvió 0,5 g de Agar-Agar en 50 ml de agua destilada precalentada a 60°C para su dilución. Por otro lado (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>) se disolvieron en 200 ml de agua destilada respectivamente a baño maría hasta llegar a una temperatura de 65°C en la cual inició el proceso de gelificación, este proceso se realiza con el fin de remover burbujas las cuales pueden afectar la calidad final del recubrimiento (12) y se agregó la dilución de Agar-Agar. Se agregó a cada una de las mezclas en una lata de aluminio y lo colocamos en una estufa a una temperatura de 65°C durante 5 horas.

### Pruebas físicas.

**Tabla 4. Parámetros físicos aplicados a las tres concentraciones.**

	Espesor
T1 50/50	9 ± 1,5 μm
T2 75/25	10 ± 1 μm
T3 25/75	9 ± 1 μm

### Prueba mecánica.

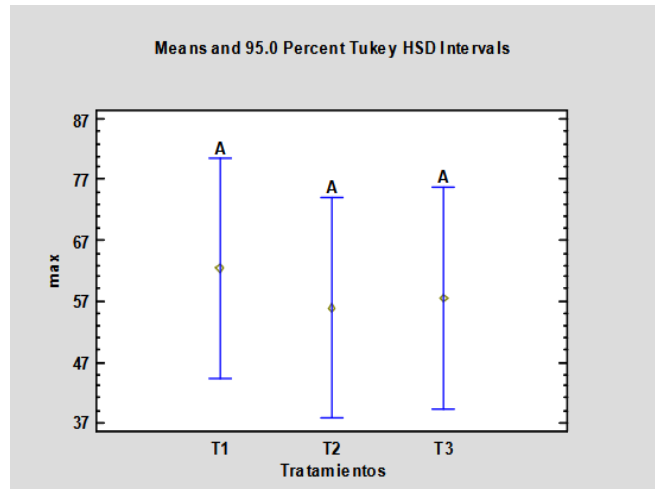


Figura 1. Fuerza de Tracción máxima de los tratamientos 1, 2 y 3.

En la Figura 1 se muestra el máximo medio para cada nivel de Tratamientos. También muestra un intervalo alrededor de cada media. Los resultados que se muestran actualmente se basan en el procedimiento de diferencias honestamente significativas (HSD) de Tukey. Están contruidos de manera que, si todas las medias son iguales, todos los intervalos se superpondrán el 95,0% del tiempo. En la cual (T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>) no tienen diferencia significativa a T<sub>1</sub>.

