



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Desarrollo, caracterización y evaluación de una película comestible con base a almidón de yuca (*Manihot esculenta*), sobre criterios de calidad de tomates almacenados al ambiente

Galván Acaro, Dayana Katherine

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

Ing. Larrea Cedeño, Gabriel Alejandro, Mgtr.

14 de febrero del 2023



INTRODUCCIÓN

Antecedentes



Las películas comestibles

Son una o varias capas elaboradas con materiales que pueden ser ingeridos por el consumidor

Aunque, esta tecnología parecería ser nueva, no lo es.

siendo, los hidrocoloides (polisacáridos y proteínas) el grupo más común

Se han investigado varios biopolímeros,

Hay reportes de los siglos XII y XIII.

Justificación



En el año 1950 la población mundial alcanzaba los 3,03 millones de habitantes,

alcanzando los 7,84 millones de habitantes en el 2021

Se debe mejorar la eficiencia en la cadena de suministros

Solo el 10% de los residuos es reciclado

para evitar su pérdida se emplean métodos de conservación, enfocadas en el empaque.

Las pérdidas de alimento alcanzan alrededor de un tercio del total (1,6 millones toneladas/año),

OBJETIVOS

Objetivo General

Desarrollar, caracterizar y evaluar una película comestible con base de almidón de yuca *Manihot esculenta* sobre las características de calidad de tomates almacenados.

Objetivos Específicos

- Obtener y adecuar el almidón de yuca para la formulación de una película comestible con diferentes niveles de albedo cítrico deshidratado.
- Caracterizar las películas comestibles, su funcionalidad como barrera, biodegradabilidad y resistencia mecánica.
- Evaluar el efecto de las películas comestibles formuladas sobre la vida útil de tomate frente a film plástico para alimentos, almacenado durante 12 días a condiciones ambiente.

HIPÓTESIS

Hipótesis Nula

El uso de películas comestibles empleando almidón de yuca con tres niveles de albedo no prolonga la vida útil del tomate Cherry en forma estadísticamente significativa.

Hipótesis De Investigación

El uso de películas comestibles empleando almidón de yuca con tres niveles de albedo prolonga la vida útil del tomate Cherry en forma estadísticamente significativa.

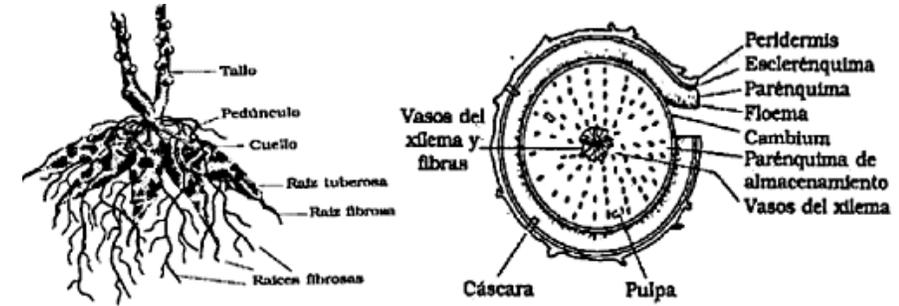
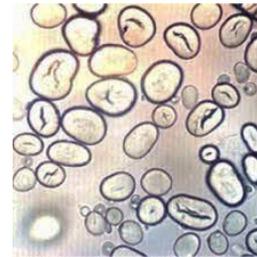
REVISIÓN DE LITERATURA

Yuca (*Manihot esculenta*)

- ❑ Pertenece a la familia *Euphorbiaceae*, originaria de Mesoamérica.
- ❑ En Ecuador ocupa el puesto 16 entre los principales cultivos.
- ❑ En las raíces se distinguen tres zonas: la cáscara, la pulpa y las fibras centrales.

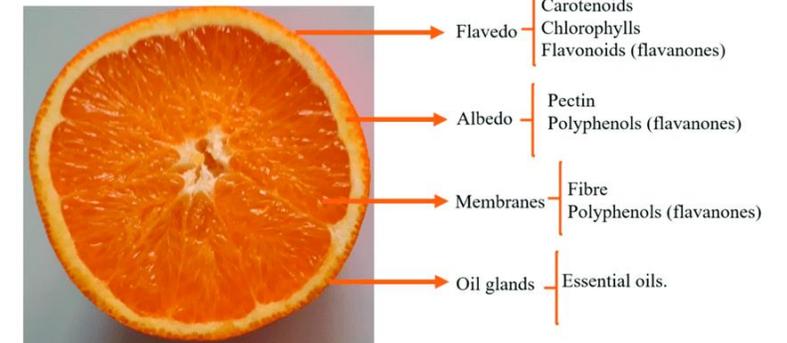
Almidón

- ❖ Polímero compuesto por residuos de glucosa, para formar amilosa y amilopectina.
- ❖ En la planta es la reserva de nutrientes y en el ser humano proporciona energía.
- ❖ El almidón de yuca es la materia prima en varias industrias, pero en la industria alimentaria la aplicación de almidón en estado natural es limitado.



Liofilización

Proceso de deshidratación mediante la sublimación del contenido de hielo de los alimentos



Albedo de toronja

- ❑ Pertenece a la familia de las rutáceas.
- ❑ Producido en varios países del mundo por su exótico sabor
- ❑ El fruto posee dos zonas bien diferenciadas, la parte carnosa o endocarpo y el pericarpo o corteza.

Tomate cherry

- ❖ Pertenece a la familia *Solanaceae*, endémico de Sudamérica.
- ❖ Semejante a una cereza, por su tamaño, color y sabor, posee un diámetro entre 1 cm y 3 cm, pesa entre 10 y 15 g y es menos ácido que el tomate tradicional
- ❖ Son frutos climatéricos, incrementan del ritmo respiratorio y la síntesis de etileno, luego de su cosecha.



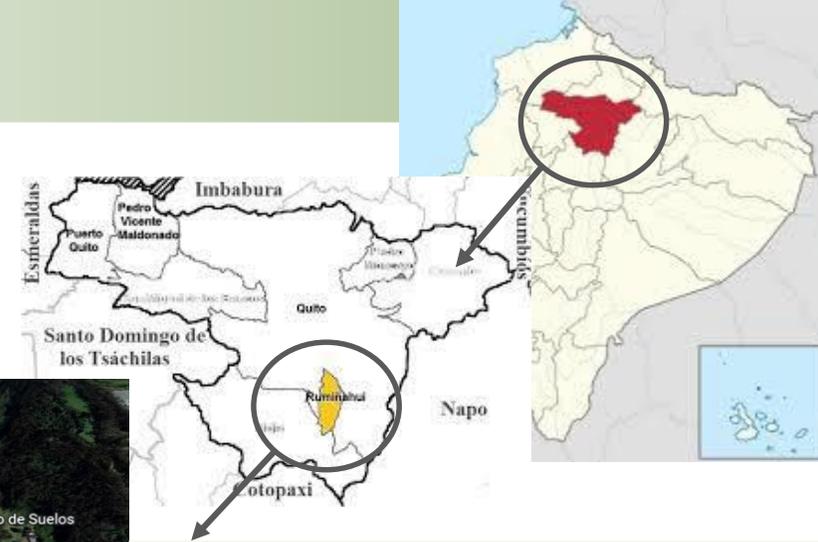
METODOLOGÍA

Ubicación del área de investigación

La investigación se desarrolló en la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” en el campus de la Carrera Agropecuaria IASA 1. El ensayo se llevó a cabo en el laboratorio de postcosecha y los análisis en el laboratorio de suelos, aguas y foliares.