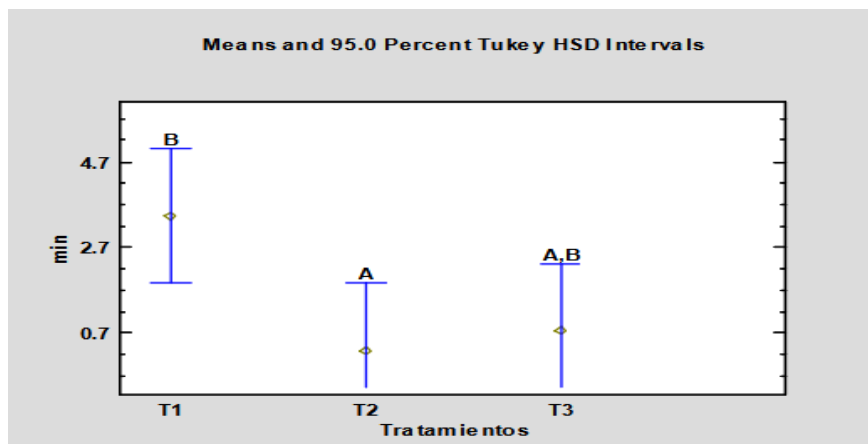


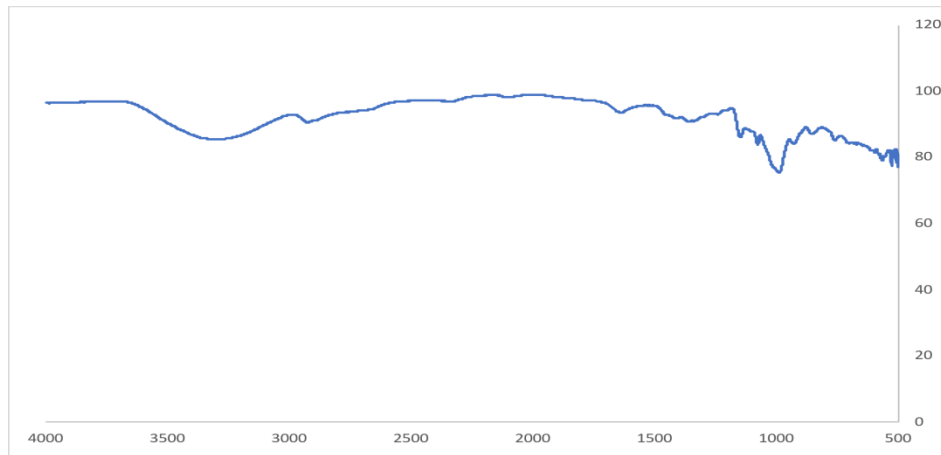
Figura 2. Fuerza de Tracción mínima de los tratamientos 1, 2 y 3.

En la Figura 2 se puede observar la media mínima para cada nivel de Tratamientos. También muestra un intervalo alrededor de cada media. los intervalos.

Los resultados que se muestran actualmente se basan en el procedimiento de diferencias significativas (HSD) de Tukey. Están contruidos de tal manera de que, si todas las medias son iguales, todos los intervalos se superpondrán el 95% del tiempo. Donde existe diferencia significativa entre T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>.

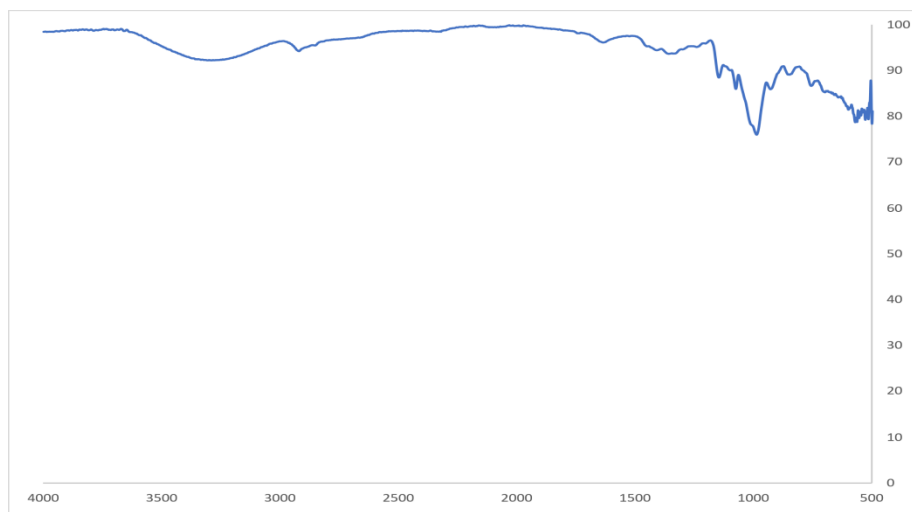
### Pruebas ópticas FTIR.

Para determinar los grupos funcionales que componen cada uno de los tratamientos desarrollados utilizamos la espectrofotometría de Fourier FTIR obteniendo así la representación de los datos en las graficas 1, 2 y 3 respectivamente.



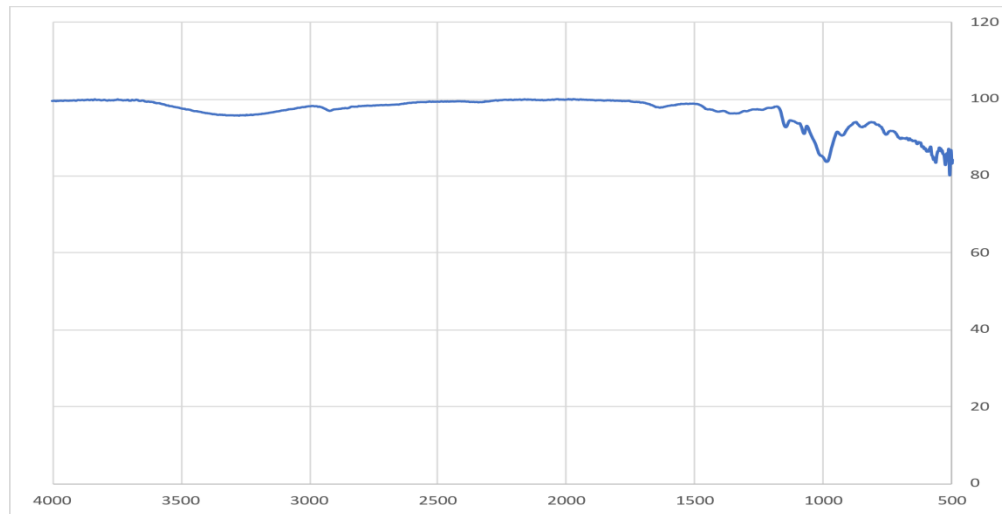
**Figura 3. Espectro de absorción infrarroja de la transformada de Fourier en el recubrimiento biodegradable T1 (50/50 almidón de maíz y yuca).**