Laboratorio

Temperatura media: $15^{\circ}\text{C} \pm 1$



Exterior

Temperatura media anual: $13,96^{\circ}\text{C}$

Humedad media anual: 67,91%

Obtención de materia prima



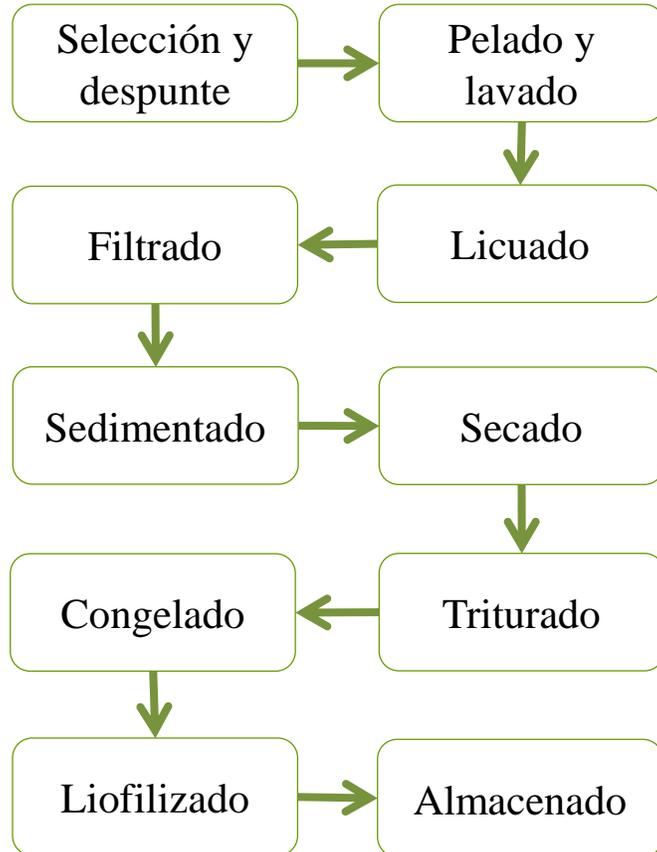
Yuca negra y toronjas fueron adquiridas en mercados aledaños a la zona, Sangolquí.



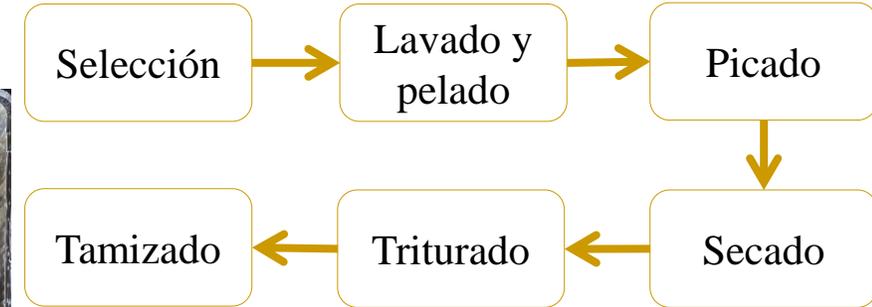
Los tomates Cherry de la variedad *Sweet Heaven* se adquirieron de la empresa “Agrícola Juval”, en la parroquia Checa.

METODOLOGÍA

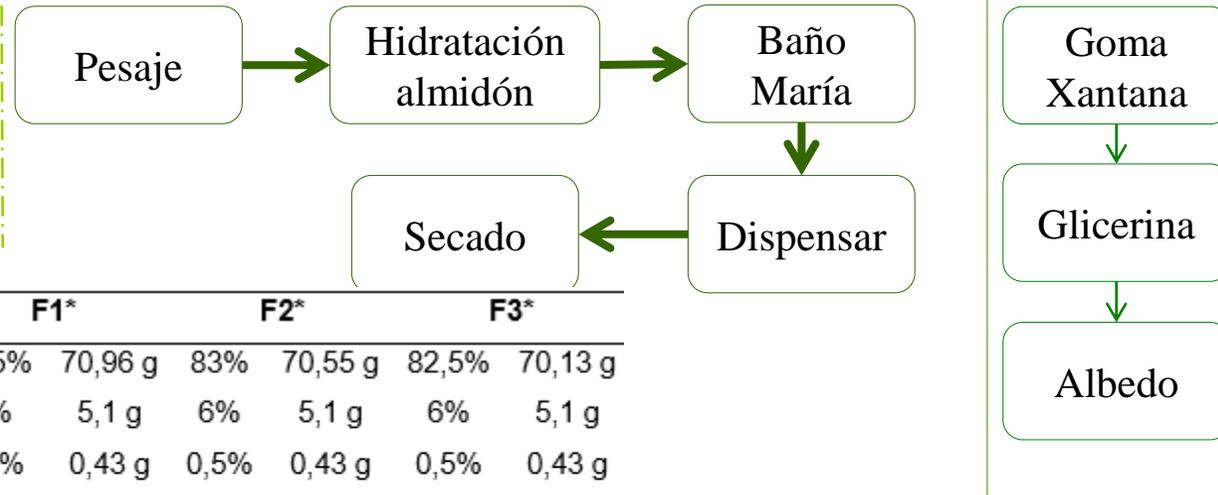
Extracción y modificación del almidón



Obtención de albedo cítrico



Elaboración de las películas



| Ingrediente | F1* | | F2* | | F3* | |
|--------------|-------|---------|------|---------|-------|---------|
| Agua | 83,5% | 70,96 g | 83% | 70,55 g | 82,5% | 70,13 g |
| Almidón | 6% | 5,1 g | 6% | 5,1 g | 6% | 5,1 g |
| Goma Xantana | 0,5% | 0,43 g | 0,5% | 0,43 g | 0,5% | 0,43 g |
| Glicerina | 10% | 8,5 g | 10% | 8,5 g | 10% | 8,5 g |
| Albedo | 0% | 0 g | 0,5% | 0,43 g | 1% | 0,85 g |
| Total (%) | 100 | 85 g | 100 | 85 g | 100 | 85 g |

METODOLOGÍA

Caracterización de las películas

Espesor (mm)

Muestras de 1cm x 1cm
Micrómetro digital (H10578)

Porcentaje de humedad (%H)

Muestras de 2cm x 2cm.
Secado a 85°C y 90°C

$$\%H = \frac{(M0 - M1)}{M0} \times 100$$

Porcentaje de solubilidad (%S)

Empleando muestras de 2cm x 2cm,
previamente secas.
Baño María a 25°C por 24 horas

$$\%S = \frac{(M1 - M2)}{M1} \times 100$$

Porcentaje de elasticidad (%E)

Método subjetivo
Muestras de 6 cm x 1,5 cm.

$$\%E = \frac{(L_f - L_i)}{L_i} \times 100$$

Biodegradación

Ensayo con suelo de la zona
Muestras de 2cm x 2cm.
Evaluación visual a los 3, 6 y 9 días

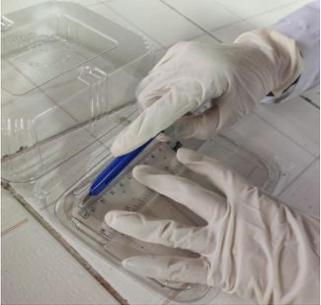
Variación de peso en el tiempo

Muestras de 2cm x 2cm
Toma de peso de manera progresiva
hasta alcanzar 12 días.

METODOLOGÍA

Establecimiento del ensayo con tomates

Adaptación de las tarrinas



Tomates



Desinfección



Colocación de cubierta



Pesaje



Ubicación



Efecto de la cubierta sobre las propiedades de los tomates

Sólidos solubles °Brix

Trituración de tomates de cada uno de los tratamientos

Refractómetro digital (Atago)

Acidez titulable (% ácido cítrico)

25 gr de tomate licuado con 250 ml de agua destilada

$V_2 = 25$ ml jugo

$$AT = \frac{V_1 \times N \times K}{V_2} \times 100$$

Porcentaje de pérdida de peso (%PP) y tiempo de vida útil (t)

Toma de pesos cada dos días.

$$\% PP = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100$$

$$t = \frac{\ln(A) - \ln(A_0)}{k}$$

METODOLOGÍA

Efecto de la cubierta sobre las propiedades de los tomates

Firmeza

| N° | Clase | Resistencia a la compresión por dedos | Características de las tajadas |
|----|--------------|---|---|
| 5 | Extraduro | Frutos que no ceden a una considerable presión. | No hay pérdidas de jugo ni semillas cuando son cortadas. |
| 4 | Duro | Frutos que ceden solo suavemente a una considerable presión | No hay pérdidas de jugo ni semillas cuando son cortadas. |
| 3 | Firme | Frutos que ceden suavemente a una moderada presión. | Cuando se cortan se pierden unas pocas gotas de jugo y/o semillas. |
| 2 | Blando | Frutos que ceden fácilmente a una suave presión. | Pérdida de jugo y/o semillas cuando se cortan. |
| 1 | Extra blando | Frutos que ceden muy fácilmente a una suave presión. | La mayor parte del jugo y las semillas se pierden cuando se cortan. |

Nota. Tomado y adaptado de los autores: Rivero, *et al.* (2013)

Daños visibles

| Escala | % del producto afectado |
|--------|-------------------------|
| 1 | 0 |
| 2 | 10 - 40 |
| 3 | 40 - 70 |
| 4 | 70 - 100 |

Escalas utilizadas para la evaluación sensorial de los tomates

Cuadros marcados indican las cualidades iniciales de los tomates previo a realizar el ensayo

METODOLOGÍA

Efecto de la cubierta sobre las propiedades de los tomates

Apariencia

| Escala | Descripción |
|--------|--------------------------|
| 1 | No aceptable |
| 2 | Medianamente aceptable |
| 3 | Aceptable comercialmente |
| 4 | Bueno |
| 5 | Excelente |

Nota. Autor: Zambrano y Materano (1999) tomado de Suárez, *et al.* (2009)

Escalas utilizadas para la evaluación sensorial de los tomates

Color

| Escala | Denominación | Descripción |
|--------|--------------|---|
| 1 | Verde maduro | Toda la superficie es verde, que varía de tono verde según el cultivar. |
| 2 | Rompiendo | Se da el inicio de cambio de color verde a amarillo, rosado o rojo en no más del 10% de la superficie del fruto. |
| 3 | Pintón | Entre un 10% a un 30% de la superficie del fruto presenta color amarillo pálido, rosado-rojo, o una combinación de ambos. |
| 4 | Rosado | Entre un 30% a un 60% de la superficie muestra color rosado o rojo. |
| 5 | Rojo claro | Entre un 60% hasta un 90% de la superficie es de color rojo. |
| 6 | Rojo | Más del 90% de la superficie es de color rojo |

Nota. Tomado de USDA, (s.f.)

Cuadros marcados indican las cualidades iniciales de los tomates previo a realizar el ensayo

METODOLOGÍA

Diseño estadístico

Tipo de diseño

La investigación se desarrolló en base a un Diseño Completamente al Azar (DCA) realizando tres réplicas para cada tratamiento, colocando 10 tomates en cada tarrina.

Factores y niveles

| Factor | Nivel |
|------------------|------------------------------|
| Tipo de cubierta | Papel film |
| | Película 0% de albedo (F1) |
| | Película 0,5% de albedo (F2) |
| | Película 1% de albedo (F3) |

Tratamientos

| Tratamiento | Descripción |
|-------------|--|
| T1 | Tomates con cubierta de plástico film. |
| T2 | Tomates con cubierta de película F1. |
| T3 | Tomates con cubierta de película F2. |
| T4 | Tomates con cubierta de película F3. |