En la Figura 3 se puede observar la transformada de Fourier en relación al espectro infrarrojo del número de honda y la absorbancia del recubrimiento elaborado a partir de 50% de almidón de yuca y 50% de almidón de maíz.



**Figura 4. Espectro de absorción infrarroja de transformación de Fourier en el recubrimiento biodegradable T2 (75/25 almidón de maíz y yuca).**

En la Figura 4 se puede observar la transformada de Fourier en relación al espectro infrarrojo del número de honda y la absorbancia del recubrimiento elaborado a partir de 75% de almidón de yuca y 25% de almidón de maíz.



**Figura 5. Espectro de absorción infrarroja de transformación de Fourier en el recubrimiento biodegradable T3 (25/75 almidón de maíz y yuca).**

En la Figura 5 se puede observar la transformada de Fourier en relación al espectro infrarrojo del número de onda y la absorbancia del recubrimiento elaborado a partir de 25% de almidón de yuca y 75% de almidón de maíz.

Como se puede observar en las Figuras 3, 4 y 5 respectivamente, el análisis estructural realizado por absorción infrarroja sugiere una conformación muy cercana entre todas las biopelículas analizadas. La región de 4000-2500  $\text{cm}^{-1}$  corresponden a las bandas que aparecen en esta región y se encuentran relacionadas con enlaces de estiramiento de O-H, C-H y N-H. El enlace O-H del agua, genera una banda muy amplia y alta se encuentra entre 3500 y 3200  $\text{cm}^{-1}$ . Así mismo, entre la región 2000-1500  $\text{cm}^{-1}$  podemos encontrar un enlace covalente entre el carbono y el nitrógeno C=N con una banda no muy intensa, entre el rango 1750–1735  $\text{cm}^{-1}$  encontramos esteres C=O doble enlace covalente polar que une un átomo de carbono con un átomo de oxígeno, además de encontrar C-O entre 1260-1000  $\text{cm}^{-1}$  con una banda medianamente débil y en  $\sim 720$  ubicamos una banda débil de  $\text{CH}_2$ (metileno).

### Pruebas microbiológicas.

**Tabla 5. Resultados de las pruebas microbiológicas aplicadas a los filetes de carne después de la aplicación del recubrimiento.**

	C1 (50% maíz-50% yuca)	C2 (75% maíz-25% yuca)	C3 (25% maíz-75% yuca)	M	MÉTODO DE ENSAYO
<i>Aerobios mesófilos</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	$5,0 \times 10^5$	NTE INEN 1529-5
<i>Escherichia coli.</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	<10	NTE INEN 1529-8

Donde:

m= nivel de aceptación

## DISCUSIÓN

El almidón como materia prima tiene un amplio campo de aplicación debido a que este es el polisacárido más utilizado como espesante, estabilizante y gelificante, además, de ser empleado en la industria manufacturera de papel, adhesivos y empaques biodegradables (13).

El almidón de yuca proviene de la raíz de la planta de yuca y está compuesto principalmente por dos componentes: amilosa y amilopectina. En el caso de la yuca, la amilopectina es la predominante, representando alrededor del 80% del total, en cambio la amilosa representa el 25% en el almidón (14). La Tabla 1, revela que se obtuvo un rendimiento del 51,99 y 46,86 % del almidón de yuca y maíz respectivamente. Según (15) la obtención del almidón de yuca a partir del proceso de extracción artesanal resultó eficiente con relación a los procesos a escala industrial, presentando un rendimiento medio de 56,84%. Del mismo modo, (16) menciona que la determinación del método húmedo para la extracción del almidón del maíz fue de 27,31%, siendo esta menos a la obtenida en el presente estudio, esto se debe al tipo de grano empleado en la investigación.