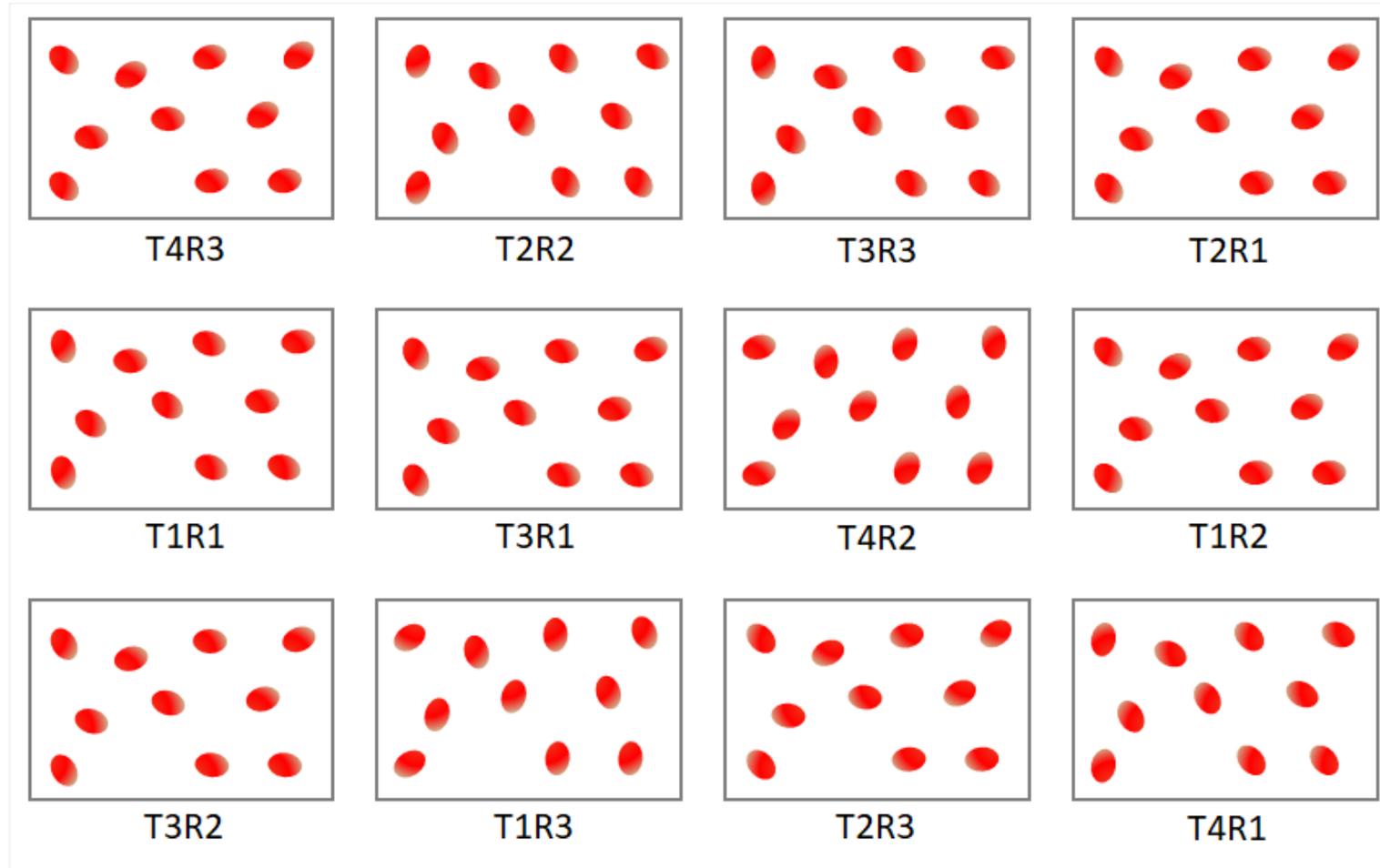
Análisis estadístico

ANOVA con un nivel de significancia $\alpha=0.05$.
Test de comparación mediante el método Duncan ($p<0.05$).
Prueba de Kruskal-Wallis, en variables que no cumplen homocedasticidad y homogeneidad.

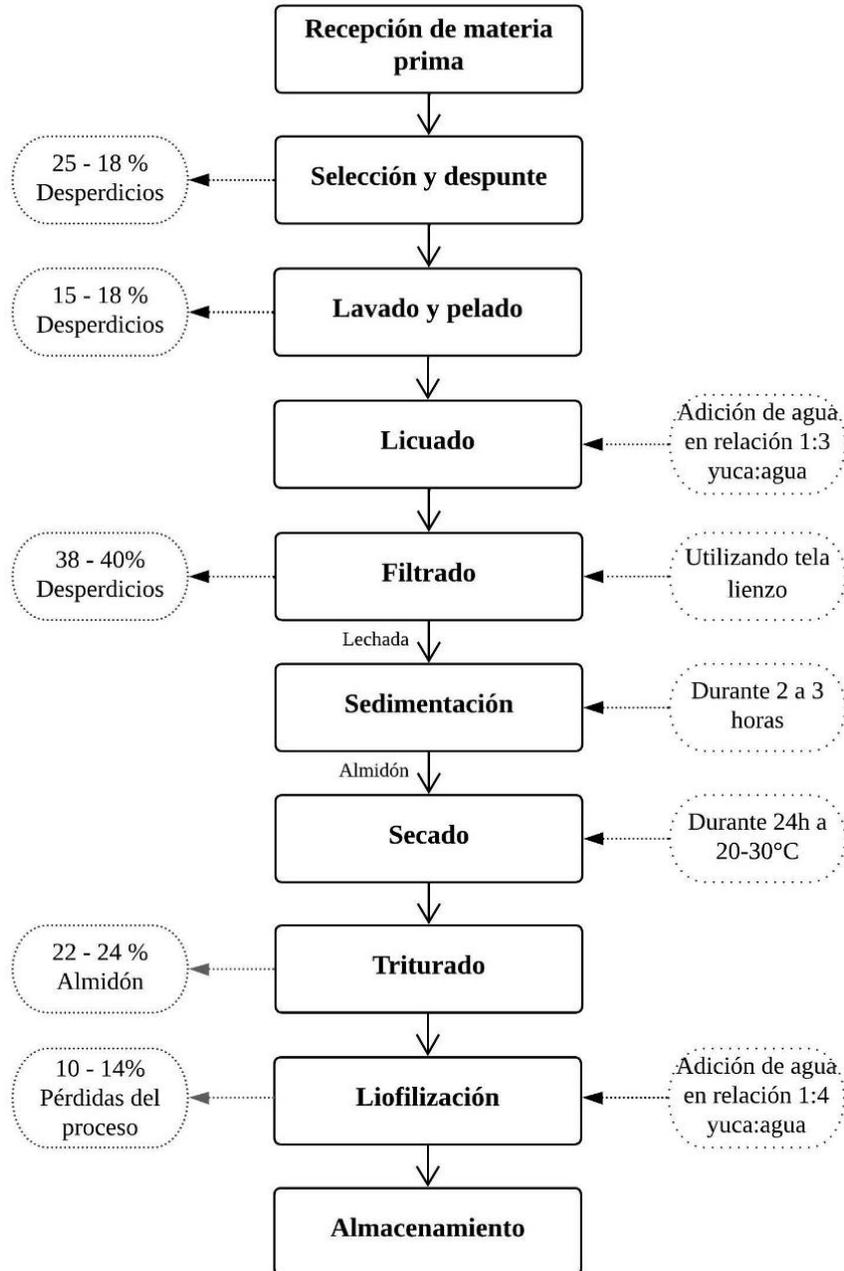
Prueba de dependencia Chi cuadrado en evaluación sensorial.

METODOLOGÍA

Ubicación de los tratamientos



RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Rendimiento en obtención de almidón

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso final (Pf)}}{\text{Peso inicial (Pi)}} \times 100$$

Rendimiento

22-24%

Los porcentajes de rendimiento obtenidos, coinciden con los reportados en otras investigaciones.

Alarcón & Dufour, (1998) obtuvieron un rendimiento del 22,6% **Ramos & Martínez (2016)** del 14% y **García, et al. (2018)** del 18± 2%.

Moreno & Gourджи (2015) explican que la variación en el rendimiento se puede deber a: la variedad empleada, el método de extracción o incremento de agua previo a la cosecha, ocasionando menores rendimientos de almidón.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las películas

Espesor

| Películas | Media \pm D. E | |
|------------------|------------------|---|
| F1 (Albedo 0%) | 0,27 \pm 0,03 | b |
| F2 (Albedo 0,5%) | 0,41 \pm 0,04 | a |
| F3 (Albedo 1%) | 0,42 \pm 0,04 | a |

En películas elaboradas con almidón de yuca se aprecian resultados variados: **Iamareerat, et al. (2018)** 0,29 \pm 0,02 mm, **González, et al. (2016)** 0,20 \pm 0,02 mm, otros ensayos reflejan valores de 0,073 mm **Zhou, et al. (2021)**, 0,08 mm, **Cortés, et al. (2020)**, entre 0,081 mm y 0,094 mm **Adjouman, et al. (2017)**.