Al analizar los resultados fisicoquímicos representados en la *tabla 3*, se puede mencionar que el porcentaje de humedad del almidón de yuca varía entre  $9,13 \pm 0,81$ . En relación con la temperatura de gelificación del almidón de la yuca es de  $75^{\circ}\text{C} \pm 2$ , lo que significa que posee la capacidad de gelatinización, por lo tanto, los gránulos de almidón se descomponen a polímeros lineales a temperaturas mayores a  $70^{\circ}\text{C}$  dando como resultado la formación de una pasta con propiedades coloidales específicas (17). Por otro lado, el pH de la yuca es  $4,14 \pm 0,07$ , lo que la hace ligeramente ácida. En términos de solubilidad, la yuca presenta el 3 %, lo que sugiere que una proporción significativa de sus componentes solubles puede disolverse en agua. Es necesario, resaltar que el contenido proteico es bajo de 0,49 % (18).

Así mismo, el almidón de maíz obtuvo un porcentaje de humedad de 7,63 % y un pH de la muestra es  $5,20 \pm 0,25$ , lo que lo coloca en un rango ligeramente alcalino. En cuanto a su solubilidad, el maíz tiene un  $0,93 \pm 0,033$  %, lo que indica una capacidad de disolución en agua menor que la de la yuca. El contenido de cenizas es de 1,6 %, lo que refleja un nivel moderado de minerales presentes. El contenido de fibra en el maíz es de 3,68 %, lo que lo convierte en una fuente importante de fibra. Finalmente, el contenido proteico es de 1,7%, lo que lo convierte en una fuente significativa de proteínas en comparación con la yuca (19).

En la Tabla 4 se puede observar los datos obtenidos en relación con las pruebas físicas y mecánicas realizadas a los recubrimientos, con respecto al espesor de las concentraciones ( $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$ ). El tratamiento C1 obtuvo una variación promedio de  $1,5 \mu\text{m}$  a diferencia de  $T_2$  y  $T_3$ . De acuerdo con la Norma 2636 (2012), menciona que las láminas delgadas o películas son aquellas que tienen un espesor inferior a 0,25 mm, por lo que todas las formulaciones cumplen con el espesor adecuado (10).

En el caso de las *figuras 3, 4 y 5* se puede resaltar la existencia de enlaces covalentes como O-H, C-H y N-H que se produce en el almidón, además de presentar un enlace C=N y encontrar presencia de esteres C=O. Según (20) la esterificación es una reacción en la que se da un ataque nucleofílico del oxígeno de la molécula que contiene el grupo OH al carbono insaturado que contiene el grupo carboxílico. Además, necesita de un catalizador como lo es el NaOH que se encarga de aumentar la carga parcial positiva sobre el átomo de carbono (actividad carbonílica) por protonación de uno de los oxígenos del agente con el grupo carboxílico, dando como producto un enlace éster y una molécula de agua. En cambio, la banda encontrada en ~720 de CH<sub>2</sub>(metileno) puede relacionarse con una flexión de agua (21). Las pruebas microbiológicas realizadas a los filetes de carne después de la aplicación del recubrimiento podemos observar los resultados en la Tabla 5, en la cual los diferentes recubrimientos se encuentran dentro del rango de aceptación con respecto a la norma NTE INEN 1338:2012 sobre los requisitos para productos cárnicos crudos, curados, madurados, precocidos y cocidos.

## CONCLUSIONES

Los recubrimientos biodegradables a base de almidón tienen diferentes propiedades dependiendo de la fuente de la que fueron extraído. En este trabajo se analizan recubrimientos desarrolladas a partir de los yuca y maíz en diferentes concentraciones. Se comparan propiedades físicas, mecánicas, absorción óptica de infrarrojos y microbiológicas.

Descubrimos que T<sub>2</sub> (75/25 almidón de maíz y yuca) inhibe el crecimiento microbiano significativamente aparte de cumplir con los requisitos microbiológicos establecidos por la norma NTE INEN 1338:2012 sobre los requisitos para productos cárnicos crudos, curados, madurados, precocidos y cocidos. Además de tener características optimas en pruebas físicas y mecánicas. Por lo tanto, este recubrimiento a base de almidón de maíz 75% y yuca 25% se propone como una matriz potencial para sustituir los recubrimientos no degradables y ayudar a mejorar el medio ambiente y reducir los desechos que estos producen.

Después del análisis FTIR (Espectroscopía de la transformada de Fourier) se puede determinar la presencia de grupos funcionales importantes en los recubrimientos como la existencia de enlaces covalentes, presencia de esterificación y agua como compuesto de la elaboración.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IICA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología). Manejo agronómico del cultivo de yuca (*Manihot esculenta Crantz*). In: INTA. San José; 2020. p. 59.
2. Saac K. Manejo agronómico del cultivo de yuca (*Manihot esculenta*), en el Ecuador. [Babahoyo]: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO; 2023.
3. Zambrano J, Caviedes M. Estado actual de la producción de maíz en el Ecuador. In: Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, editor. Memorias de la XXIV Reunión Latinoamericana del Maíz 2022. Primera. Cajamarca, Perú; 2022. p. 22.

4. Daniloski D, Petkoska AT, Galić K, Šćetar M, Kurek M, Vaskoska R, et al. The effect of barrier properties of polymeric films on the shelf-life of vacuum packaged fresh pork meat. *Meat Sci.* 2019 Dec;158:107880.
5. Vera Cuaces AF, Chávez Moreira WL, Carrillo Anchundia BJ. Obtención de polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca. *MQR Investigar.* 2023 Mar 10;7(1):2680–700.
6. Juárez E, Bello L, Rosales O, Evangelista S. Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis. *SciELO.* 2013;47(1).
7. Villarroel P, Gómez C, Vera C, Torres J. Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista chilena de nutrición.* 2018 Sep;45(3):271–8.
8. Olalla W. Desarrollo tecnológico para la elaboración de snacks de maíz (*Zea mays*), quinua (*Chenopodium quinoa*) y haba (*Vicia faba*) nixtamalizados. [Ambato]: Universidad Técnica de Ambato; 2019.
9. Díaz Cuascota CM. Obtención de una biopelícula a partir de yuca amarilla (*Manihot esculenta*) y pepa de aguacate (*Persea americana*) para el uso en alimentos [bachelorThesis]. [Riobamba]: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2021.
10. Gómez F, Jiménez A. Elaboración de películas biodegradables con policaprolactona y almidón celulosa de la cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca*). *Alimentos, Ciencia e Ingeniería.* 2021;28(2):20–35.
11. Mata Miranda MM, Guerrero Robles CI, Rojas López M, Delgado Macuil RJ, González Díaz CA, Sánchez Monroy V, et al. Principal Components by FTIR Spectroscopy as Innovative Characterization Technique during Differentiation of Pluripotent Stem Cells to Pancreatic Cells. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica.* 2017 Jan 15;38(1):225–34.
12. M Enríquez M, Velasco R, Ortiz V. COMPOSICIÓN Y PROCESAMIENTO DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES BASADAS EN ALMIDÓN. *SciELO Colombia.* 2012 Jun;10(1):182–92.
13. Hernández M, Betancour D, Chel L, Torruco J. Caracterização físico-química de amidos de tubérculos cultivados em Yucatán, México. *SciELO Brasil.* 2008 Jul;28(3):718–26.
14. Túquerres J. OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA AMARILLA (*manihot esculenta*) Y PAPA YANA SHUNGO (*solanum andígena*) PARA EL USO EN ALIMENTOS. [Riobamba]: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO; 2021.
15. García O, Pinzón M, Sanchez L. Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot esculenta*, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. *@LIMENTECH CIENCIA Y TECNOLOGÍA ALIMENTARIA.* 2013;11(1):13–21.
16. Maza E, Santiana C, Flores L, Bonilla M. Obtención de almidón de maíz chulpi (*Zea Mays Amylosaccharata*). *Ciencias técnicas y aplicadas Artículo de investigación.* 2021;7(3):943–58.
17. Prieto J, Rubio C, Román AD, Méndez M, González C, Prieto F. Degradación física del almidón de cebada (*Hordeum sativun Jess*). *Correlación entre la gelatinización y el tamaño de gránulos. Redalyc.* 2009 Jun;9(2):115–25.
18. Huacho IF, Rodríguez AI, Brito HL. Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (*Manihot Esculenta Crantz*). *Dominio de las Ciencias.* 2021;7(1):216–32.
19. Ledesma A, Dalgo V, Flores L, Chango G. Bioplásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimenticias biodegradables. *Dominio de las Ciencias.* 2021 Aug;7(4):39–56.

20. León G, Herrera A, Angarita S, Monroy M, León D. Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. AVFT Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica. 2020;39(5):620–6.
21. Pico C, De la Vega J, Tubón I, Arancibia M, Casado S. Nanoscopic Characterization of Starch Biofilms Extracted from the Andean Tubers *Ullucus tuberosus*, *Tropaeolum tuberosum*, *Oxalis tuberosa*, and *Solanum tuberosum*. *Polymers (Basel)*. 2022 Oct 1;14(19):4116.