Porcentaje de humedad %H

| Películas | Media \pm D. E | |
|------------------|------------------|---|
| F1 (Albedo 0%) | 44,75 \pm 6,64 | a |
| F2 (Albedo 0,5%) | 44,02 \pm 5,96 | a |
| F3 (Albedo 1%) | 38,53 \pm 7,78 | b |

Los resultados en otros ensayos son variados: **Adjouman, et al. (2017)**, obtuvo 16,19 %H en películas con 2% de almidón y 25% de glicerol y 21,76 %H empleando 2% de almidón y 30% de glicerol, **Cortés, et al. (2020)** obtuvo 6,5 %H, con 3% de almidón.

Nota. Valores con diferentes letras difieren estadísticamente ($p < 0,05$)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las películas

Porcentaje de solubilidad %S

| Películas | Media \pm D. E |
|------------------|---------------------|
| F1 (Albedo 0%) | 53,31 \pm 10,79 c |
| F2 (Albedo 0,5%) | 62,66 \pm 11,49 b |
| F3 (Albedo 1%) | 73,83 \pm 14,24 a |

Al emplearse almidones modificados: **Gutiérrez, (2017)** obtuvo 41%S usando almidón modificado con luz pulsada, mientras, al utilizar almidón nativo fue del 38%S; en **Gutiérrez, et al. (2015)** con uso de almidón fosfatado obtuvo 36%S, mientras, con almidón nativo el 24% S.

Haghighi, et al. (2019) Sothornvit & Krochta (2000)

Porcentaje de elasticidad %E

| Películas | Media \pm D. E |
|------------------|----------------------|
| F1 (Albedo 0%) | 328,33 \pm 62,82 a |
| F2 (Albedo 0,5%) | 79,44 \pm 17,78 b |
| F3 (Albedo 1%) | 56,67 \pm 13,06 c |

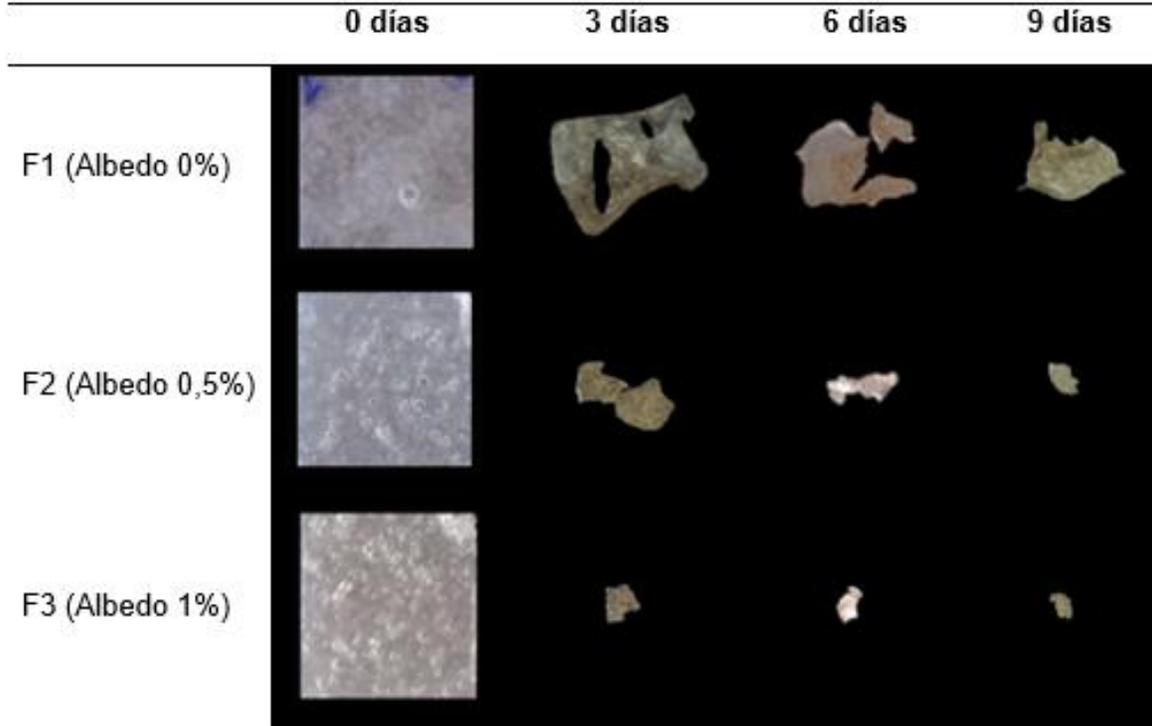
En el trabajo realizado por **Souza, et al. (2012)** los valores fluctúan entre 89,85% y 213,43%. **Iamareerat, et al. (2018)** evidenciaron que al utilizar como base almidón de yuca y añadirle aceite de canela estas aumentan su elasticidad, pasando de 92,38% a 281,06%.

Nota. Valores con diferentes letras difieren estadísticamente ($p < 0,05$)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

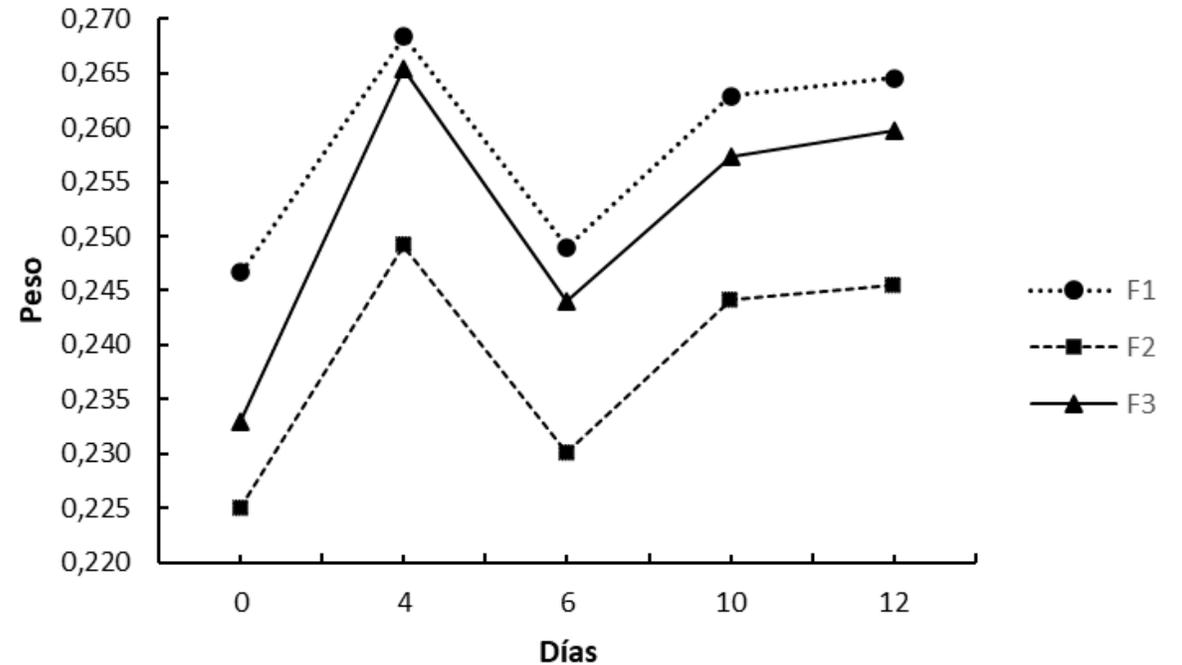
Caracterización de las películas

Biodegradabilidad



González, et al. (2016) explican que en sus películas con almidón de yuca mostraron degradación significativa a los 30 días, presentando cambios de color y presencia de poros a los 6 días.

Variación de peso en el tiempo



Las gráficas del peso de las películas en el tiempo no se ajustaron a ninguna ecuación matemática con R^2 significativo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de las películas sobre las propiedades de los tomates

Sólidos solubles °Brix

| Tratamientos | Media ± D. E | |
|--------------|--------------|---|
| T1 | 7,07 ± 0,21 | a |
| T2 | 6,70 ± 0,20 | b |
| T3 | 6,20 ± 0,10 | c |
| T4 | 6,70 ± 0,10 | b |

Al iniciar el ensayo los tomates presentaban una media de **6,5 °Brix**.

Aguilar (2008) explica que el aumento de sólidos solubles se debe a la evolución de su madurez, en cambio, su reducción se debe por la pérdida de azúcares simples (glucosa-fructosa) en la respiración, **Arias (2000)**.

Acidez titulable (% ácido cítrico)

| Tratamientos | Media ± D. E | |
|--------------|----------------|----|
| T1 | 0,032 ± 0,0012 | ns |
| T2 | 0,032 ± 0,0012 | ns |
| T3 | 0,031 ± 0,0000 | ns |
| T4 | 0,029 ± 0,0017 | ns |

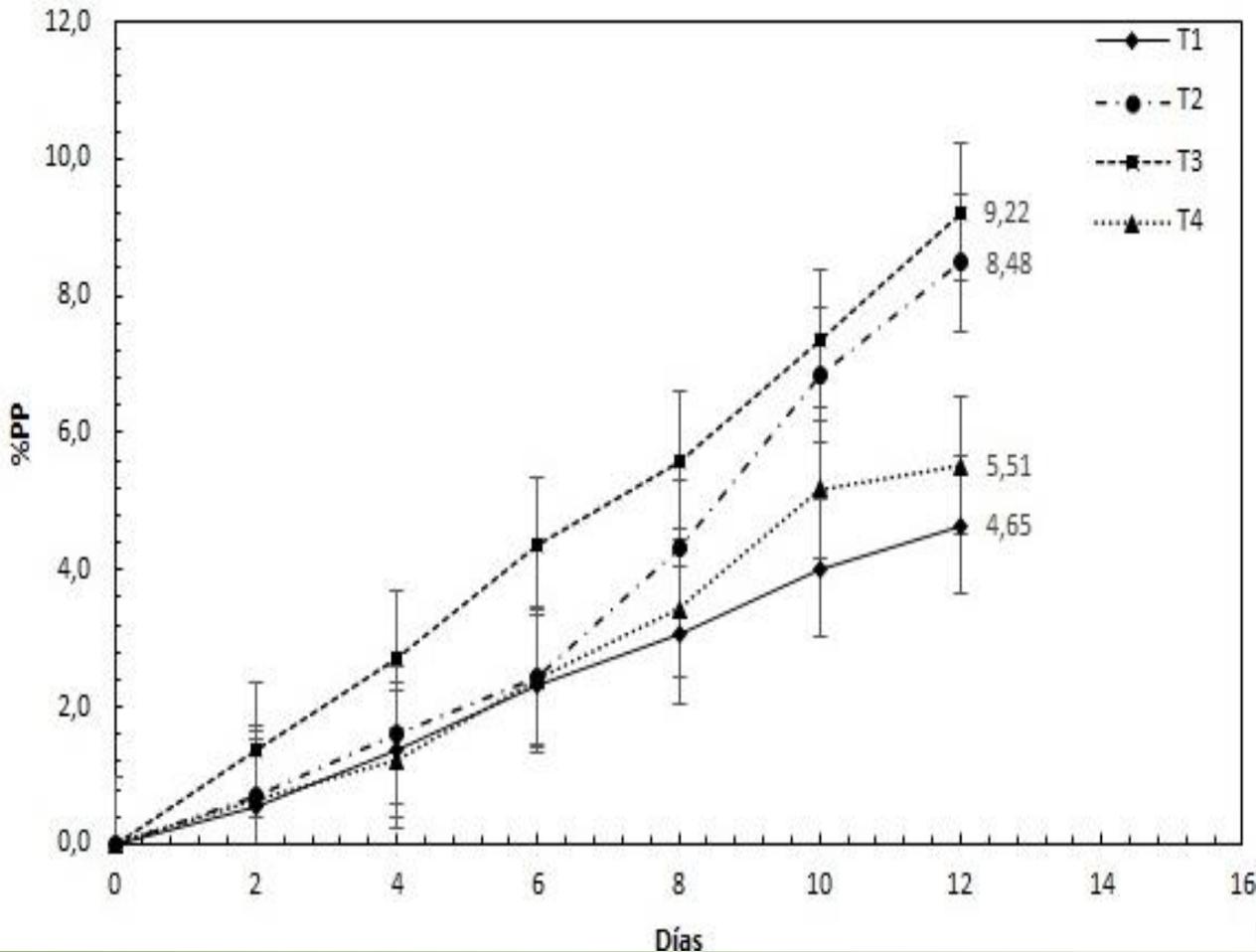
Al iniciar el ensayo, los tomates presentaban una media de **0,10%** de ácido cítrico.

La disminución de ácido cítrico es asociado a la maduración de la fruta, al aumentar la respiración se reduce la acidez; **Ramírez et al. (2013)**.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de las películas sobre las propiedades de los tomates

Porcentaje de pérdida de peso (%PP)



Kader & Saltveit (2003), manifiestan que entre el 3 y 5% de la pérdida de peso postcosecha se explica por la salida de CO₂ de las células, difusión de gases a través de la corteza de la fruta y pérdida de los vapores de agua. Pero, cuando las frutas o verduras llegan a perder más del 5% de su peso, los productos son privados de su frescura, **Robertson (2006)**.

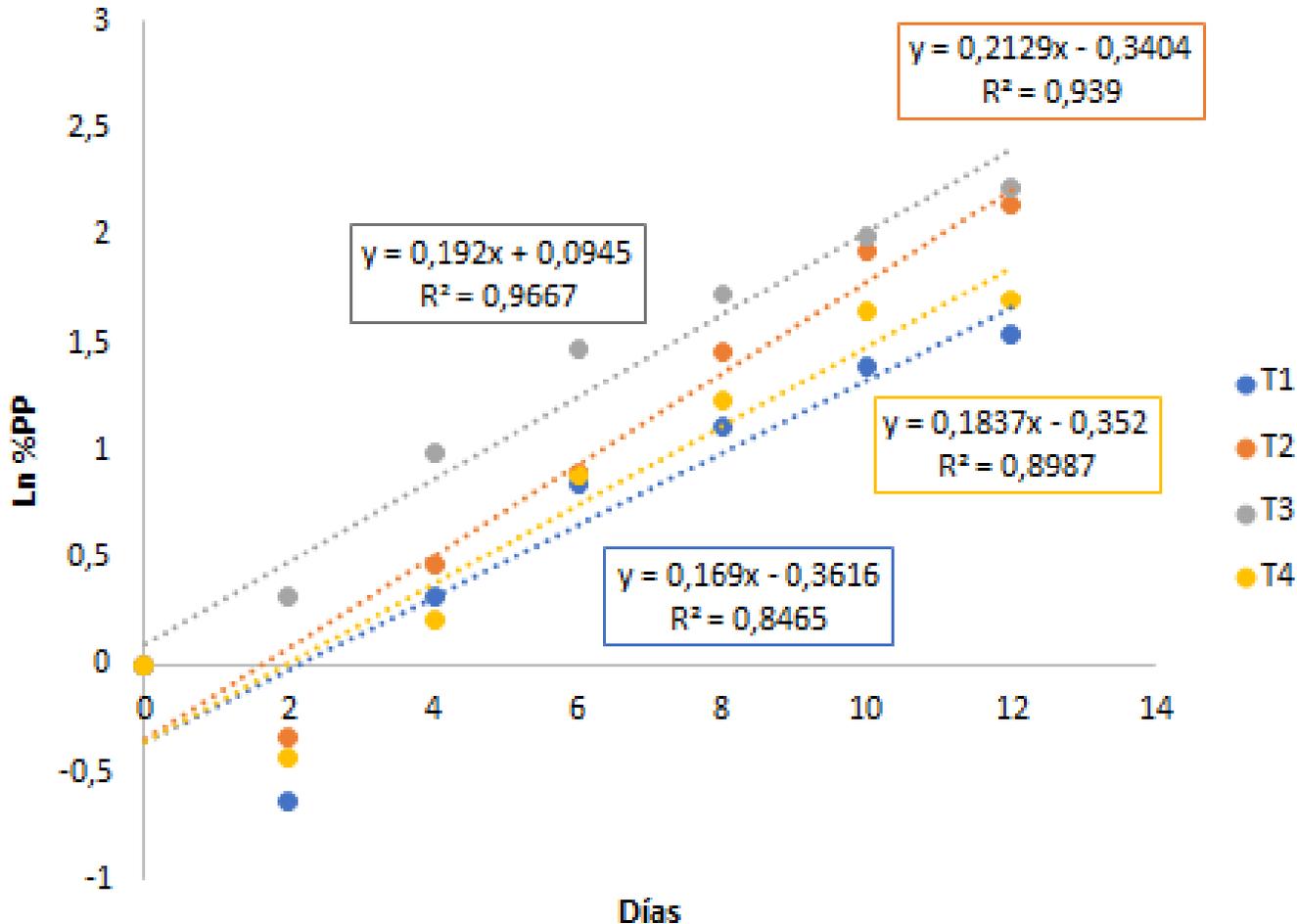
| Tratamientos | Media ± D. E |
|--------------|---------------|
| T1 | 4,65 ± 1,08 a |
| T2 | 8,48 ± 1,24 b |
| T3 | 9,22 ± 1,26 b |
| T4 | 5,51 ± 1,35 a |

Nota. Valores con diferentes letras difieren estadísticamente ($p < 0,05$)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de las películas sobre las propiedades de los tomates

Tiempo de vida útil



$$A = A_0 e^{kt}$$

$$y = 0,2129x - 0,3404$$

$$t = \frac{\ln(A) - \ln(A_0)}{k}$$

$$t = \frac{\ln(9) + 0,3404}{0,2129}$$

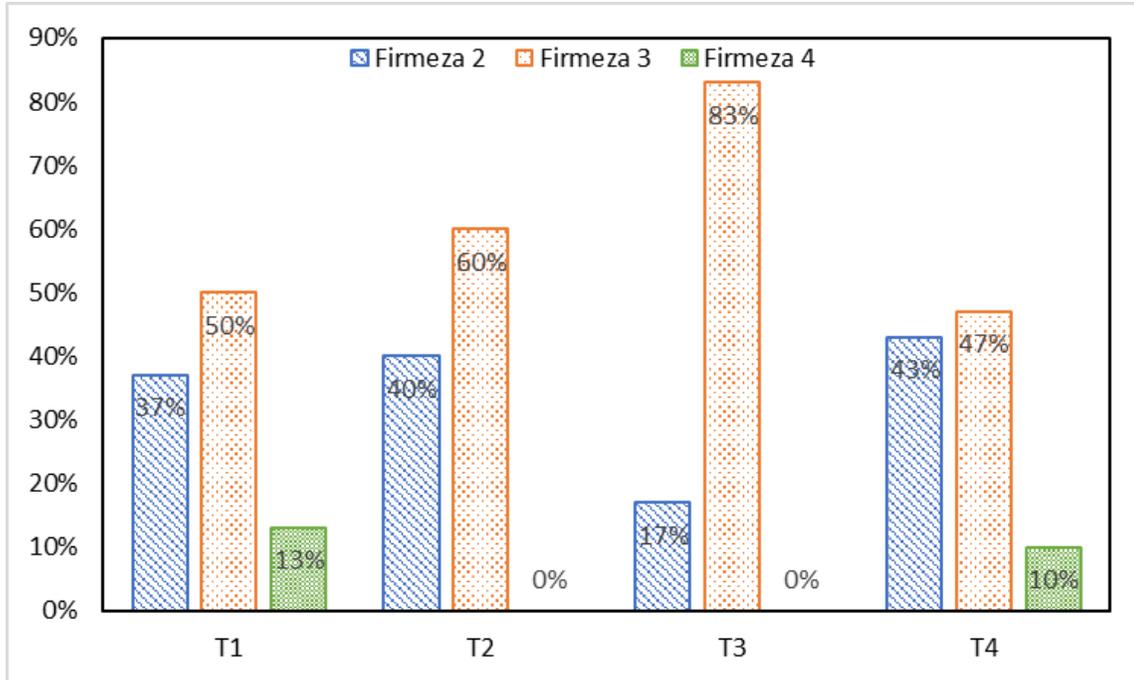
| Tratamiento | T1 | T2 | T3 | T4 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| t (Días) | 15,14 | 11,92 | 10,95 | 13,88 |

Escalona, *et al.* (2019) detallan que en productos gama IV (mínimamente procesados) la vida útil máxima rara vez supera los 7 o 10 días bajo refrigeración, lo cual para esta hortaliza recomienda entre 10 a 12,5°C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

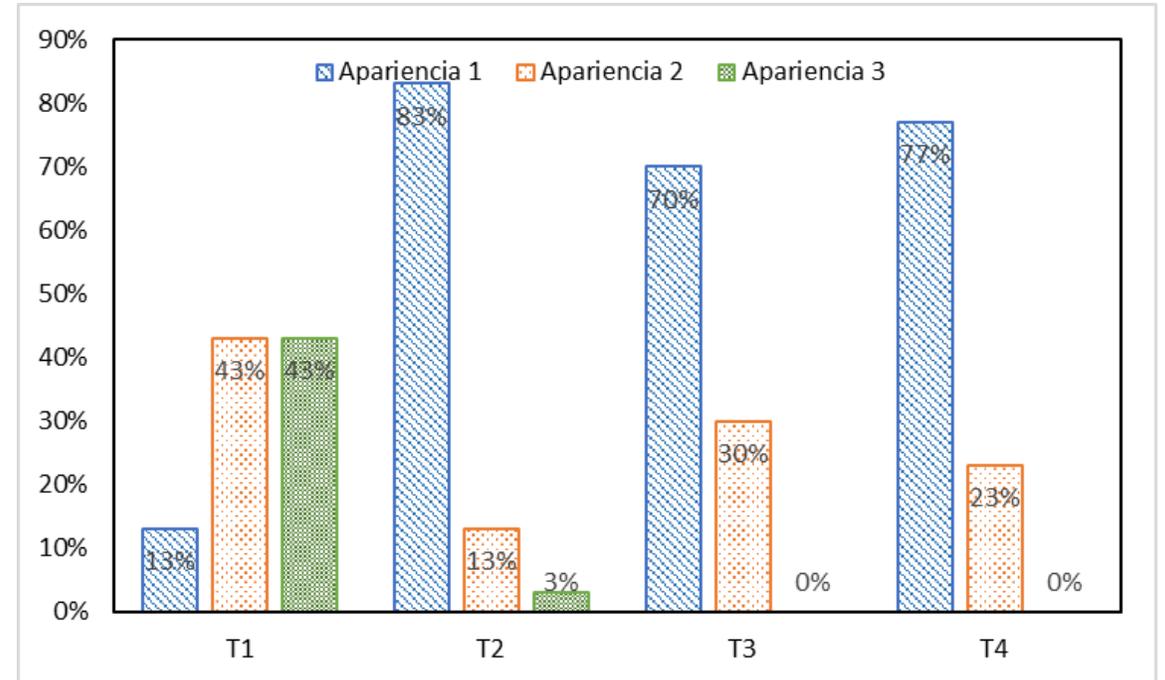
Efecto de las películas sobre las propiedades de los tomates (sensorial)

Firmeza



Firmeza 3 “firme”, Firmeza 2 “blando” y Firmeza 4 “duro”
Al iniciar los tomates se encontraban en firmeza 5 “extraduro”.

Apariencia



Apariencia 1 “no aceptable”, Apariencia 2 “medianamente aceptable” y Apariencia 3 “aceptables comercialmente”
Al iniciar los tomates se encontraban en apariencia 5 “excelente”.

Hubo dependencia significativa en el valor de p para los estadísticos Chi cuadrado de Pearson

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de las películas sobre las propiedades de los tomates (Evaluación sensorial)

Daño visible

| Estadístico | Valor | gl | P |
|----------------------------------|-------|----|---------|
| Chi Cuadrado Pearson | 0,00 | 3 | >0,9999 |
| Chi Cuadrado Mv-G2 | 0,00 | 3 | >0,9999 |
| Coef. Contingencia Cramer | 0,00 | | |
| Coeficiente Contingencia Pearson | 0,00 | | |

Al iniciar los tomates se encontraban en Daño visible 1 “0% de daño”

Color

| Estadístico | Valor | gl | P |
|----------------------------------|-------|----|--------|
| Chi Cuadrado Pearson | 3,51 | 3 | 0,3196 |
| Chi Cuadrado Mv-G2 | 4,67 | 3 | 0,1973 |
| Coef. Contingencia Cramer | 0,12 | | |
| Coeficiente Contingencia Pearson | 0,17 | | |

Al iniciar los tomates se encontraban en Color 4.

No hubo dependencia significativa en el valor de p para los estadísticos Chi cuadrado de Pearson entre la cubierta aplicada y el tipo color obtenido, de igual manera entre la cubierta aplicada y el tipo de daño visible.

Ramos, et al. (2018) manifiesta que cuando las hortalizas y frutas son cosechadas, las células se mantienen activas, además, al ser los tomates frutos climatéricos experimentan alteraciones bioquímicas aceleradas como cambios de olor, color y aumento de azúcares lo cual cambia la apariencia y composición del tomate.

CONCLUSIONES

- En la realización de películas comestibles a base de almidón de yuca, el utilizar almidón modificado por liofilización, permite obtener películas de mejor calidad con características que favorecen su uso y aplicabilidad como cubierta de tomates Cherry. Siendo, la película con contenido de 1% de albedo con mejores características, a la vez, permite mayor tiempo de vida útil entre las películas elaboradas de almidón de yuca.
- En la obtención de almidón de yuca de la variedad negra, se obtuvo un rendimiento aproximado del 24% siendo un buen rendimiento para este producto, a la vez, al ser modificado mediante el proceso de liofilización permite realizar películas comestibles de calidad en conjunto con el albedo de toronja.
- En la caracterización de las películas, la película sin albedo (F1) posee 0,27 mm de espesor, 44,75% de humedad, 53,31% de solubilidad, 328,33% de elasticidad en cambio, la película con 0,5% de albedo (F2) tiene 0,41 mm de espesor, 44,02% de humedad, 62,66% de solubilidad, 79,44% de elasticidad; mientras, la película con 1% de albedo (F3) 0,42 mm de espesor, 38,53% de humedad, 73,83% de solubilidad, 56,67% de elasticidad. En cuanto a la biodegradabilidad, todas las películas mostraron cambios significativos a los 9 días, siendo mayor en las películas con contenido de albedo (F2 y F3), además el cambio de peso en el tiempo de cada película depende de factores ambientales al no ajustarse los valores a alguna ecuación matemática.
- Considerando el 9% de pérdidas máximas para la vida útil del tomate, al utilizar papel film (T1) la vida útil fue de 15 días, empleando la película sin contenido de albedo (T2) la vida útil es de 12 días, en T3 con películas de 0,5% de albedo la vida útil es de 11 días y en T4 con cubierta de película con 1% de albedo vida útil de 14. En cuanto a las propiedades físico químicas no se presentaron diferencias significativas en el porcentaje de ácido cítrico entre los tratamientos, pero, el contenido de sólidos solubles °Brix de los tomates T1 presentaron mayores valores, seguido de T2 y T4.

RECOMENDACIONES

- ✓ Al extraer almidón de yuca, en el proceso de sedimentación no dejar reposar tiempos prolongados, sino, el almidón poseerá cualidades no deseadas. A la vez, secar el almidón adecuadamente para que se mantenga inocuo durante su almacenamiento.
- ✓ En la obtención de harina de albedo de toronja utilizar licuadora para obtener el polvo, ya que, en molino se obtienen fracciones muy grandes.
- ✓ Para obtener películas con características similares al de este trabajo, emplear la composición y procedimiento detallados, además, previo a colocar las bandejas en la estufa, mantener las bandejas durante 4 horas a temperatura ambiente, para evitar el cuarteamiento en las películas.
- ✓ No utilizar mayores porcentajes de albedo a los utilizados en esta investigación, pues, en pruebas previas se observó que, a mayores cantidades, las películas se cuarteán.
- ✓ Evaluar la funcionalidad de estas películas en otros alimentos y con diferentes características de almacenamiento.
- ✓ Realizar pruebas de inhibición microbiológica a las películas ensayadas.



Gracias



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA