

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS
MENCIÓN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



APLICACIÓN DE EXTRACTO DE CABUYA AZUL (*Agave salmiana*) EN EL RECUBRIMIENTO DE FRESAS PARA SU CONSERVACIÓN EN REFRIGERACIÓN

Tesis

Para optar al Grado Académico de
MAESTRO EN INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS
Mención Ingeniería Agroindustrial

Presentado por:

TANIA MARLENI PALACIOS CANO

TINGO MARÍA – PERU

2022



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA
SELVA**
ESCUELA DE POSGRADO
DIRECCIÓN



"Año de la universalización de la salud"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Nro. 018 -2020-EPG-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 11.00 am del día viernes 06 de noviembre del 2020, reunidos en el Aula Virtual Ms TEAMS de la Escuela de Posgrado, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

"APLICACIÓN DE EXTRACTO DE CABUYA AZUL (*Agave salmiana*) EN EL RECUBRIMIENTO DE FRESAS PARA SU CONSERVACIÓN EN REFRIGERACIÓN"

A cargo del candidato al Grado de Maestro En Ingeniería de Alimentos, mención: Ingeniería Agroindustrial: **TANIA MARLENI PALACIOS CANO.**

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **BUENO**

Acto seguido, a horas 12:15 pm el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

.....
Ing, MSc. PEDRO VEJARANO JARA
Presidente del Jurado

.....
Ing. MSc. JAIME BASILIO ATENCIO
Miembro del Jurado

.....
MSC. MILAGROS FOLLEGATTI ROMERO
Miembro del Jurado

.....
Ing, MSc. WILLIAMS ROLDAN CARBAJAL
Asesor

DEDICATORIA

A Dios por protegerme durante todo este tiempo de vida, que me dio la oportunidad de conocer muchas experiencias, muchas de ellas dándome fuerzas para superar muchos obstáculos.

A mi madre por su constante insistencia de poder hacer realidad la continuidad de mi constante superación profesional.

A mi tío Mario por creer en mí y darme todo el apoyo incondicional hasta lograr mis objetivos anhelados.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing Williams Vicente Roldan Carbajal, asesor del trabajo de investigación, por sus aportes y colaboración en la mejora de la redacción de la tesis.

A la Ing. Luz Milagros Follegatti Romero, miembro del jurado por contribuir con las observaciones de mejora para la tesis.

Al Ing. Cesar Cueto Rosales por su apoyo incondicional en el desarrollo de la experimentación de la tesis.

A mis amigos y colegas de la maestría por la hermosa convivencia durante el tiempo de estudios realizados.

A mis amistades por creer en mí e insistir con sus motivaciones de seguir adelante y lograr el objetivo tras la lucha de tantos obstáculos en el camino, por colaborar con sus ideas.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN.....	1
ABSTRAC.....	2
I. INTRODUCCIÓN	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Cabuya azul (<i>Agave salmiana</i> subsp. <i>Salmiana</i>)	5
2.2. Recubrimientos Comestibles	7
2.2.1. Recubrimientos a base polisacáridos	10
2.3. Fresas.....	12
2.3.1. Parámetros de calidad de la fresa.....	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1. Lugar de ejecución.....	17
3.2. Material prima	17
3.3. Materiales, equipos y reactivos.....	18
3.4. Métodos de análisis	19
3.4.1. Caracterización de tamaño y peso	19
3.4.2. Sólidos solubles totales.....	19
3.4.3. pH.....	19
3.4.4. Acidez titulable e índice de madurez.....	20
3.4.5. Pérdida de peso.....	20
3.4.6. Color	20
3.4.7. Firmeza.....	20
3.4.8. Índice de decaimiento	21
3.4.9. Recuento de coliformes totales, mohos y levadura	21

3.4.10. Polifenoles totales y actividad antioxidante	21
3.5. Metodología experimental	22
3.6. Obtención de extracto	23
3.7. Preparación y aplicación del recubrimiento comestible	23
3.8. Análisis fisicoquímico y microbiológico.....	24
3.9. Análisis estadístico	24
IV. RESULTADOS.....	25
4.1. Obtención del extracto de cabuya azul	25
4.2. Características fisicoquímicas de fresas con y sin recubrimiento	26
4.3. Características microbiológicas de fresas con y sin recubrimiento	37
V. DISCUSIONES.....	40
5.1. Obtención del extracto etanólico de cabuya azul	40
5.2. Características fisicoquímicas de fresas con y sin recubrimiento	40
5.3. Características microbiológicas de fresas con y sin recubrimiento	49
VI. CONCLUSIONES	52
VII. RECOMENDACIONES	53
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Rendimiento, contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de ECA.....	25
2. Caracterización fisicoquímica de la fresa fresca.....	26
3. pH, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) e índice de madurez (IM) de fresas con y sin recubrimiento almacenadas a 4 °C durante 12 días.	29
4. Pérdida de peso, firmeza e índice de decaimiento de fresas con y sin recubrimiento almacenadas a 4 ° C.....	32
5. Valore L*, a*, b* y ΔE de fresas con y sin recubrimiento almacenadas a 4 ° C durante 12 días.	33
6. Coliformes totales, mohos y levadura, en fresas con y sin recubrimiento en almacenamiento a 4 °C	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Esquema de conducción de la investigación	23
2. Variación de SST en fresas con y sin recubrimiento durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.	30
3. Variación de pH en fresas con y sin recubrimiento durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.	30
4. Variación de acidez titulable en fresas con y sin recubrimiento durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.	31
5. Variación del índice de madurez en fresas con y sin recubrimiento durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.	31
6. Pérdida de peso de fresas con y sin recubrimiento durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.	34
7. Firmeza (N) de fresas con y sin recubrimiento durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.	34
8. Índice de decaimiento visual de fresas recubiertas y no recubiertas durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.	35
9. Variación de luminosidad (L*) de fresas recubiertas y no recubiertas durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.	35
10. Variación de a* en fresas recubiertas y no recubiertas durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.	36
11. Variación de C* en fresas recubiertas y no recubiertas durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.	36
12. Variación de ΔE en fresas recubiertas y no recubiertas durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.	37
13. Recuentos coliformes totales de fresas recubiertas y no recubiertas durante en almacenamiento a 4 °C durante 13 días.	39

14. Recuentos de mohos y levaduras de fresas recubiertas y no recubiertas durante en almacenamiento a 4 °C durante 13 días.....	39
---	----

RESUMEN

Se estudió el efecto del recubrimiento comestible a base de almidón-agar incorporado con extracto etanólico de cabuya azul (ECA) en las características fisicoquímica (pH, acidez titulable (AT), sólidos solubles totales (SST), índice de madurez (IM), pérdida de peso, firmeza y color) y microbiológicas (coliformes totales, mohos y levaduras) de fresas almacenadas bajo refrigeración. Las fresas fueron cubiertas con recubrimiento solo (T0) o combinado con 3 concentraciones (0,1, 0,3 y 0,5%) de ECA y se almacenaron a 4 °C durante 12 días. El recubrimiento de almidón-agar y la combinación de ECA inhibieron significativamente coliformes totales y los mohos y levaduras en comparación con el control de las fresas sin recubrimiento (B0) y tuvieron una mejor calidad higiénica al final del almacenamiento. El efecto dependía de la concentración de ECA. Los resultados también mostraron que el recubrimiento bioactivo utilizado en esta investigación ralentizó los cambios en el pH, AT, SST, IM, pérdida de peso, firmeza y color de las fresas. El recubrimiento de almidón-agar incorporado con ECA al 0,5% protegió al menos el 60% de las fresas del deterioro durante 9 días de almacenamiento y podría usarse como empaque bioactivo para prolongar la vida útil y una alternativa al uso de pesticidas.

Palabras claves: envase bioactivo; recubrimiento comestible; conservación de fresas, almacenamiento refrigerado, actividad antioxidante.

ABSTRAC

A study was done on the effect of edible coatings made with a base of starch agar, when incorporated with agave Americana ethanol (ECA in Spanish); the physicochemical characteristics (pH, titratable acidity (TA; AT in Spanish), total soluble solids (TSS; SST in Spanish), maturity index (IM in Spanish), weight loss, firmness and color) and the microbiological characteristics (total coliforms, mold and yeast) of strawberries when refrigerated were obtained. The strawberries were covered with just the coating (T0) or combined with three concentrations of ECA (0.1, 0.3 and 0.5%) and stored at 4 °C for twelve days. The starch agar coating and the combination of ECA significantly inhibited the total coliforms, mold, and yeast in comparison to the control, the strawberries without any coating (B0), and it had a better hygienic quality at the end of the storage time. The effect depended on the concentration of ECA. The results also revealed that the bioactive coating utilized in this research slowed down the changes in the pH, TA, TSS, IM, weight loss, firmness and the color of the strawberries. The starch agar coating incorporated with 0.5% ECA protected the strawberries by at least 60% from deteriorating during nine days of storage and could be used as bioactive packaging in order to prolong the shelf life and as an alternative to pesticides.

Keywords: bioactive packaging, edible coating, strawberry conservation, refrigeration, antioxidant activity

I. INTRODUCCIÓN

El interés del consumidor por adquirir los alimentos que sean seguros, nutritivos y que beneficien a la salud, sumado con la preocupación por el medio ambiente, han encaminado un sin número de investigaciones para satisfacer estas exigencias, originando así muchas tecnologías promisorias tal como los recubrimientos comestibles, extensamente aplicados en frutas y verduras frescas, habiéndose desarrollado varios enfoques de la misma, siendo uno de los más atractivos para el mercado los denominados recubrimiento funcionales y/o bioactivos, que incorporan las biomoléculas con propiedades antimicrobianas y/o antioxidantes, logrando potenciar las características y aplicaciones de los recubrimientos convencionales. El desarrollo de este enfoque no hubiera sido posible sin el soporte del constante estudio de compuestos derivados de plantas, con características funcionales y con potencial industrial.

El género agave incluye especies de mucho interés comercial y económico, ya sea para la producción de alimento, bebida, fibras o combustible; sin embargo, los intereses más importantes a futuro es ser fuente de prebióticos y compuestos bioactivos, teniendo en cuenta que muchos estudios reportan altos contenidos de fructooligosacáridos, así como metabolitos secundarios con propiedades, anticancerogénica, antiinflamatoria, antihipertensivo, inmunomodulador, antiparasitario, insecticida, antifúngico, antibacteriano y antioxidante para varias especies. Si bien la producción industrial y el mayor número de especies de agaves se encuentra en México, se tienen especies distribuidas en los cinco continentes, en particular *Agave salmiana* subsp. *Salmiana*, conocida como cabuya azul en Huánuco y otras regiones del Perú, actualmente no es

cultivada como muchas otras plantas no se le reconoce todo el potencial económico que puede significar su industrialización.

La fresa es reconocida por ser un fruto altamente perecible con un tiempo de vida poscosecha muy corto. Por sus condiciones fisiológicas resulta muy susceptible a la pérdida de humedad y al ataque por microorganismos (principalmente mohos y levaduras), que ocasiona grandes pérdidas durante su transporte y comercialización. El tiempo de vida útil de las fresas frescas en refrigeración (0 a 5 °C) es de aproximadamente 5 días, Por tales características, la fresa se presenta como una opción tecnológica y económicamente viable para los estudios de recubrimientos comestibles.

Por todo lo anterior, se optó por investigar la incorporación del extracto etanólico de cabuya azul (*Agave salmiana* subsp. *Salmiana*) en un recubrimiento comestible aplicado a fresas frescas, con el objetivo de evaluar la conservación de las características fisicoquímicas y el deterioro microbiológico de los frutos en refrigeración.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cabuya azul (*Agave salmiana* subsp. *Salmiana*)

El agave, también llamado maguey o cabuya, es una planta xerófila perenne originaria suroeste de los Estados Unidos y México, teniéndose reportes de su uso y cultivo en Mesoamérica que datan de más de siete mil años (GARCÍA, 2007; PRENTNER, 2010). La distribución inicial del género abarca desde el sur de los Estados Unidos hasta Colombia y Argentina (incluyendo todas las islas del Caribe), pero ahora son comunes en todo el mundo, en parte por su capacidad de adaptarse a diferentes terrenos y altitudes (NAVA-CRUZ *et al.*, 2015; PRENTNER, 2010).

A la fecha no existe clasificación que abarque todas las especies del género *agave*, en donde el sistema de clasificación actual (GENTRY, 1982) incluye más de 200 especies de las que México tiene el 75%; es necesario aclarar que esta clasificación toma en cuenta sólo las especies de Norteamérica continental, dejando fuera los agaves del caribe y Sudamérica (GARCÍA, 2007; NAVA-CRUZ *et al.*, 2015). En particular, de acuerdo al Sistema Integrado de Información Taxonómica (ITIS por sus siglas en inglés, 2020), la clasificación taxonómica de la cabuya azul es la siguiente:

Reino	: <i>Plantae</i>
División	: <i>Tracheophyta</i>
Clase	: <i>Magnoliopsida</i>
Orden	: <i>Asparagales</i>
Familia	: <i>Asparagaceae</i>
Género	: <i>Agave</i>
Especie	: <i>Agave salmiana</i> (subsp. <i>Salmiana</i>), o sinónimos <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck, <i>Agave atrovirens</i> Karw, ex Salm-Dyck

El *Agave salmiana* subsp. *Salmiana*, puede crecer hasta 1,8 m de altura, sus hojas lanceoladas verdes azulado, forman una roseta suculenta, que pueden llegar a pesar más de 250 kg (hasta 30 kg cada hoja), se tiene con una espina recta (de hasta 5 cm) al final de las hojas y pequeñas espinas tipo gancho en sus márgenes. El tallo corto, grueso y fibroso, mientras que las raíces son superficiales (penetrando aproximadamente 30 cm en el suelo). Esta especie alcanza la madurez entre los 8 a 20 años y su florescencia paniculada; su propagación puede ser de forma sexual (semillas) y asexual (bulbillos o hijuelos), siendo esta última la predominante (GARCÍA, 2007; MARTINEZ *et al.*, 2005; MARTÍNEZ-SALVADOR *et al.*, 2007; NAVA-CRUZ *et al.*, 2015).

El cultivo de agave tiene diversos fines, ya sea como fuente de alimento, bebida (aguamiel, pulque, mezcal, tequila y vinagre), fibras, medicina, combustible, cobijo, ornato, abono, entre otros (GARCÍA, 2007; NAVA-CRUZ *et al.*, 2015).

Muchas de las especies de agave tienen importancia etnobotánica y etnofarmacéutica; a la fecha varias investigaciones reportan propiedades anticancerogénica (CHEN *et al.*, 2011), antiinflamatoria (DA SILVA *et al.*, 2002; DUNDER *et al.*, 2010), antihipertensivo (LÓPEZ-ROMERO *et al.*, 2018), inmunomodulador (CHEN *et al.*, 2009; GUTIÉRREZ *et al.*, 2017), antiparasitario (BOTURA *et al.*, 2013; THAKUR *et al.*, 2015), insecticida (HERBERT-DOCTOR *et al.*, 2016), antifúngico (VERÁSTEGUI *et al.*, 2008), antibacteriano (SALAZAR-PI *et al.*, 2017) y antioxidante (AHUMADA-SANTOS *et al.*, 2013; LÓPEZ-ROMERO *et al.*, 2018; PUENTE-GARZA *et al.*, 2017; RIBEIRO *et al.*, 2013); la mayoría de las propiedades mencionadas son atribuidas a compuestos fenólicos (flavonol, kaempferol y quercetina) y saponinas (BEN *et al.*, 2012; MAHARSHI Y THAKER, 2014; NAVA-CRUZ *et al.*, 2015; SANTOS-ZEA *et al.*, 2016).

En particular, la actividad antimicrobiana y antifúngica de extractos de las pencas de agaves (incluyendo sus fracciones), se encuentra bien documentada, evidenciándose actividad contra *Staphylococcus aureus*,

Escherichia coli, *Salmonella typhi*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Alternaria brassicae*, *Aspergillus fumigatus*, *Postia placent*, *Candida albicans*, entre otros (GULERIA & KUMAR, 2009; SHEGUTE & WASIHUN, 2020; SIDDHAPURA *et al.*, 2011; VERÁSTEGUI *et al.*, 2008; YANG *et al.*, 2006). Asimismo, las investigaciones coinciden en que los componentes responsables de la mencionada actividad pertenecen al grupo de las saponinas esteroídicas.

2.2. Recubrimientos Comestibles

Los recubrimientos comestibles, también llamados recubrimientos amigables con el medio ambiente, se pueden definir como una capa delgada (o varias) de material comestible que recubre al producto, para proporcionar una barrera a la humedad, el oxígeno, CO₂, entre otros; ello creará una atmósfera modificada, lo que retrasa la producción de senescencia, logrando extender la vida útil y mantener la calidad de los alimentos al evitar cambios en el aroma, el sabor, la textura y la apariencia. Estos pueden ser aplicados directamente sobre la superficie de los alimentos mediante inmersión, rociado o cepillado (AITBOULAHSEN *et al.*, 2018; ANSORENA Y PONCE, 2019; DHALL, 2013; GOL *et al.*, 2013).

El interés por el desarrollo recubrimientos comestibles con una gama más amplia de características y aplicaciones, ha llevado a la introducción de múltiples enfoques, tales como recubrimientos funcionales o bioactivos (mediante la incorporación de biomoléculas con propiedades antimicrobianas y antioxidantes), nano-recubrimientos (recubrimientos con su espesor en nanómetros), compuestos (mezcla de hidrocoloides y lípidos), y un sistema multicapa en el que la aplicación del recubrimiento se modifica por una capa de sustancias activas como antimicrobianos, agentes aromatizantes, antioxidantes o emulsionantes (AITBOULAHSEN *et al.*, 2018; ANSORENA Y PONCE, 2019; VARGAS *et al.*, 2008).

Un recubrimiento ideal se define como uno que puede extender la vida de almacenamiento de frutas y verduras frescas sin causar anaerobiosis y reduce su descomposición sin afectar su calidad; además, se conoce que la

efectividad y la funcionalidad de cada recubrimiento depende de sus propiedades fisicoquímicas y de barrera, que a menudo están estrechamente relacionadas con la disposición molecular de los diferentes componentes del recubrimiento (microestructura), la matriz del producto (contenido de humedad bajo a alto) y del proceso de deterioro al que se somete el producto (ANSORENA Y PONCE, 2019; DHALL, 2013; VARGAS *et al.*, 2008), Contemplando lo mencionado, los requisitos específicos para recubrimientos comestibles destinados a frutas y verduras incluye:

- El recubrimiento debe ser resistente al agua para que permanezca intacto y cubra un producto adecuadamente, cuando se aplica.
- No debe agotar el oxígeno ni acumular dióxido de carbono excesivo, Se requiere un mínimo de 1 a 3% de oxígeno alrededor de un producto para evitar un cambio de la respiración aeróbica a la anaeróbica.
- Debe reducir la permeabilidad al vapor de agua.
- Debe mejorar la apariencia, mantener la integridad estructural, mejorar las propiedades de manejo mecánico, transportar agentes activos (antioxidantes, vitaminas, etc.) y retener compuestos de sabor volátiles.
- Debe derretirse por encima de 40 °C sin descomposición.
- Debe ser fácilmente emulsionable, no pegajoso o no debe ser pegajoso y tener un rendimiento de secado eficiente.
- Nunca debe interferir con la calidad de la fruta o verdura fresca y no impartir una categoría indeseable.
- Debe tener baja viscosidad y ser económico,
- Debe ser translúcido a opaco, pero no como el vidrio y capaz de tolerar una ligera presión.

Existe una amplia gama de compuestos que pueden usarse en la formulación de recubrimientos comestibles y su elección depende principalmente de la aplicación objetivo. Los componentes principales son polisacáridos, proteínas y lípidos; como componentes menores se incluyen polioles que actúan como plastificantes (como glicerol y sorbitol) o

compuestos ácidos/bases utilizados para regular el pH (como ácido acético y láctico). La presencia y abundancia de uno u otro componente determinará las propiedades de barrera del material con respecto al vapor de agua, oxígeno, dióxido de carbono y transferencia de lípidos en los sistemas alimentarios. Sin embargo, ninguno de los tres componentes puede proporcionar la protección necesaria por sí mismos y por lo tanto, generalmente se usan en combinación para obtener mejores resultados. Igualmente, debe destacarse que durante la fabricación del recubrimiento, los componentes son dispersados y/o disueltos en un solvente como agua, alcohol, mezcla de agua y alcohol o una mezcla de otros solventes (DHALL, 2013; SHARMA *et al.*, 2019; TOMADONI *et al.*, 2018; VARGAS *et al.*, 2008).

De otro lado, se han reportado diferentes estudios en los que se han aplicado agentes antimicrobianos a una variedad de recubrimientos para extender la vida útil de las frutas recién cortadas. Por ejemplo, TOMADONI *et al.*, (2018) evaluaron la incorporación de geraniol y extracto de granada en recubrimientos de goma gellan en fresas recién cortadas; HAJJI *et al.*, (2018) estudiaron la incorporación de caroteno-proteínas de camarones en recubrimientos de quitasano en fresas frescas, comprobando la efectividad en la reducción de la descomposición fúngica (45-50%) en comparación con las frutas no recubiertas (75%); AITBOULAHSEN *et al.*, (2018) incorporaron aceite esencial de *Mentha pulegium* en recubrimientos a base de gelatina aplicados a fresas, comprobando una significativa inhibición en la flora total, mohos y levaduras, luego de 13 días de almacenamiento (4 °C); además, la incorporación de aceite esencial de canela en el recubrimiento polulano redujo el crecimiento microbiano en fresas fresca almacenadas a temperatura ambiente (CHU *et al.*, 2020).

No obstante, a la fecha no se cuentan reportes de aplicación de extractos agave como aditivo alimentario en recubrimiento o film; siendo la referencia más próxima la realizada por LÓPEZ-ROMERO *et al.* (2018), quienes comprobaron el potencial antioxidante de extractos de *Agave angustifolia* en empanadas de cerdo almacenadas a 4 °C durante 10 días,

así mismo reportan actividad antimicrobiana frente a *Staphylococcus epidermidis* y *Escherichia coli*, lo que logró extender la vida útil del producto.

2.2.1. Recubrimientos a base polisacáridos

Los polisacáridos son los componentes más utilizados en los recubrimientos comestibles para frutas, ya que están presentes en la mayoría de las formulaciones disponibles comercialmente (VARGAS *et al.*, 2008). Los polisacáridos muestran propiedades efectivas de barrera de gas, aunque son altamente hidrófilos y muestran una alta permeabilidad al vapor de agua en comparación con las películas de plástico comerciales. Los principales polisacáridos de interés para la producción de recubrimientos han sido derivados de celulosa, almidón y derivados, alginatos, carragenano, quitosano, gomas y pectinas (SHARMA *et al.*, 2019; SUÁREZ Y GUTIERREZ, 2017), Los polisacáridos más complejos producidos por hongos y bacterias como el xantano, el curdlan, el pullan y el ácido hialurónico, probablemente recibirán más interés en el futuro (DHALL, 2013).

El almidón es el polisacárido natural más comúnmente usado en la formulación de recubrimientos comestibles porque es económico, abundante, biodegradable y fácil de usar (VARGAS *et al.*, 2008). Se pueden obtener películas de almidón biodegradables a partir del almidón nativo o sus componentes, amilosa y amilopectina, mediante dos técnicas principales: Moldeo en solución y posterior secado (método húmedo) y procesamiento termoplástico (método seco). Los almidones nativos, modificados o pregelatinizados también se han utilizado para obtener películas de almidón (LÓPEZ *et al.*, 2008; PAES *et al.*, 2008; SUÁREZ Y GUTIERREZ, 2017).

Para obtener películas a base de almidón, un requisito esencial que debe tenerse en cuenta es que, si se usa almidón nativo, los gránulos deben romperse previamente mediante un proceso de gelatinización en un exceso de medios de agua (> 90% p/p), donde sufren una transición irreversible de orden-desorden, o

desestructuración. La gelatinización del almidón es un proceso en el cual los gránulos se hinchan, dependiendo del agua disponible, provocando la ruptura de la matriz de amilopectina y liberando la amilosa. En otras palabras, puede considerarse como un primer paso, en el que el disolvente se difunde a través de los gránulos de almidón y un segundo, en el que tiene lugar la fusión de los cristallitos de almidón (CARVALHO, 2008). Aunque el proceso de gelatinización parece ser simple, es un proceso muy complejo, este se inicia a bajas temperaturas y continúa hasta que los gránulos se rompen por completo (RATNAYAKE Y JACKSON, 2007; SUÁREZ Y GUTIERREZ, 2017). En resumen, el proceso de gelatinización tiene tres etapas durante el cual tienen lugar diferentes eventos estructurales:

- 1) La absorción de agua por los gránulos de almidón promueve un aumento en la movilidad del polímero de almidón en regiones amorfas.
- 2) Los polímeros de almidón en las regiones amorfas se reorganizan a menudo formando nuevas interacciones intermoleculares.
- 3) Con el aumento de los efectos hidrotermales, los polímeros se vuelven más móviles y pierden sus interacciones intermoleculares y su estructura granular general.

Los alginatos y carragenanos también se pueden usar para preparar recubrimientos comestibles. Los alginatos son las sales del ácido algínico, que es un copolímero lineal de monómeros de ácido D-manurónico y L – gulurónico. La formación del revestimiento de alginato se basa en la capacidad de los alginatos para reaccionar con los cationes divalente y trivalente como el calcio, hierro o magnesio, que se agregan como agentes gelificantes (CHA Y CHINNAN, 2004). El carragenano es una mezcla compleja de al menos cinco polímeros de galactosa solubles en agua diferentes designados como λ , κ , ι , μ y ν -carragenano. La gelificación de ι y κ – carragenano ocurre en

presencia de monovalentes o cationes divalentes. La formación de película de carragenano incluye este mecanismo de gelificación durante el secado moderado, lo que lleva a una red tridimensional formada por doble hélice de polisacárido y a una película sólida después de la evaporación del solvente (DHALL, 2013; VARGAS *et al.*, 2008). Los revestimientos comestibles de carragenina tienen diversas aplicaciones en carnes, aves y pescados frescos y congelados, salchichas, alimentos sólidos secos, polvos recubiertos de granulación y alimentos grasos (SHARMA *et al.*, 2019).

2.3. Fresas

La fresa (*Fragaria ananassa*), es un fruto no climatérico, muy delicado y tiene una vida útil muy corta. Por sus condiciones fisiológicas resulta muy susceptible a la pérdida de humedad y al ataque por microorganismos, especialmente al hongo *Botrytis cinerea*, que ocasiona grandes pérdidas durante su transporte y comercialización porque disminuye los atributos de sabor, aroma y textura, afectando su calidad comercial y su atractiva frescura para el consumidor (RESTREPO Y ARISTIZÁBAL, 2010).

La fresa fresca contiene: Agua 89,10 %; proteína 0,70 %; grasa 0,80 %; carbohidratos 8,90 %; cenizas 0,50 %; y vitaminas C, A, B2 y B1 (58; 8; 0,06 y 0,02 mg/100 g respectivamente) (MEDINA *et al.*, 2016).

La conservación en frío es una práctica habitual para prolongar el período de almacenamiento de las frutas. En el caso de la fresa, la conservación en frío reduce la tasa de respiración y la pérdida de humedad y retarda el crecimiento microbiano, permitiendo extender la vida útil y conservar la calidad de la fruta (RESTREPO Y ARISTIZÁBAL, 2010).

En el Perú, el empleo de frío está muy limitado por la ausencia de sistemas en cadena que garanticen bajas temperaturas para el producto, y por sus altos costos. Las fresas se cosechan a primeras horas del día, tres veces por semana y completamente maduras, para aprovechar al máximo su sabor y dulzor, teniendo cuidado especial de evitar daños mecánicos para su

rápida comercialización a temperatura ambiente, con el propósito de obtener una reducción significativa en las pérdidas de manejo en postcosecha, que alcanzan niveles hasta del 50% en regiones tropicales.

2.3.1. Parámetros de calidad de la fresa

La fresa, como cualquier fruto, continúa con un metabolismo activo tras su recolección. Por tratarse de un producto muy perecedero, su calidad y vida útil pueden verse mejoradas por control de los procesos de deterioro e inactivación de procesos fisiológicos, tanto del propio fruto como de los patógenos que pueda contener. Factores tanto intrínsecos como extrínsecos influyen en la extensión de su vida útil. De entre los intrínsecos, la tasa de respiración es el más importante, influenciada por circunstancias como tipo, tamaño, variedad, condiciones de crecimiento, estado de madurez, composición atmosférica y temperatura. Por otro lado, dentro de los extrínsecos se encuentran la temperatura de almacenamiento, la humedad relativa, la carga microbiana inicial, el equipo y material polimérico de envasado, el volumen y área del envase y la luz (ALMENAR-ROSALENY, 2005; PEREIRA DA SILVA, 2017).

Respiración, Las fresas se caracterizan por una alta tasa de respiración ($50-100 \text{ ml CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ a 20°C), muy dependiente de la temperatura y tiempo de almacenamiento, estado de maduración, concentración gaseosa, cantidad de etileno, (ALMENAR-ROSALENY, 2005; PEREIRA DA SILVA *et al.*, 2018).

Pérdida de peso. La fresa presenta una elevada tasa de transpiración, produciendo pérdidas de agua que implican arrugamiento (aspecto envejecido), disminución de peso comercial y descenso de la calidad sensorial, afectando a la apariencia, textura y jugosidad del fruto (ALMENAR-ROSALENY, 2005; BROUWER *et al.*, 2019).

En la mayoría de los frutos pérdidas del 3 a 5 por ciento del peso inicial en forma de agua transpirada son suficientes para promover un aspecto arrugado, perdiendo su apariencia externa inicial. Problema todavía más notable en el caso de la fresa, pues debido a su fina piel no posee una buena barrera exterior con que retener el agua (ALMENAR-ROSALENY, 2005; ESCALANTE-VARONA, 2015).

Color. El color es uno de los parámetros de calidad que más información proporciona sobre la evolución de las fresas, siendo detectable mediante colorimetría (color externo) y espectrofotometría visible (color total). El color externo se mide con los parámetros colorimétricos a^* , b^* , L^* , chroma (*C) y ángulo hue (H), y el color total con la concentración de antocianos, determinados como glucósido 3-pelargonidina, por ser el mayoritario de la fresa, constituyendo el 88 por ciento de los antocianos de la parte externa y el 96 por ciento de la interna (ALMENAR-ROSALENY, 2005).

Firmeza. La fresa es una fruta suave que sufre una rápida pérdida de firmeza durante su maduración, lo cual contribuye enormemente a su corta vida post cosecha y a su susceptibilidad a contaminaciones fúngicas. Las propiedades de textura de la fruta están afectadas por la turgidez celular y por la estructura y composición de la pared celular de los polisacáridos. El ablandamiento de las fresas ha sido asociado con la degradación de la lamela media de las células del parénquima cortical, resultando en un dramático incremento de la solubilización de la pectina, con un ligero cambio en el peso molecular de la pectina y pequeñas disminuciones en el contenido de celulosa (HERNÁNDEZ-MUÑOZ *et al.*, 2008).

La textura está considerada como otro parámetro clave indicador de calidad por ser directamente proporcional al grado de madurez del fruto. Para la realización de las medidas de fuerza existen una gran variedad de posibilidades: penetración, compresión, tensión, etc., de entre las cuales la penetración es la más utilizada en las fresas.

Los métodos instrumentales más utilizados son los empíricos, que se fundamentan en someter las muestras a una fuerza y relacionan ésta con el tiempo y con la deformación(ALMENAR-ROSALENY, 2005).

Durante el almacenamiento, factores como variedad, temperatura, tiempo de almacenamiento y concentraciones gaseosas influyen sobre la firmeza. Así, solo algunas variedades de fresa presentan aumentos de firmeza en presencia de altas concentraciones de CO₂, otras no sufren modificación (ESCALANTE-VARONA, 2015). En cambio, independientemente de la variedad, la disminución de la temperatura genera un aumento en la firmeza de la fresa (ALMENAR-ROSALENY, 2005).

Contenido en sólidos solubles. Los sólidos solubles son el conjunto de determinados azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa), ácidos orgánicos (ácido málico, ácido cítrico y ácido succínico), compuestos fenólicos, antocianos, cuyas proporciones dependen de la variedad estudiada. Las fresas, tras su recolección, como continúan con sus reacciones metabólicas básicas, entre ellas la respiración, utilizan como sustrato los azúcares resultantes de la hidrólisis de la sacarosa, disminuyendo con ello los sólidos solubles del fruto, proceso que resulta activo durante todo el periodo de post recolección (ALMENAR-ROSALENY, 2005).

Potencial de hidrógeno (pH). El pH es uno de los parámetros que presenta menor variación durante el periodo de post cosecha de la fresa. Diversos estudios muestran pocos o ningún cambio con el tiempo, incluso con la modificación de factores externos como temperatura, aumento de CO₂, etc. (ALMENAR-ROSALENY, 2005).

La no influencia del CO₂ podría deberse a su transformación en ácido carbónico y posterior disociación en el citoplasma, produciendo cambios de pH absorbidos por la capacidad tampón de los

tejidos. Alternativamente, un pH bicarbonatado podría formarse en el interior de las vacuolas, aumentando su valor, aunque estos cambios se neutralizarían por la capacidad tampón de los ácidos orgánicos (ALMENAR-ROSALENY, 2005; PEREIRA DA SILVA *et al.*, 2018).

Acidez titulable. El ácido cítrico es el más abundante de la fresa, seguido del málico, succínico y ascórbico, razón por la que los resultados de acidez titulable se expresan en cantidad de ácido cítrico. La acidez titulable es necesaria para conocer la evolución del grado de madurez en las fresas, parámetro resultante de la relación entre la cantidad de ácido cítrico presentes respecto a la de sólidos solubles obtenidos (ALMENAR-ROSALENY, 2005; GONZÁLEZ-CABRERA, 2011).

Índice de madurez. El índice de madurez es la relación entre el contenido de sólidos solubles y la acidez presente en la fruta. Este parámetro suele ser muy utilizado ya que a medida que la fruta madura el contenido de azúcares (sólidos solubles) aumenta y el contenido de ácidos disminuye (GONZÁLEZ-CABRERA, 2011). El índice de madurez para la recolección de fresas se basa usualmente en el color del fruto:

- Color rosado en tres cuartas partes de la superficie del fruto, Esta fruta tiene como destino al mercado para consumo al estado fresco de mercados distantes.
- Color rosado que cubre toda la superficie del fruto. Esta fruta también tiene como destino al mercado para consumo al estado fresco de mercados relativamente cercanos.
- Rojo a rojo oscuro. Fruta para consumo fresco de inmediato o para ser procesado industrialmente.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se llevó a cabo en los Laboratorios de Análisis Físicoquímico, Análisis por Instrumentación y Microbiología de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán (UNHEVAL), ubicado en el distrito de Pillcomarca, provincia y región Huánuco.

3.2. Material prima

Para la obtención de extractos de cabuya azul se tomaron muestras de cuatro plantas adultas de la cuenca del río Higuera, del distrito de Huánuco, provincia y región Huánuco (1927 msnm, 9°56'21''S; 76°15'48''O), en el mes de agosto de 2019. Se recolectaron dos hojas secas grandes, con especial cuidado y evitar cortar muestras que se encuentran en contacto con el suelo.

Las fresas se recogieron manualmente, a primeras horas del día (6:00 am a 8:00 am), en una etapa de madurez comercial del centro poblado de Huandobamba, del distrito y provincia de Ambo, departamento de Huánuco (2389 msnm. 10°10'06''S; 76°10'52''O); luego se seleccionaron las frutas basándose en la uniformidad de tamaño, forma, sin lesiones, plagas y síntomas de enfermedades, se trabajó con muestras de 50 frutos por cada tratamiento.

Para determinar el estado de madurez se toma como referencia el índice de la variación del color, recomendándose la recolección cuando el fruto haya adquirido al menos 2/3 a 3/4 de su color rojo. La recolección se

realizó considerando la distancia de transporte hasta los laboratorios y se aplicaron los cuidados correspondientes.

3.3. Materiales, equipos y reactivos

3.3.1. Materiales

Tubos de ensayo de 10 y 20 mL; matraz aforado de 10, 25 y 50 mL; erlenmeyer de 100, 250 y 500 mL; pipetas de 1, 5 y 10 mL; papel de filtro Wathman N° 42; vasos de precipitación de 100, 250 y 1000 mL, desecadores de vidrio, crisoles de cerámica, placas Petri.

3.3.2. Reactivos

Agar-agar, glicerina AR, tween 80 US (CDH, India); etanol absoluto, agua peptonada, agar papa dextrosa M096, HiCrome™ Coliform Agar w/ SLS M1300; reactivo Folin-Ciocalteu, carbonato de sodio, ácido gálico, persulfato de potasio, metanol y etanol absoluto (HiMedia, India); 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), ácido 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico (ABTS) (Sigma-Aldrich), almidón de yuca e hipoclorito de sodio (comercial).

3.3.3. Equipos e instrumentos de control

Micropipeta de 10 - 200 µL y 100 -1000 µL, agitador magnético con calentador (JP Selecta, mod. AGIMATIC-E, España), analizador de textura (Brookfield Engineering, mod. CT3-25K, USA), balanza analítica (A&D®, HR-250AZ, Japón), balanza digital de precisión (OHAUS, mod. TAJ202, USA), cámara de conservación (Frio Tecnocomercial S.A., mod. AG276, Perú), colorímetro digital (Lovibond, mod. LC-100, UK), pHmetro (Metrohm, 826 pH mobile, Suiza), Medidor Brix/acidez de bolsillo (Atago, PAL-BX|ACID F5, Japón), vernier digital (Mitutoyo, mod. SC-6”C, resolución 0,1 mm, rango 150 mm, China), autoclave (JP Selecta, mod. PRESOCLAVE II, España), incubadora (MMM Group, INCUCCELL 55, Alemania), estufa

eléctrica (MMM Group, ECOCELL 55, Alemania), centrífuga (Hettich, Rotina 380, 15000 rpm máx, Alemania), agitador vortex (UNICO, L-VM1000E), evaporador rotativo (Hei-VAP Core, Heidolph Instruments GmbH & CO. KG, Alemania).

3.4. Métodos de análisis

Todos los parámetros de calidad en las fresas se midieron por un periodo de 12 días bajo almacenamiento en refrigeración ($4 \pm 0,5$ °C), en intervalos de 3 días, para el control (sin recubrimiento) y fresas tratadas (recubiertas). La diferencia en la pérdida de peso y el color externo se realizaron en la misma fruta de fresas ($n = 9$) antes y después del almacenamiento.

3.4.1. Caracterización de tamaño y peso

Se tomó una muestra al azar (40 fresas) y se midió el peso individual en una balanza digital de precisión (OHAUS, mod. TAJ202, con precisión de 0,01 g y capacidad de 200 g). Para el tamaño se utilizó un vernier digital (Mitutoyo, modelo 530-104 con precisión de 0,05 mm y capacidad de 150 mm), los valores se tomaron a lo largo y ancho de la fruta en los extremos más sobresalientes de la misma.

3.4.2. Sólidos solubles totales

Se emplearon tres fresas de cada grupo y se homogeneizaron en un mortero, luego se filtró para obtener el zumo para su análisis correspondiente (*DURAN et al.*, 2016).

3.4.3. pH

Para medir el pH se utilizó la solución filtrado, haciendo uso de un pHmetro se determinó el pH de la muestra (Metrohm 826 pH, Suiza, calibrado contra buffers estándar de pH 4,01 y 7,00).

3.4.4. Acidez titulable e índice de madurez

Sólidos solubles totales (°Brix), acidez e índice madurez mediante un medidor de bolsillo Brix-Acidez (PAL-BX | ACID F5, Atago Co, Ltd., Japón) (BAN *et al.*, 2020; JIANG *et al.*, 2020).

3.4.5. Pérdida de peso

La pérdida de peso se expresó como el porcentaje de pérdida de peso respecto al peso inicial total, Metodología según (HERNÁNDEZ-MUÑOZ *et al.*, 2008; JIANG *et al.*, 2020).

3.4.6. Color

El color externo de las fresas se midió tomando tres lecturas de diferentes puntos ecuatoriales en cada fruta usando un colorímetro (modelo LC-100, Lovibond, UK) previamente calibrado con una placa blanca estándar (CAMPOS-REQUENA *et al.*, 2017). Los parámetros de espacio de color CIELAB evaluados fueron: luminosidad L^* , coordenadas de cromaticidad a^* (-verde a +rojo), b^* (-azul a +amarillo) y diferencias de color.

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^{*2}) + (\Delta a^{*2}) + (\Delta b^{*2})} \quad (1)$$

3.4.7. Firmeza

La firmeza de la fruta se analizó con una frecuencia de 3 días tanto para la fruta control ($n = 9$) como para la fruta tratada ($n = 9$). Como el día 0, se midió un grupo de fresas frescas ($n = 9$) al comienzo del ensayo para evaluar el cambio de firmeza con el tiempo. Las mediciones se registraron con un analizador de textura (modelo CT3, Brookfield Engineering, USA), equipado con una sonda cilíndrica de 4 mm (TA44), velocidad de prueba $5,0 \text{ mm.s}^{-1}$, frecuencia de muestreo de $100 \text{ puntos.s}^{-1}$, carga de activación $0,05 \text{ N}$, distancia objetivo de $5,0 \text{ mm}$. La firmeza se calculó con la media de 10 mediciones a lo largo de

la zona ecuatorial de cada fruto usando la fuerza máxima de la primera compresión (CHU *et al.*, 2020; HERNÁNDEZ-MUÑOZ *et al.*, 2008).

3.4.8. Índice de decaimiento

La cantidad de muestras en descomposición debido a mohos o cualquier infección de microorganismos se determinó mediante una inspección visual cada tres hasta los 12 días de almacenamiento. Se usaron 9 fresas por replica para cada tratamiento y el número de lesión se calculó como un porcentaje de especímenes descompuestos con base en las fresas iniciales (CHU *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2016).

3.4.9. Recuento de coliformes totales, mohos y levadura

Las muestras de fresas (10 g) se pesaron asépticamente, se colocaron en el agua de peptona estéril (90 ml) y se homogeneizaron, Se prepararon diluciones decimales posteriores de cada muestra en agua de peptona y se añadió 1 mL de dilución apropiada de las muestras en placas estériles e inmediatamente se añadió ~15 mL de los siguientes medios: Agar de patata dextrosa (HiMedia, Mumbai, India) para levadura y mohos, incubados a 25 °C durante 5 días; HiCrome™ Coliform Agar w/ SLS (HiMedia, Mumbai, India) para coliformes, incubado a 37 °C durante 48 h (CHORBADZHIEV *et al.*, 2017; DHITAL *et al.*, 2018). Los resultados se expresaron como unidades formadoras de colonias logarítmicas por g (Log UFC/g) en función del recuento promedio del conjunto por triplicado.

3.4.10. Polifenoles totales y actividad antioxidante

Para el extracto etanólico de agave se determinó el contenido polifenoles totales (PT) utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu de acuerdo con el método descrito por MAKKAR (2003), utilizando ácido gálico como estándar; asimismo se evaluó su capacidad antioxidante mediante el ensayo del catión ABTS (ácido 2,2-azinobis

(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico), los resultados se expresaron como capacidad antioxidante equivalente de Trolox (VILLANUEVA-TIBURCIO *et al.*, 2010).

3.5. Metodología experimental

La primera etapa del trabajo de investigación, estuvo enfocado en la obtención del extracto etanólico de cabuya azul (*Agave salmiana*) con base en la metodología descrita por VERÁSTEGUI *et al.*, (2008) con pequeñas modificaciones, como segunda etapa se prepararon y aplicaron los recubrimientos a los frutos de prueba, finalmente se evaluaron las características fisicoquímicas de las muestras en estudio a los 0, 3, 6, 9 y 12 días de almacenamiento bajo refrigeración (4 °C), mientras que los análisis microbiológicos ser realizaron los días 1, 4, 7, 10 y 13. La Figura 1, esquematiza la conducción de la investigación.

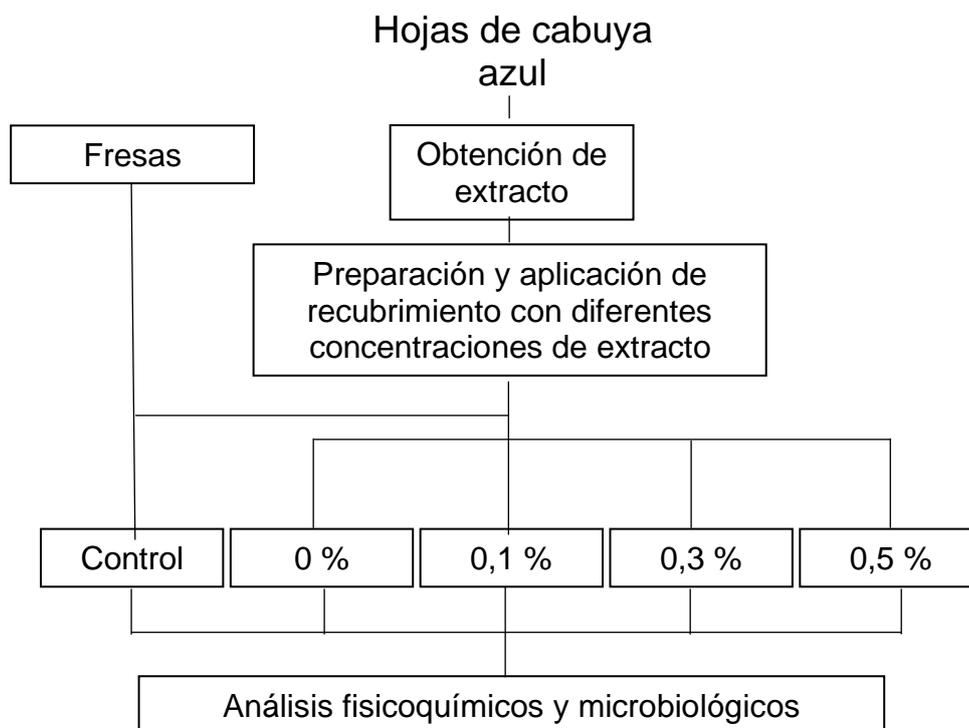


Figura 1. Esquema de conducción de la investigación

3.6. Obtención de extracto

Con las hojas de cabuya en el laboratorio, estas se limpiaron, fueron cortadas y trituradas para pasar por un tamiz de 150 μm ; luego se mezcló con etanol 96° a una proporción de 1:20 (p/v) y se dejó macerar por 48 horas a temperatura ambiente (25 °C), transcurrido el tiempo se filtró a través de papel filtro Whatman 41 y centrifugó a 8000 rpm por 20 minutos. Los sobrenadantes se concentraron en un rota vapor a 60 °C, el concentrado obtenido se secó en estufa a 50 °C por 10 horas y finalmente se almaceno a -20 °C hasta su posterior empleo (AHUMADA-SANTOS *et al.*, 2013; VERÁSTEGUI *et al.*, 2008).

3.7. Preparación y aplicación del recubrimiento comestible

La preparación del recubrimiento comestible se preparó según lo descrito por MEDINA *et al* (2016) con algunas modificaciones; se disolvieron 1 g de agar-agar, 2 g de almidón y 2 g de glicerol, en 100 mL de agua desionizada y se homogenizo a 400 rpm a 90 °C por 30 min. Se añadieron 0,1, 0,3 y 0,5 g de extracto de cabuya azul (ECA), usando TWEEN® 80 como emulsionante (0,05 g), se continuo con la agitación por otros 5 min a 90 °C.

Después de la homogeneización de las mezclas, las fresas (previamente lavada, desinfectada y secas) se sumergieron en la solución preparada (a 40 °C) durante aproximadamente 30 segundos, luego se dejaron secar y se ubicaron en bandejas de poliestireno etiquetadas para su almacenamiento a 4 °C. Se prepararon cinco tratamientos codificados como sigue:

- B : control (fresas sin recubrimiento)
- T0 : recubrimiento sin extracto de cabuya
- T1 : recubrimiento con 0,1% de extracto de cabuya
- T2 : recubrimiento con 0,3% de extracto de cabuya
- T3 : recubrimiento con 0,5% de extracto de cabuya

3.8. Análisis fisicoquímico y microbiológico

Se evaluaron las características fisicoquímicas y microbiológicas de las muestras en estudio a los días 0, 3, 6, 9 y 12 de almacenamiento, de acuerdo con los métodos indicados en la sección 3.4.

3.9. Análisis estadístico

Todas las mediciones se realizaron por triplicado. Los análisis de datos se realizaron mediante un análisis de varianza univariante (ANOVA) seguido de las pruebas post hoc de Tukey para evaluar diferencias significativas entre las muestras con un intervalo de confianza del 95% utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion XVIII informático. El nivel de significación fue $p \leq 0,05$.

IV. RESULTADOS

4.1. Obtención del extracto de cabuya azul

De acuerdo con la metodología experimental descrito en el punto 3.5 (Figura 1), como primer paso en la investigación, se procedió a la obtención del extracto etanólico de las hojas (pencas) de cabuya azul, el Cuadro 1 se presenta un resumen de la composición del extracto etanólico de cabuya azul (ECA), donde resalta un considerable contenido de compuestos fenólicos y una alta actividad antioxidante.

Cuadro 1. Rendimiento, contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de ECA

	Valor obtenido
Rendimiento (%)	3.64 ± 0.18
Compuestos fenólicos totales (mg AGE/g)*	28.38 ± 1.20
Actividad antioxidante (ug TE/g)**	1217.63 ± 28.21

Los valores se dan como media ± desviación estándar (n = 3), Determinado por los métodos * Folin-Ciocalteu y ** Catión ABTS⁺, respectivamente.

4.2. Características fisicoquímicas de fresas con y sin recubrimiento

Para el estudio se emplearon fresas variedad Monterrey de una calidad de primera y rango de tamaño D (INACAL, 2019), debido a que en el caso en particular presento mejor uniformidad en tamaño y forma; se sacó una muestra aleatoria de 25 frutas para la caracterización fisicoquímica de la materia prima, los datos obtenidos se muestran en el (Cuadro 2).

Cuadro 2. Caracterización fisicoquímica de la fresa fresca

Parámetro	Valor
Peso (g) ^a	13,84 ± 2,49
Longitud (mm) ^a	37,76 ± 3,55
Diámetro (mm) ^a	28,56 ± 1,85
	L*
	31,79 ± 2,06
Color ^b	a*
	31,70 ± 3,51
	b*
	17,50 ± 3,72
SST (°Brix) ^c	8,60 ± 0,00
pH ^c	3,37 ± 0,01
Acidez titulable (%) ^c	0,61 ± 0,02
Firmeza (N) ^b	3,70 ± 0,65
Coliformes totales (UFC/g) ^c	<1 x 10 ¹
Mohos y levadura (UFC/g) ^c	2,97 x 10 ³ ± 6,03 x 10 ²

Los valores se dan como media ± desviación estándar ^a(n = 25), ^b(n = 9), ^c(n = 3).

La fruta recibida del campo fue inmediatamente enfriada en un cámara de conservación a 4 °C por 60 minutos antes de proceder con cualquier operación. Una vez eliminado el calor de campo, las frutas fueron seleccionadas basándose en la uniformidad de tamaño, forma y la falta de lesiones, síntomas de plagas y enfermedades; el paso siguiente fue la desinfección de los frutos mediante inmersión en una solución a 20 ppm de hipoclorito de sodio por 5 minutos, se retiraron los frutos y se dejaron secar sobre papel toalla. De forma paralela se prepararon los recubrimientos según los indicado en el punto 2.5.2., la aplicación del recubrimiento se logró por

inmersión de 30 segundos, en la mezcla del recubrimiento respectivo, a una temperatura no menor de 35 °C ni mayor de 40 °C, para eliminar el exceso de la mezcla y permitir el secado, se dispuso los frutos apoyados sobre los sépalos (cáliz) en bandejas de malla metálica, por al menos 1 hora a temperatura ambiente (25 °C). Finalmente fueron ubicados en bandejas de poliestireno y almacenados a 4 °C, a espera de los respectivos análisis.

Los Cuadros 3, 4 y 5 muestran los resultados de las características fisicoquímicas evaluadas en función al tiempo de almacenamiento para los diferentes tratamientos, igualmente, las Figuras 2 al 12 muestran la variación de los valores para cada característica en función de los días de almacenamiento.

Cuadro 3. pH, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) e índice de madurez (IM) de fresas con y sin recubrimiento almacenadas a 4 °C durante 12 días.

Días en almacenamiento		0	3	6	9	12
pH	B	3,37 ± 0,01 ^{Aabc}	3,42 ± 0,06 ^{Abc}	3,28 ± 0,05 ^{Aa}	3,35 ± 0,01 ^{Abab}	3,47 ± 0,02 ^{Bc}
	T0	3,36 ± 0,04 ^{Aab}	3,42 ± 0,03 ^{Ab}	3,37 ± 0,06 ^{ABab}	3,30 ± 0,03 ^{Aa}	3,39 ± 0,02 ^{Aab}
	T1	3,34 ± 0,01 ^{Aa}	3,44 ± 0,03 ^{Ab}	3,38 ± 0,02 ^{ABa}	3,38 ± 0,02 ^{BCa}	3,47 ± 0,02 ^{Bb}
	T2	3,35 ± 0,03 ^{Aa}	3,43 ± 0,06 ^{Aa}	3,43 ± 0,05 ^{Ba}	3,41 ± 0,01 ^{Ca}	3,36 ± 0,01 ^{Aa}
	T3	3,39 ± 0,02 ^{Aa}	3,39 ± 0,03 ^{Aa}	3,40 ± 0,05 ^{ABa}	3,39 ± 0,01 ^{BCa}	3,47 ± 0,04 ^{Ba}
SST (Brix)	B	8,60 ± 0,02 ^{Aa}	8,73 ± 0,25 ^{Aa}	8,77 ± 0,06 ^{Aa}	8,90 ± 0,10 ^{Aa}	10,53 ± 0,32 ^{Bb}
	T0	8,47 ± 0,25 ^{Aa}	8,83 ± 0,12 ^{Aa}	9,77 ± 0,06 ^{Ab}	10,40 ± 0,10 ^{Dc}	10,27 ± 0,06 ^{Bc}
	T1	8,53 ± 0,06 ^{Aa}	9,97 ± 0,12 ^{Bb}	9,07 ± 0,81 ^{Aab}	9,83 ± 0,12 ^{Cb}	12,77 ± 0,12 ^{Dc}
	T2	8,60 ± 0,20 ^{Aa}	8,90 ± 0,10 ^{Aab}	9,40 ± 0,10 ^{Ac}	9,77 ± 0,06 ^{Cd}	9,17 ± 0,06 ^{Abc}
	T3	8,20 ± 0,10 ^{Aa}	8,60 ± 0,10 ^{Aab}	8,90 ± 0,40 ^{Abc}	9,33 ± 0,15 ^{Bc}	11,27 ± 0,12 ^{Cd}
Acidez titulable (%)	B	0,61 ± 0,02 ^{Aa}	0,79 ± 0,03 ^{Ab}	0,75 ± 0,08 ^{Abbc}	0,84 ± 0,05 ^{ABbc}	0,95 ± 0,04 ^{ABc}
	T0	0,70 ± 0,04 ^{Ba}	0,79 ± 0,04 ^{Aab}	0,80 ± 0,03 ^{Aab}	0,86 ± 0,01 ^{Bc}	0,98 ± 0,05 ^{ABd}
	T1	0,70 ± 0,02 ^{Ba}	0,82 ± 0,05 ^{Abc}	0,74 ± 0,04 ^{Aab}	0,85 ± 0,03 ^{ABc}	1,08 ± 0,06 ^{Bd}
	T2	0,70 ± 0,01 ^{Ba}	0,73 ± 0,08 ^{Aab}	0,76 ± 0,05 ^{Aab}	0,82 ± 0,01 ^{ABbc}	0,90 ± 0,02 ^{Ac}
	T3	0,72 ± 0,03 ^{Ba}	0,75 ± 0,02 ^{Aa}	0,74 ± 0,03 ^{Aa}	0,78 ± 0,01 ^{Aa}	0,97 ± 0,06 ^{ABc}
Índice de madurez (%)	B	14,03 ± 0,48 ^{Aa}	11,07 ± 0,61 ^{Ab}	11,73 ± 1,27 ^{Ab}	10,63 ± 0,75 ^{Ab}	11,11 ± 0,87 ^{Ab}
	T0	12,05 ± 0,33 ^{Ba}	11,20 ± 0,50 ^{Aab}	12,27 ± 0,43 ^{Aa}	12,09 ± 0,02 ^{Ba}	10,49 ± 0,52 ^{Ab}
	T1	12,25 ± 0,22 ^{Ba}	12,23 ± 0,75 ^{Aa}	12,29 ± 0,53 ^{Aa}	11,62 ± 0,46 ^{ABa}	11,84 ± 0,61 ^{Aa}
	T2	12,34 ± 0,21 ^{Ba}	12,30 ± 1,41 ^{Aa}	12,45 ± 0,63 ^{Aa}	11,86 ± 0,15 ^{Bab}	10,19 ± 0,24 ^{Ab}
	T3	11,46 ± 0,66 ^{Ba}	11,42 ± 0,33 ^{Aa}	12,10 ± 0,96 ^{Aa}	12,02 ± 0,35 ^{Ba}	11,69 ± 0,83 ^{Aa}

Los valores se dan como media ± desviación estándar (n = 3). Diferentes letras mayúsculas dentro de una columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$). Diferentes letras pequeñas dentro de una fila indican diferencias significativas debido al tiempo de almacenamiento ($p \leq 0,05$). B: control; T0: solo recubrimiento; T1: recubrimiento + 0,1% ECA; T2: recubrimiento + 0,3% ECA; T4: recubrimiento + 0,5% ECA.

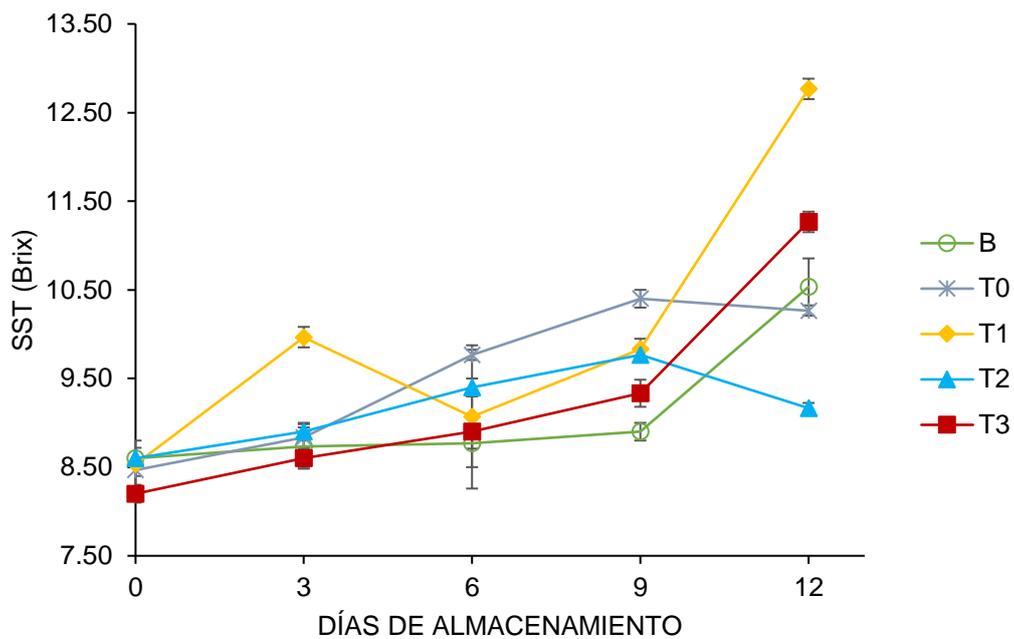


Figura 2. Variación de SST en fresas con y sin recubrimiento durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.

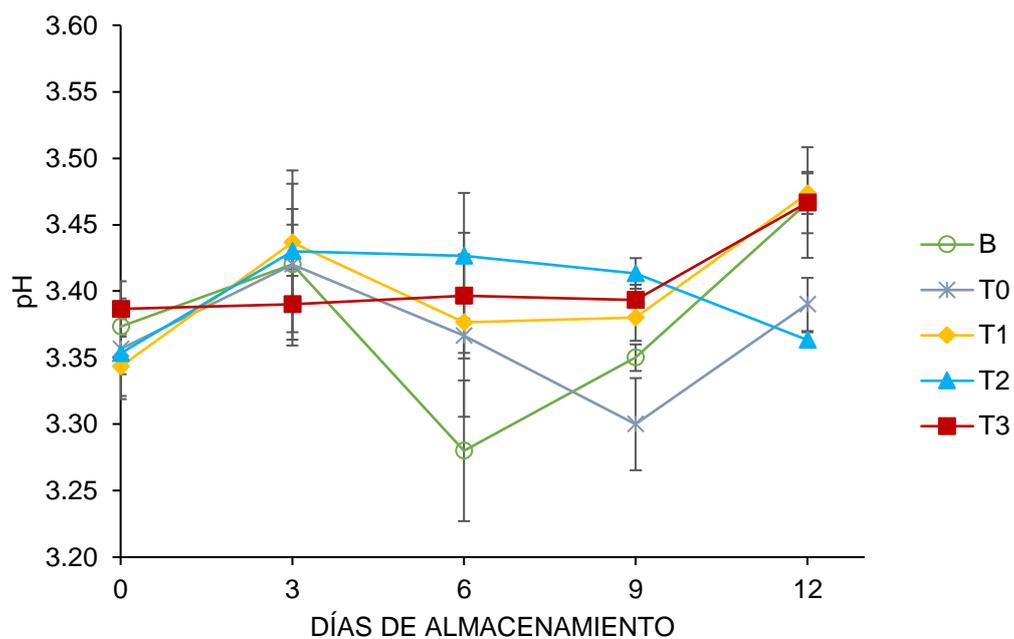


Figura 3. Variación de pH en fresas con y sin recubrimiento durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.

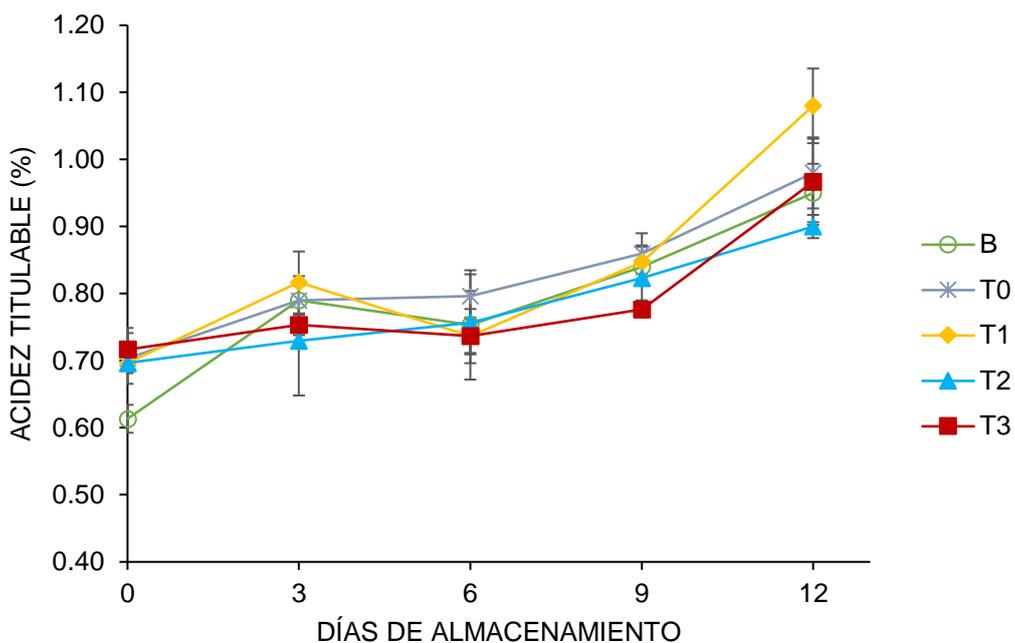


Figura 4. Variación de acidez titulable en fresas con y sin recubrimiento durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.

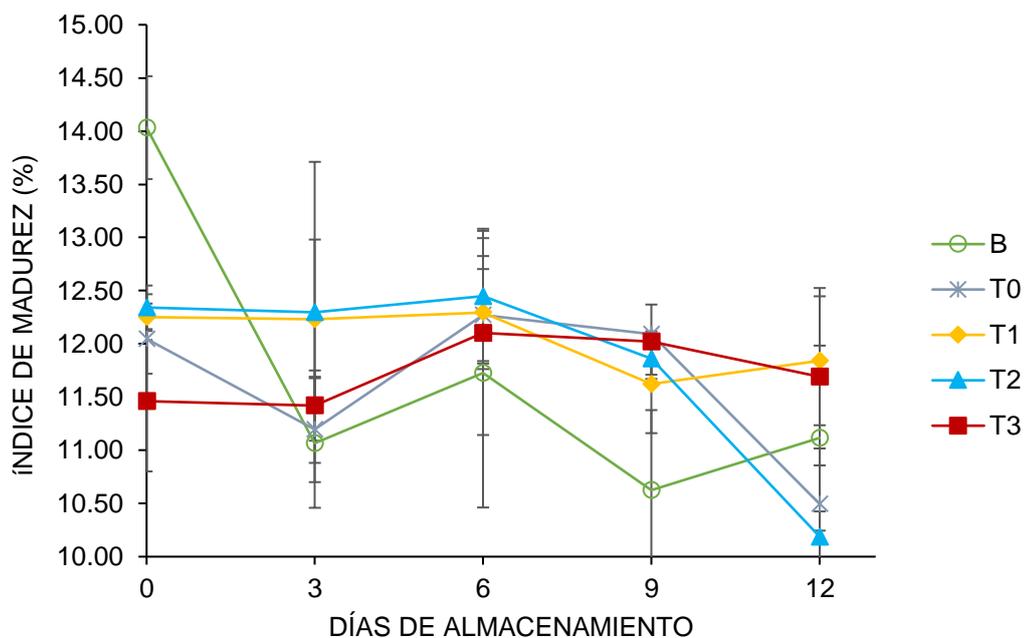


Figura 5. Variación del índice de madurez en fresas con y sin recubrimiento durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.

Cuadro 4. Pérdida de peso, firmeza e índice de decaimiento de fresas con y sin recubrimiento almacenadas a 4 ° C.

Días en almacenamiento		0	3	6	9	12
Pérdida de peso (%)	B	--	5,84 ± 0,76 ^{ABa}	13,52 ± 2,63 ^{ABb}	21,76 ± 2,06 ^{Bc}	29,20 ± 3,04 ^{Cd}
	T0	--	7,41 ± 2,27 ^{Ba}	13,62 ± 3,59 ^{ABb}	20,87 ± 4,85 ^{AB}	28,05 ± 5,03 ^{BCd}
	T1	--	7,50 ± 1,56 ^{Ba}	16,30 ± 2,51 ^{Bb}	23,37 ± 4,78 ^{Bc}	32,08 ± 5,59 ^{Cd}
	T2	--	5,39 ± 1,03 ^{Aa}	11,30 ± 2,50 ^{Ab}	16,52 ± 2,85 ^{Ac}	20,98 ± 4,42 ^{Ad}
	T3	--	5,30 ± 0,52 ^{Aa}	11,77 ± 1,51 ^{Ab}	16,98 ± 1,85 ^{Ac}	22,39 ± 3,38 ^{ABd}
Firmeza (N)	B	3,70 ± 0,65 ^{Aa}	3,97 ± 1,46 ^{Aab}	5,90 ± 2,11 ^{Ac}	5,94 ± 0,90 ^{ABca}	5,76 ± 1,69 ^{Ab}
	T0	4,53 ± 1,25 ^{Aab}	4,13 ± 1,48 ^{Aa}	5,56 ± 0,48 ^{Abc}	6,75 ± 1,08 ^{Ac}	6,12 ± 1,03 ^{Ac}
	T1	4,25 ± 0,89 ^{Aab}	4,47 ± 1,36 ^{Aab}	5,21 ± 0,98 ^{Ac}	5,31 ± 1,31 ^{ABc}	3,70 ± 0,86 ^{Ca}
	T2	4,53 ± 1,01 ^{Aa}	4,34 ± 1,16 ^{Aa}	5,36 ± 1,49 ^{Aa}	5,55 ± 1,35 ^{ABa}	5,52 ± 1,70 ^{ABa}
	T3	4,30 ± 1,36 ^{Aa}	5,06 ± 1,28 ^{Aa}	5,07 ± 1,02 ^{Aa}	4,95 ± 1,34 ^{Ba}	3,95 ± 0,97 ^{BCa}
DECAIMIENTO VISUAL (%)	B	--	12,96 ± 1,90 ^C	54,63 ± 4,24 ^C	78,70 ± 4,24 ^C	87,04 ± 1,60 ^D
	T0	--	9,26 ± 1,60 ^{BC}	40,74 ± 6,99 ^B	62,04 ± 5,78 ^{AB}	70,37 ± 1,60 ^C
	T1	--	3,70 ± 1,60 ^A	37,04 ± 3,21 ^B	55,56 ± 2,78 ^A	61,11 ± 2,78 ^B
	T2	--	4,63 ± 1,60 ^{AB}	24,07 ± 1,60 ^A	52,78 ± 2,78 ^A	57,41 ± 1,60 ^A
	T3	--	5,56 ± 2,78 ^{AB}	39,81 ± 4,24 ^B	65,74 ± 1,60 ^B	70,37 ± 1,60 ^C

Los valores se dan como media ± desviación estándar (n = 9). Diferentes letras mayúsculas dentro de una columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$). Diferentes letras pequeñas dentro de una fila indican diferencias significativas debido al tiempo de almacenamiento ($p \leq 0,05$). B: control; T0: solo recubrimiento; T1: recubrimiento + 0,1% ECA; T2: recubrimiento + 0,3% ECA; T4: recubrimiento + 0,5% ECA.

Cuadro 5. Valore L*, a*, C* y ΔE de fresas con y sin recubrimiento almacenadas a 4 ° C durante 12 días.

Días en almacenamiento		0	3	6	9	12
L*	B	31,79 ± 2,06 ^{Aa}	30,36 ± 1,55 ^{Ba}	30,36 ± 1,30 ^{Ba}	30,29 ± 2,78 ^{Ba}	30,42 ± 2,40 ^{Ca}
	T0	32,72 ± 3,38 ^{Aa}	33,30 ± 3,02 ^{ABa}	33,68 ± 1,23 ^{Aa}	33,24 ± 2,99 ^{ABa}	34,72 ± 1,26 ^{ABa}
	T1	32,80 ± 3,56 ^{Aa}	32,50 ± 2,46 ^{ABa}	34,63 ± 3,03 ^{Aa}	33,61 ± 2,69 ^{ABa}	33,24 ± 1,88 ^{BCa}
	T2	33,04 ± 2,58 ^{Ab}	33,87 ± 2,16 ^{Aab}	33,61 ± 2,17 ^{Aab}	34,61 ± 2,31 ^{Aab}	36,83 ± 3,43 ^{Aa}
	T3	31,79 ± 2,06 ^{Ab}	33,68 ± 2,32 ^{Aab}	33,69 ± 2,25 ^{Aab}	35,83 ± 2,73 ^{Aa}	32,28 ± 1,45 ^{BCb}
a*	B	31,70 ± 3,51 ^{Aa}	33,61 ± 4,09 ^{Aa}	29,24 ± 3,15 ^{Aab}	28,93 ± 4,54 ^{Aab}	25,06 ± 2,72 ^{Ab}
	T0	30,58 ± 3,60 ^{Aa}	28,28 ± 3,44 ^{Ba}	22,33 ± 3,05 ^{Bb}	23,19 ± 5,07 ^{ABb}	22,00 ± 3,03 ^{Ab}
	T1	27,90 ± 3,27 ^{Aa}	25,16 ± 2,27 ^{Bab}	23,98 ± 4,72 ^{Bab}	21,14 ± 4,85 ^{Bb}	21,80 ± 4,42 ^{Ab}
	T2	27,63 ± 4,72 ^{Aa}	25,60 ± 1,74 ^{Bab}	25,33 ± 2,66 ^{ABab}	23,06 ± 1,96 ^{ABb}	23,01 ± 3,13 ^{Ab}
	T3	31,38 ± 2,45 ^{Aa}	28,37 ± 2,90 ^{Bab}	26,74 ± 3,09 ^{ABabc}	25,71 ± 5,26 ^{ABbc}	22,77 ± 2,83 ^{Ac}
C*	B	36,23 ± 4,67 ^{Aa}	33,62 ± 5,68 ^{Aa}	30,53 ± 3,73 ^{Aab}	31,32 ± 5,63 ^{Aab}	35,01 ± 2,84 ^{Ab}
	T0	38,36 ± 6,03 ^{Aa}	31,62 ± 3,42 ^{Bab}	27,44 ± 3,52 ^{Cc}	28,53 ± 5,74 ^{ABbc}	31,27 ± 3,66 ^{Bc}
	T1	33,17 ± 3,75 ^{Aa}	24,59 ± 2,58 ^{Bab}	26,88 ± 5,49 ^{BCab}	28,63 ± 5,61 ^{Bb}	29,16 ± 3,83 ^{ABab}
	T2	32,88 ± 5,29 ^{Aa}	26,22 ± 2,43 ^{Bab}	23,72 ± 2,67 ^{Bab}	25,86 ± 2,53 ^{ABb}	28,34 ± 3,94 ^{ABab}
	T3	29,20 ± 3,71 ^{Aa}	24,17 ± 3,33 ^{Bab}	27,91 ± 3,71 ^{Bbc}	28,20 ± 6,11 ^{ABbc}	25,04 ± 3,17 ^{ABc}
ΔE	B	-	5,63 ± 2,84 ^{Aa}	5,20 ± 1,77 ^{Aab}	6,93 ± 2,70 ^{Ab}	8,24 ± 8,24 ^{Ab}
	T0	-	5,81 ± 2,63 ^{Aa}	8,97 ± 3,23 ^{Ba}	8,89 ± 4,18 ^{Aa}	9,91 ± 2,80 ^{Aa}
	T1	-	4,71 ± 1,80 ^{Aa}	7,27 ± 2,30 ^{ABa}	8,47 ± 3,87 ^{Aa}	7,38 ± 3,42 ^{Aa}
	T2	-	4,99 ± 2,67 ^{Aab}	4,28 ± 2,00 ^{Aa}	6,37 ± 2,33 ^{Aab}	7,99 ± 3,24 ^{Ab}
	T3	-	5,97 ± 2,58 ^{Aa}	7,19 ± 3,11 ^{ABab}	10,58 ± 2,64 ^{Ab}	10,15 ± 3,15 ^{Ab}

Los valores se dan como media ± desviación estándar (n = 9). Diferentes letras mayúsculas dentro de una columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$). Diferentes letras pequeñas dentro de una fila indican diferencias significativas debido al tiempo de almacenamiento ($p \leq 0.05$). B: control; T0: solo recubrimiento; T1: recubrimiento + 0.1% ECA; T2: recubrimiento + 0.3% ECA; T4: recubrimiento + 0.5% ECA.

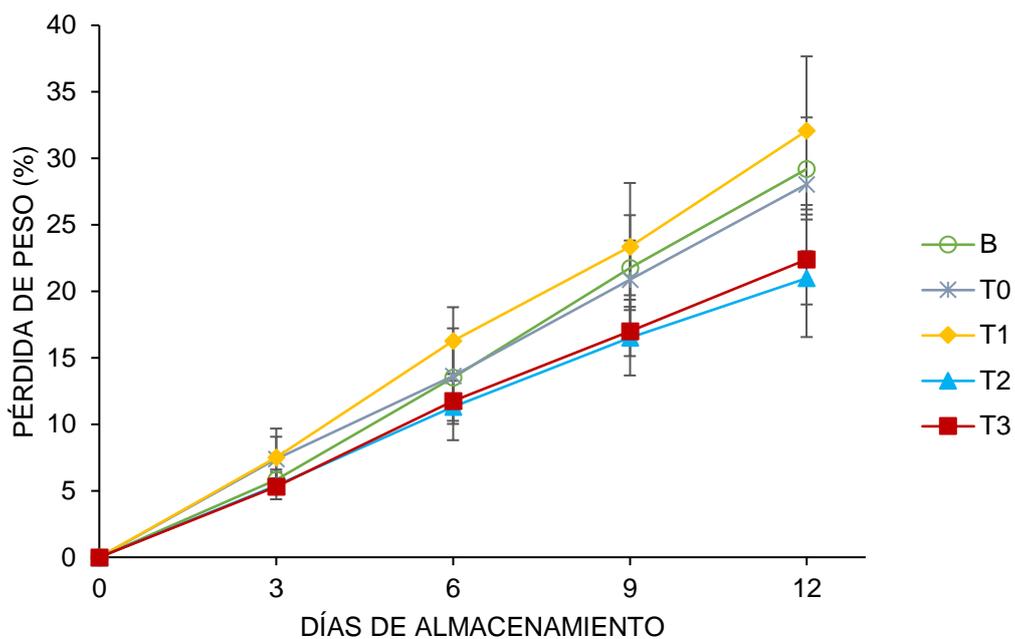


Figura 6. Pérdida de peso de fresas con y sin recubrimiento durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.

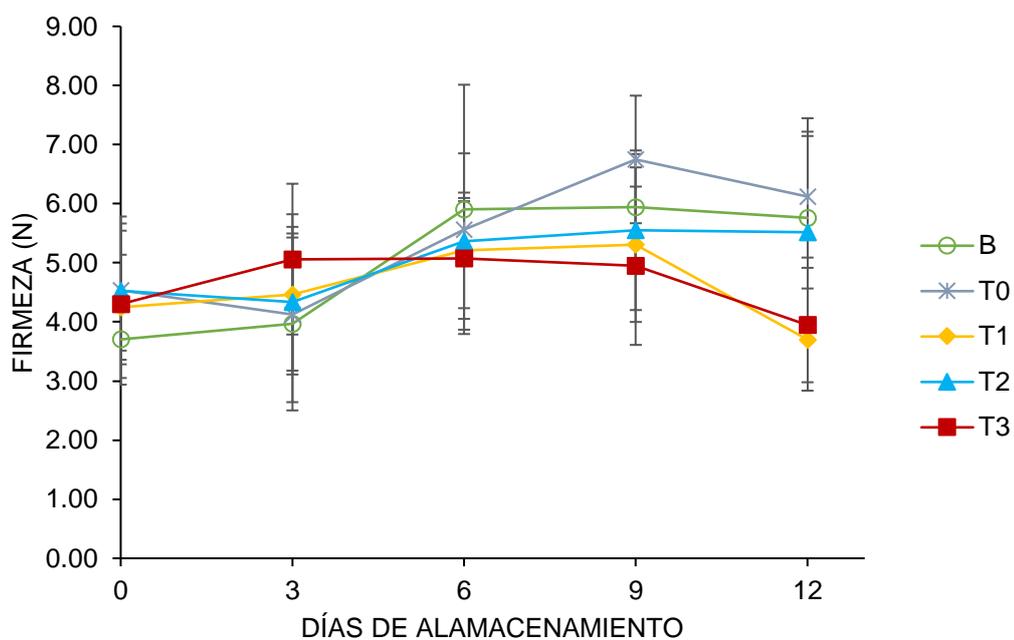


Figura 7. Firmeza (N) de fresas con y sin recubrimiento durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.

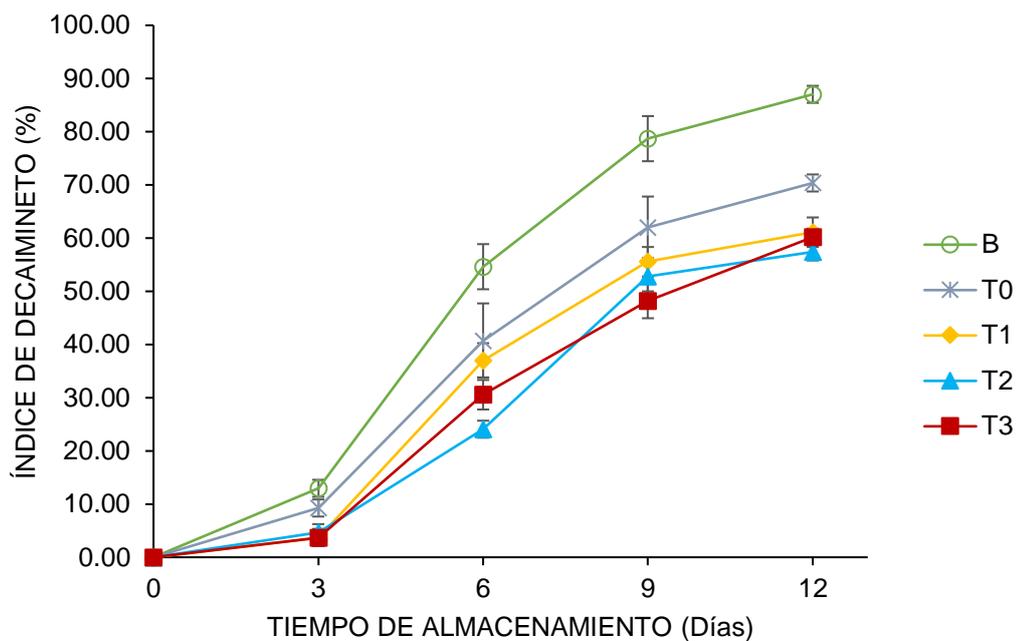


Figura 8. Índice de decaimiento visual de fresas recubiertas y no recubiertas durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.

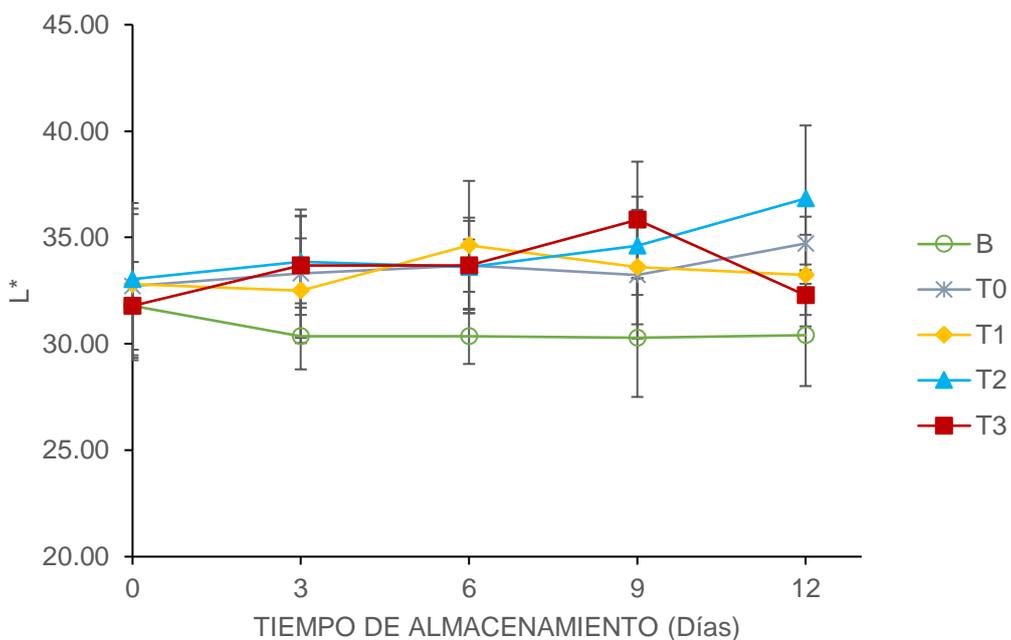


Figura 9. Variación de luminosidad (L^*) de fresas recubiertas y no recubiertas durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.

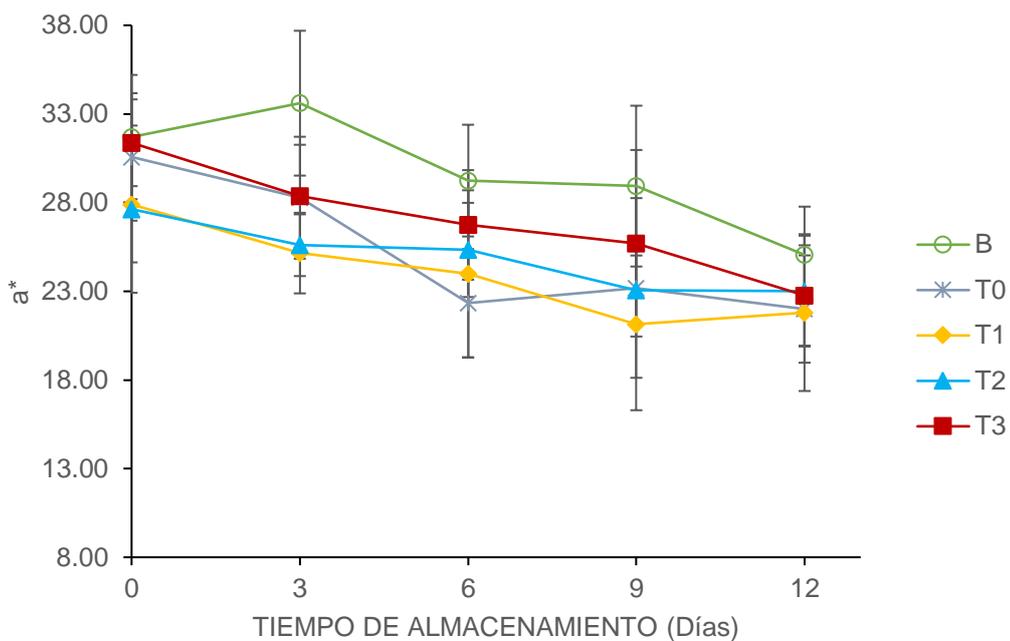


Figura 10. Variación de a^* en fresas recubiertas y no recubiertas durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.

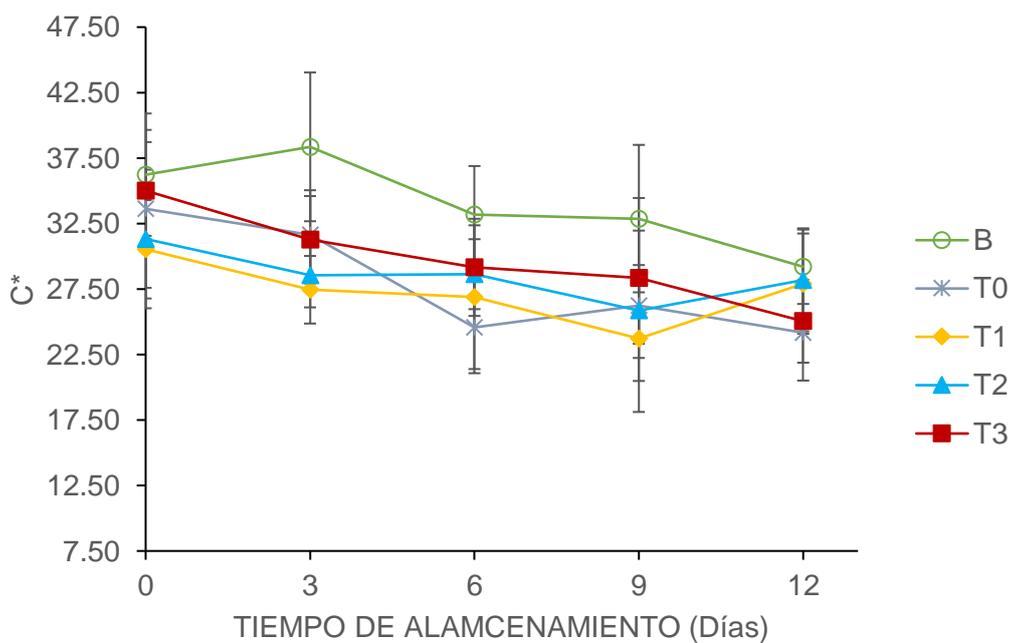


Figura 11. Variación de C^* en fresas recubiertas y no recubiertas durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.

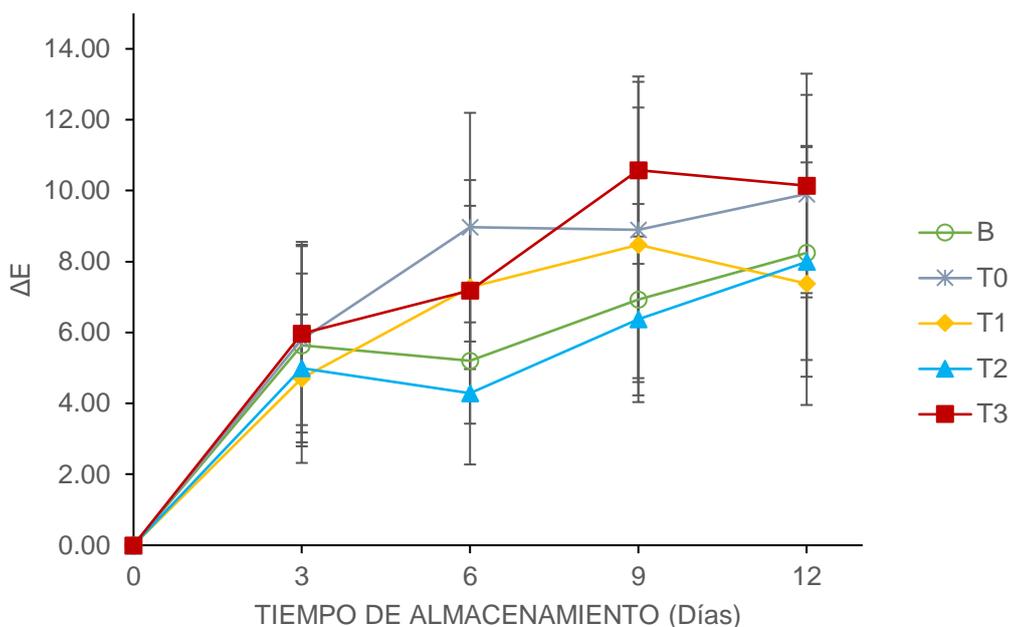


Figura 12. Variación de ΔE en fresas recubiertas y no recubiertas durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.

4.3. Características microbiológicas de fresas con y sin recubrimiento

Por limitaciones técnicas, los análisis microbiológicos de los frutos con y sin recubrimiento se realizaron los días 1, 4, 7, 10 y 13; los resultados se muestran en el Cuadro 6; además las Figuras 13 y 14, muestran la variación de coliformes totales, mohos y levaduras en función en tiempo, expresados como Log (UFC/g).

Cuadro 6. Coliformes totales, mohos y levadura, en fresas con y sin recubrimiento en almacenamiento a 4 °C

Días en almacenamiento		1	4	7	10	13
Coliformes Totales	B	<1,00 ± 0,00 ^{Aa}	3,70 ± 0,03 ^{Bb}	4,47 ± 0,05 ^{Dc}	4,33 ± 0,09 ^{Cc}	5,04 ± 0,09 ^{Dd}
	T0	<1,00 ± 0,00 ^{Aa}	2,12 ± 0,09 ^{Ab}	3,09 ± 0,10 ^{Cc}	3,24 ± 0,05 ^{Bc}	3,71 ± 0,04 ^{Cd}
	T1	<1,00 ± 0,00 ^{Aa}	2,13 ± 0,07 ^{Ab}	2,81 ± 0,07 ^{Bc}	3,01 ± 0,11 ^{Ad}	3,18 ± 0,02 ^{Bd}
	T2	<1,00 ± 0,00 ^{Aa}	2,14 ± 0,09 ^{Ab}	2,67 ± 0,09 ^{ABc}	3,22 ± 0,06 ^{Bd}	3,10 ± 0,10 ^{Bd}
	T3	<1,00 ± 0,00 ^{Aa}	2,09 ± 0,10 ^{Ab}	2,61 ± 0,06 ^{Ac}	2,81 ± 0,03 ^{Ad}	2,87 ± 0,05 ^{Ad}
Mohos y Levaduras	B	3,94 ± 0,06 ^{Ea}	4,26 ± 0,06 ^{Cb}	4,70 ± 0,06 ^{Cc}	5,43 ± 0,11 ^{Bd}	6,04 ± 0,06 ^{Ce}
	T0	3,71 ± 0,03 ^{Da}	3,51 ± 0,05 ^{Bb}	4,55 ± 0,04 ^{BCc}	5,40 ± 0,10 ^{Bd}	5,88 ± 0,06 ^{Ce}
	T1	3,31 ± 0,04 ^{Ca}	3,41 ± 0,03 ^{Ba}	4,33 ± 0,15 ^{Bb}	5,21 ± 0,09 ^{Bc}	5,00 ± 0,07 ^{Ac}
	T2	3,06 ± 0,05 ^{Ba}	3,12 ± 0,05 ^{Aa}	3,43 ± 0,05 ^{Ab}	4,91 ± 0,10 ^{Ac}	5,08 ± 0,02 ^{ABd}
	T3	2,84 ± 0,04 ^{Aa}	3,09 ± 0,02 ^{Ab}	3,65 ± 0,11 ^{Ac}	4,81 ± 0,06 ^{Ad}	5,23 ± 0,10 ^{Be}

Los valores se dan como media ± desviación estándar (n = 3). Diferentes letras mayúsculas dentro de una columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$). Diferentes letras pequeñas dentro de una fila indican diferencias significativas debido al tiempo de almacenamiento ($p \leq 0,05$). B: control; T0: solo recubrimiento; T1: recubrimiento + 0,1% ECA; T2: recubrimiento + 0,3% ECA; T4: recubrimiento + 0,5% ECA.

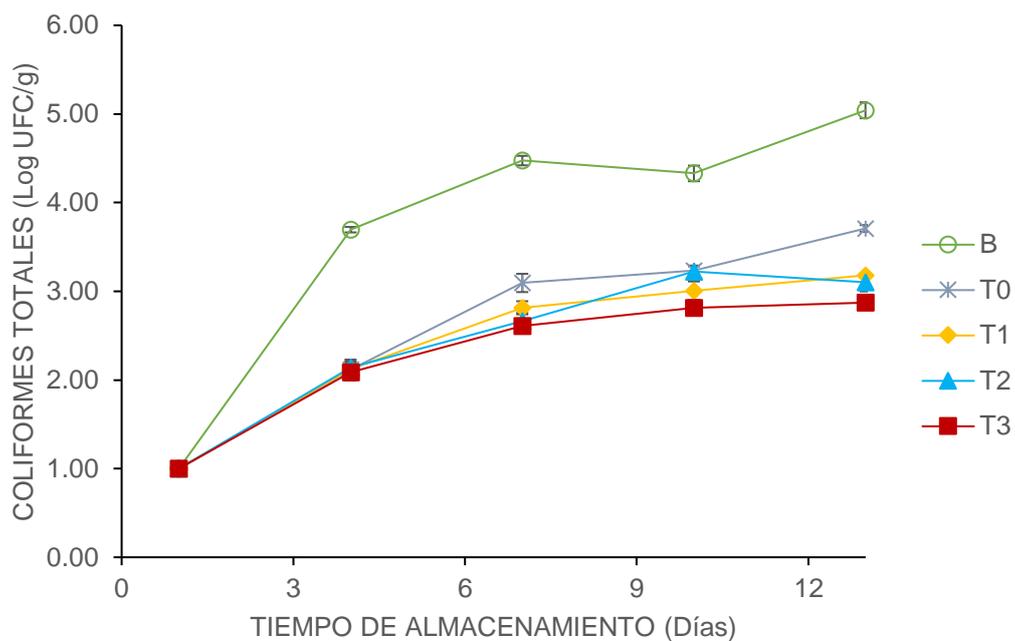


Figura 13. Recuentos coliformes totales de fresas recubiertas y no recubiertas durante en almacenamiento a 4 °C durante 13 días.

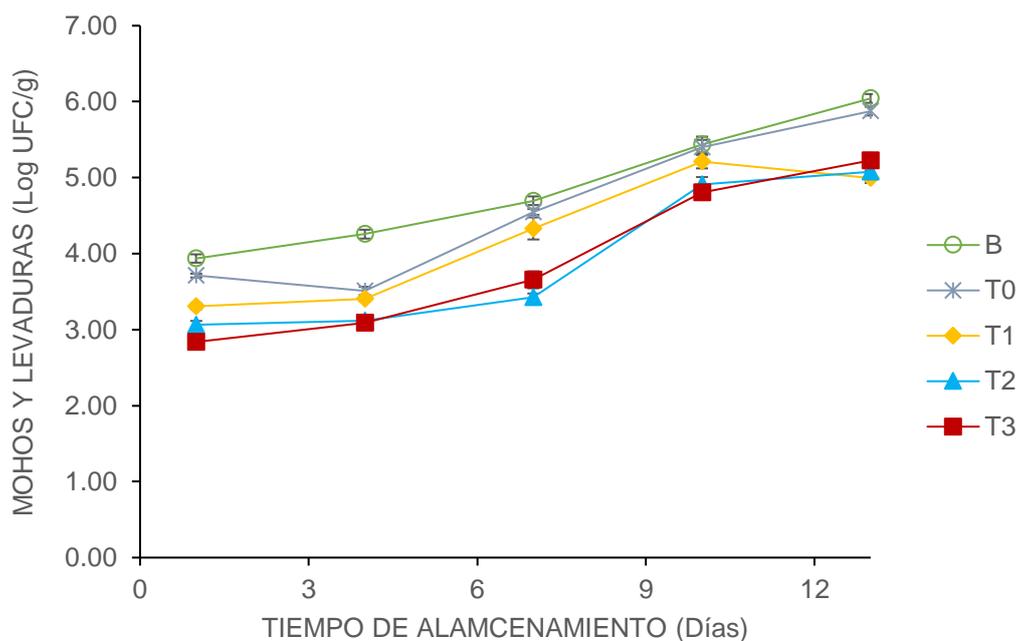


Figura 14. Recuentos de mohos y levaduras de fresas recubiertas y no recubiertas durante en almacenamiento a 4 °C durante 13 días.

V. DISCUSIONES

5.1. Obtención del extracto etanólico de cabuya azul

Para el ECA se obtuvo un rendimiento del $3,64 \pm 0,18$ %, siendo superior a los 2,5% mencionado por GULERIA Y KUMAR (2009), la variación puede explicarse por la diferente especie y solvente empleados por los autores (*Agave americana* y metanol), así como en la materia prima empleada para los extractos, los autores usaron hojas frescas siendo secadas y posteriormente molidas (extracto de color verde), mientras que en este estudio de empleo hojas secas (marchitas) de agave (extracto de color amarillo).

El extracto mostró un contenido compuestos fenólicos de $28,38 \pm 120$ mg AGE/g, valores que se acercan a los $21,7 \pm 0,8$ mg AGE/g para *Agave angustifolia* mencionado por López-Romero et al. (2018), pero superando por mucho el rango de $2,06 \pm 0,25$ a $12,37 \pm 2,35$ mg AGE/g para extractos metanólicos de seis especies de agave estudiados por AHUMADA-SANTOS et al. (2013); la diferencia podría deberse en gran medida la especie y estado de madurez de las hojas empleadas para los extractos.

La actividad antioxidante de ECA para el ensayo ABTS, fue de $4864 \pm 112,71$ μ M TE/g ($1212,63 \pm 28,21$ ug TE/g), valores que superan por mucho a los $212,12 \pm 1,65$ y 239.1 ± 11.2 μ M TE/g encontrados para los extractos metanólicos de *Agave rzedowskiana* y *Agave angustifolia* investigados por AHUMADA-SANTOS et al. (2013) y LÓPEZ-ROMERO et al. (2018).

5.2. Características fisicoquímicas de fresas con y sin recubrimiento

De acuerdo a la categorización indicada en la NTP 011.011.1975 (INACAL, 2019), el fruto empleado en esta investigación se lo define como calidad primera calibre D, ya que presento un diámetro de $28,56 \pm 1,85$

superior a los 26 mm considerados para esta calidad y se ubica dentro del rango de 26 a 32 mm para el calibre D. Asimismo, el promedio de peso y longitud de las fresas fueron de $13,84 \pm 2,49$ y $37,76 \pm 3,55$, respectivamente, valores que ratifican la pertenencia a la mencionada categoría de calidad. No obstante, los valores son inferiores a los encontrados por RUIZ (2015), para peso, longitud y diámetro de fresas cultivar Oso grande ($15,89 \pm 0,16$, $43,29 \pm 0,63$ y $30,32 \pm 0,13$, respectivamente). La variación obedece claramente al tipo de cultivar, tiempo de cosecha, clima, sistema de producción, entre otros factores.

Los sólidos solubles totales (SST) es uno de los más importantes parámetros que afectan la calidad y aceptabilidad de los consumidores, y un valor más alto es referido como preferible (JIANG *et al.*, 2020). El porcentaje de sólidos solubles en la fresa frescas fue de $8,60 \pm 0,02$ (°Brix), valor levemente superior a $8,30 \pm 0,25$ para fresas cultivar Aromas, hallado por ESCALANTE-VARONA (2015).

Los cambios de SST de fresas durante almacenamiento se presentaron en la Figura 2 y Cuadro 3, donde se percibe un incremento para todos los tratamientos, con excepción de T0 y T2, que mostraron una caída entre el día 9 al 12, comportamiento similar a lo reportado por JIANG *et al.* (2020) y RUIZ (2015). Por el contrario, los valores encontrados difieren a los mencionados por RESTREPO Y ARISTIZÁBAL (2010) y AITBOULAHSEN *et al.* (2018), quienes comprobaron una reducción de los SST para todos sus tratamientos incluido el control (sin recubrimiento). El ligero aumento podría atribuirse al desmontaje de la pared celular, la disminución de la tasa de respiración y el aumento de la materia seca debido a la pérdida de agua.

Contrario a lo esperado, las fresas control (B, sin recubrimiento) presentaron el mejor comportamiento con respecto a la conservación de los SST, encontrándose valores significativamente ($p < 0,05$) más altos únicamente para el día 12 (variando solo un 3,49% al noveno día); por el contrario, T0 mostró el incremento más significativo en el noveno día (alrededor del 22,48%). Hacia el día 12 se registró una reducción en T2 y T0,

ubicando al primero como el mejor tratamiento (seguido de B y T0), esto indica que el uso de este recubrimiento no reduciría la velocidad de la respiración y la actividad metabólica y, por lo tanto, no retrasaría la descomposición del SST durante almacenamiento a 4 °C. sin embargo, es necesario el análisis de las demás características de calidad para una distinción del mejor tratamiento.

El pH refleja los cambios del contenido de ácido orgánico en la fruta fresca durante el almacenamiento. Las fresas frescas exhibieron un pH de $3,37 \pm 0,01$; valor ligeramente por debajo del rango de 3,65 a 3,84 para fresas silvestres (ALMENAR-ROSALENY, 2005), $3,5 \pm 0,03$ para fresas del cultivar Aromas (ESCALANTE-VARONA, 2015) y 3,51 para el cultivar Camarrosa (GONZÁLEZ-CABRERA, 2011); sin embargo, se observa una marcada diferencia frente a $4,09 \pm 0,07$ mencionado por JIANG *et al.* (2019).

Como se muestra en la Figura 3, los valores de pH mostraron ligeras fluctuaciones en función al tiempo de almacenamiento, a partir del sexto día se observaron valores significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre los tratamientos. Donde la fruta sin recubrimiento exhibió una marcada reducción de pH en comparación con el resto de los tratamientos, comportamiento similar se registró para T0 en el noveno día. En la Figura 3 y Cuadro 3, también es notorio que T3 mantuvo efectivamente el valor de pH ($p > 0,05$) hasta el hasta el día 9. Finalmente, el día 12 se encontró incrementos significativos para B, T1 y T3 respecto a los valores iniciales (2,7: 3,89 y 2,36%, respectivamente), y no así para T0 y T2 no mostraron variación; evidenciando que estos recubrimientos podrían ser efectivos para mantener estables los valores de pH durante 12 días de almacenamiento en frío. Este comportamiento podría explicarse por el hecho de que el recubrimiento proporciona una capa con menor permeabilidad al vapor de agua, y esta característica se vería favorecida al incrementar la proporción de ECA. Estos resultados estuvieron de acuerdo con lo informado HAJJI *et al.* (2018), quienes indica que el aumento en los valores de pH podría estar relacionado con el deterioro de la fresa, con la formación de compuestos de

autólisis alcalina (como los compuestos nitrogenados) y también la producción de metabolitos fúngicos en la superficie de la fruta, ya que el pH cambia con el aumento de valores de UFC/g; asimismo autores como RUÍZ (2015) y JIANG *et al.* (2020), corroborar comportamientos similares.

En cuanto a la acidez, esta se encuentra significativamente relacionada con el pH, esto se debe a que a medida que el pH se incrementa, la acidez va a disminuir, ya que con el aumento de la maduración se observa un descenso del contenido de acidez titulable (AT), lo que indica, que se está utilizando los ácidos del fruto como sustrato de respiración, debido a que los ácidos, en comparación con los hidratos de carbono, contiene por cada átomo de C y H, más átomos de O y así, la liberación de CO₂ es mayor que la toma de O₂ (GONZÁLEZ-CABRERA, 2011). En el Cuadro 3 se observa que la acidez titulable al día 0 en fresas sin recubrimiento fue de $0,61 \pm 0,02\%$, siendo significativamente menor que para las recubiertas ($0,70 \pm 0,02\%$, en promedio); valores diferente a los reportados por AITBOULAHSEN *et al.* (2018) ($0,57 \pm 0,02\%$) y ESCALANTE-VARONA (2015) ($1,07 \pm 0,16\%$).

La Figura 4 muestra la evolución de la acidez titulable (AT) para los diferentes grupos de fresas durante el almacenamiento. La concentración de ácido cítrico mostró variación significativa ($p < 0,05$) entre tratamientos para los días 9 y 12. Por otra parte, se registró un incremento de AT en todos los tratamientos, especialmente para el duodécimo día, hallándose diferencias significativas únicamente para T1 respecto a los demás tratamientos, lo que indicaría ser menos eficiente en la retención de AT. Los resultados son consistentes con el comportamiento observado para pH; a pesar de ello, el incremento de AT no coincide con la reducción esperada derivado del metabolismo en las fresas o el uso de ácidos orgánicos en el proceso respiratorio, como lo hallado por GOL *et al.* (2013), HAJJI *et al.* (2018) y CHU *et al.* (2020), quienes informaron que los recubrimientos podrían afectar el patrón metabólico de las fresas, así como reducir la tasa de respiración y el uso de ácidos orgánicos, aliviando así la descomposición de la fruta. El

discordante comportamiento podría explicarse si se toma en cuenta la considerable pérdida de peso (principalmente agua) y consiguiente concentración de solutos en los frutos.

Entre tanto, el índice de madurez (IM) de fresas frescas sin recubrimiento fue de $14,03 \pm 0,48$, superando considerablemente a los 7,76 reportado por ESCALANTE-VARONA (2015); este valor también fue significativamente superior a lo hallado para los otros tratamientos. Durante el almacenamiento en frío ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$), se evidenció un comportamiento discrepante con un esperado incremento de los valores para IM en B, T0 y T2, mostrándose una reducción significativa en comparación con los valores iniciales de los mismos (Figura 5); datos que no concuerdan con lo reportado por AITBOULAHSEN *et al.* (2018) y VALENZUELA *et al.* (2015), cuyos estudios demostraron un significativo incremento de los valores de IM. En contraste, los tratamientos T1 y T3 no mostraron variación ($p < 0,05$) durante el almacenamiento, evidenciando ser eficientes en la conservación del IM.

Las fresas son altamente susceptibles a la rápida pérdida de agua, lo que resulta de una piel muy delgada, ello induce la contracción y el debilitamiento de los tejidos. De hecho, la pérdida de peso se conoce como un gran indicador de la frescura de la fruta que ocurre principalmente debido a la pérdida de agua por transpiración y la pérdida de reservas de carbono como resultado de la respiración (HAJJI *et al.*, 2018). El Cuadro 4 y Figura 6, muestran la evolución de la pérdida de peso para los tratamientos, los resultados mostraron que, desde el día 3, la pérdida de peso fue significativamente menor para T2 y T3, mostrando una mejora en la conservación del peso de las fresas con una disminución de al menos el 5,65% en los valores de pérdida de peso, en contraste se encontró que B (las fresas sin recubrimiento), T0 y T1 registraron valores significativamente superiores al final de los 12 días de almacenamiento (29,20; 28,05 y 32,08%, respectivamente), no mostrando variación entre sí. Este comportamiento podría deberse al carácter hidrofóbico que provee la adición del extracto de cabuya a la mezcla del recubrimiento. De hecho, las diferentes capacidades

informadas para reducir la pérdida de peso se relacionaron con la permeabilidad al vapor de agua distinta del polímero utilizado en la preparación de recubrimientos comestibles. Los resultados mostraron que los recubrimientos comestibles T2 y T3 fueron más efectivos para conferir una barrera física a la pérdida de humedad y, por lo tanto, retrasar la deshidratación y el deterioro de las frutas. Estos resultados estuvieron de acuerdo con los reportados por AITBOULAHSEN *et al.* (2018) y CHU *et al.* (2020).

La textura es un atributo crítico de calidad en la aceptabilidad del consumidor de frutas y verduras frescas. La fresa es una fruta blanda que sufre una rápida pérdida de firmeza durante la maduración, lo que contribuye en gran medida a su corta vida poscosecha y a la susceptibilidad a la contaminación por hongos. Las propiedades de textura de la fruta se ven afectadas por la turgencia celular, así como la estructura y composición de los polisacáridos de esta.

Como se muestra en la Figura 7, las fresas control (B) y sin adición de extracto de cabuya (T0), exhibieron un sustancial incremento de firmeza durante el almacenamiento de su firmeza inicial al final del almacenamiento (55,45 y 34,94%, respectivamente), mientras que no hubo diferencias significativas en la firmeza entre el recubrimiento T2 y T3 durante el almacenamiento, aun cuando el primero registro un incremento de casi el 22% de su firmeza inicial y el segundo una reducción de cerca de 8%. El tratamiento T2 mostro un incremento para el noveno día (25%), seguido de una marcada pérdida de firmeza al día 12 (37% en contraste con el noveno día). Si bien la base bioquímica del ablandamiento de fresa no está clara, se le ha asociado con la degradación de la lámina media de las células del parénquima cortical, lo que resulta en un aumento dramático en la solubilización de pectina, con ligeros cambios en el peso molecular de la pectina y pequeñas disminuciones en el contenido de hemicelulosas, pudiendo ser causa de la pérdida de agua, la respiración de la fruta y el daño a los tejidos estructurales debido al moho (CHU *et al.*, 2020; HERNÁNDEZ-

MUÑOZ *et al.*, 2008). El uso de recubrimiento a base de almidón con incorporación de extracto de cabuya azul fue capaz de proporcionar una barrera que mejoró las capacidades antimicrobianas y redujo la pérdida de agua y la respiración, por lo tanto, alivió la tasa de pérdida de firmeza de la fruta. Por el contrario, debido a la alta afinidad con el agua, el recubrimiento sin adición de extracto mostró una barrera de agua más baja, por lo tanto, no pudo formar una barrera eficiente contra la humedad para reducir la consiguiente deshidratación y/o descomposición de la fruta. Resultados similares para tratamientos en estudios fueron obtenidos por AITBOULAHSEN *et al.* (2018) y JIANG *et al.* (2020); no así para los controles, donde las investigaciones reportan una considerable tasa de reducción de firmeza, contrario a lo hallado en este estudio, este comportamiento anómalo podría deberse a un elevado porcentaje de pérdida de peso en los frutos, provocando una deshidratación de estas y su consecuente endurecimiento.

Se sabe que las fresas son productos altamente perecederos y tienen actividades fisiológicas notables después de la cosecha (GARCÍA *et al.* 1998). En la figura 8, se puede ver que el porcentaje de descomposición aumentó durante el almacenamiento para todos los grupos, pero los recubrimientos con adición de extracto de cabuya azul disminuyeron significativamente el porcentaje de descomposición de las muestras en comparación con los otros dos grupos durante el período. Los signos de descomposición del control (B) y el grupo de recubrimiento sin aditivo (T0) aparecieron después del tercer día de almacenamiento, y al final del período de almacenamiento de 12 días, el porcentaje de descomposición fue de más del 70%. Los resultados son similares a los hallados por AITBOULAHSEN *et al.* (2018), HAJJI *et al.* (2018) y CHU *et al.* (2020). Por otro lado, la tasa de descomposición de la fruta recubierta con adición de ECA se vio reducida en más del 25% después de 12 días de almacenamiento, en comparación con un 16% para el recubrimiento sin extracto, lo que indica que dichos métodos resultaron ser más eficientes para reducir la descomposición que los otros dos métodos. El mejor impacto del recubrimiento con adición de

ECA pudo deberse principalmente a sus capacidades antimicrobianas atribuidas a la presencia de antronas, antraquinonas, cumarinas, alcaloides, aceites esenciales, compuestos acuosos y saponinas (MAHARSHI Y THAKER, 2014; SALAZAR-PI *et al.*, 2017); los cuales fueron liberados en la superficie de las fresas prolongando su vida útil.

El color es un factor importante en la percepción de la calidad de fresa frescas. El Cuadro 5 muestra los cambios en el color de la superficie de las fresas almacenadas a 4 °C y 70 ± 5% de HR durante 12 días, según lo indicado por L*, a*, C* y ΔE. La composición del recubrimiento se adhirió a los y al secarse no impartieron cambios significativos en las coordenadas de color iniciales de la fruta. El parámetro L* es un indicador de oscurecimiento de la fruta y como se puede observar en la Figura 9, solo los tratamientos T0 y T2 mostraron valores crecientes de L* con el tiempo de almacenamiento, mientras que la fruta no recubierta (B) fue significativamente (P < 0,05) más oscura que la fruta recubierta durante todo el período de almacenamiento. La concentración de ECA de la solución de recubrimiento dio lugar a diferencias significativas en el color de la fruta. Al final del período de almacenamiento, L* había disminuido en aproximadamente un 4% para las frutas control y se incrementó un 11% para las frutas recubiertas con 0.5% de ECA, esta variación de luminosidad en podría estar relacionada con la menor pérdida de peso de la fruta para el tratamiento T2, no así para el resto. Los resultados fueron similares a lo reportado por AITBOULAHSEN *et al.* (2018), y contradictorios con lo indicado por HERNÁNDEZ-MUÑOZ *et al.* (2008), teniendo en cuenta que en los estudios se emplearon recubrimientos a base de gelatina y quitosano, respectivamente.

El componente de color a* (de rojo a verde), es la coordenada más representativa en la fresa, los cambios en el valor de este término colorimétrico en la superficie de la fresa durante almacenamiento se presentan en la Figura 10. La fruta desarrolló una coloración menos vívida, como lo demuestran los valores más bajos para todos los tratamientos para el final del tiempo de almacenamiento. La reducción en los valores del

componente rojo fue significativamente menor para la fruta no recubierta, y se encontraron diferencias significativas con respecto a los valores iniciales después del tercer día de almacenamiento ($p < 0,05$). Con respecto a la fruta recubierta, no se encontraron diferencias significativas entre las muestras tratadas con diferentes concentraciones de ECA. Los cambios del componente a^* de la fruta recubierta con el tiempo de almacenamiento fueron leves y solo se volvieron significativos al noveno de almacenamiento; reduciéndose alrededor de un 30% para el control y un promedio 23% para la fruta recubierta. Comportamiento similar fue hallado por RUIZ (2015).

Los cambios en el valor de croma de la superficie de la fresa durante el almacenamiento se presentan en la Figura 11. La fruta desarrolló una coloración menos vívida, como lo demuestran los valores más bajos de croma. La reducción en los valores de croma fue significativamente menor para la fruta no recubierta, y se encontraron diferencias significativas con respecto a los valores iniciales a partir del sexto día de almacenamiento ($p < 0,05$). Con respecto a la fruta recubierta, se encontraron diferencias significativas solo para las muestras tratadas sin adición de ECA, las que presentaron un menor desempeño en la conservación de los valores iniciales. Los cambios en el croma de la fruta recubierta con el tiempo de almacenamiento fueron leves y solo se volvieron significativos al final del período de almacenamiento. La croma se redujo alrededor de un 19% para el control y un 9% para la fruta del tratamiento T1. Estos resultados se asemejan a los de VALENZUELA *et al.* (2015), pero difieren a los reportados por AITBOULAHSEN *et al.* (2018) y RESENDE *et al.* (2018), quienes mencionan un mejor desempeño de conservación de croma para los tratamientos con recubrimiento respecto al control, dicha variación podría atribuirse a la composición de los recubrimientos.

Se conoce que los cambios de color en las fresas maduras cosechadas, completamente rojas, ocurren progresivamente durante el almacenamiento. La fruta se oscurece, el color de la piel se vuelve menos cromático y se desarrolla el ennegrecimiento de la superficie. Se ha

encontrado que la piel menos roja y el oscurecimiento debido a las reacciones oxidativas de ennegrecimiento son más marcados en las fresas maduras que sufren una mayor pérdida de humedad durante el almacenamiento (HERNÁNDEZ-MUÑOZ *et al.*, 2008). El control de la pérdida de humedad por parte de los recubrimientos contribuye a minimizar los cambios externos de color en las fresas completamente maduras; para el caso en particular, la aplicación del recubrimiento confirió un incremento de luminosidad, así como la reducción de a^* y croma, respecto a las frutas sin recubrimiento (Cuadro 5), lo cual revelaría que la película aporta color a la superficie de los frutos, tal y como lo indica Resende *et al.* (2018) para películas de quitosano y nanofibras de celulosa. Los cambios individuales en los componentes (L^* , a^* y C^*) no son identificados durante el análisis de diferencia de color total (ΔE) que se visualiza en la Figura 12. No encontrándose diferencias significativas entre tratamientos para el final del tiempo de almacenamiento, donde solo T2 y T3 mostraron un incremento significativo.

5.3. Características microbiológicas de fresas con y sin recubrimiento

En el Cuadro 6 y Figura 13, se muestra la variación en el conteo de coliformes totales en función del tiempo, encontrándose un incremento significativo hacia el final del periodo de almacenamiento para todos los tratamientos, donde las fresas control (B0) exhibieron la mayor proliferación a partir del cuarto día almacenamiento ($p < 0,05$), reportando valores de superiores a 3,70 log UFC/g ($4,97 \times 10^3$ UFC/g) superando los límites establecido ($< 10^3$) por NTS N° 071-MINSA/DIGESA-V.01 (MINSA, 2008), donde se considera a los coliformes como microorganismos indicadores del grado de higiene del producto, por lo que los frutos o serían aptos para el consumo humano.

En el caso de las fresas recubiertas, se evidenció el efecto positivo de la incorporación de ECA a los recubrimientos, hallando en T3 el mejor desempeño para frenar la multiplicación de coliformes, con valores de $2,87 \pm 0,05$ log UFC/g ($7,48 \times 10^2$ UFC/g) para el día 13 de almacenamiento.

También es importante señalar que ninguna prueba en el transcurso de la evaluación reveló la presencia de colonias de *E. coli* (confirmación del color rojo alrededor de la colonia mediante la adición de reactivo Kovacs, (HIMEDIA, 2019); además el conteo para fresas recibidas de campo (Cuadro 2) y al primer día de valuación, fueron menores a 1×10 UFC/g, sugiriendo una contaminación cruzada en los frutos durante su manipulación y almacenamiento. Teniendo lo anterior, la incorporación de un 0,5% de ECA en el recubrimiento podría asegurar la calidad microbiológica, con respecto a coliforme y *E. coli*, en fresas conservadas en refrigeración por al menos 13 días. Los resultados se asemejan a lo encontrado por TOMADONI *et al.* (2018), al evaluar la incorporación de geraniol en recubrimientos goma gellan para fresas recién cortadas; de igual forma, HAJJI *et al.* (2018) hallaron respuestas similares para películas comestibles de quitosano conteniendo caroproteínas de camarón en la conservación de fresas.

Los cambios en el recuento de mohos y levaduras de las fresas durante el almacenamiento se presentaron en la Cuadro 6. El recuento de las muestras aumentó de manera sostenible con el tiempo, siendo las muestras recubiertas con adición de ECA las que presentaron valores más bajos para log (UFC/g) de mohos y levaduras, lo que indica que la incorporación de ECA tuvo efectos antifúngicos cuando se aplica en fresas frescas, confirmando lo reportado por VERÁSTEGUI *et al.* (2008), quienes indican una concentración microbicida mínima y concentración inhibitoria mínima contra levaduras y mohos de 2,0 a 6,0 mg/mL (respectivamente) para extractos etanólicos de cuatro especies Agave.

Como se observa en la Figura 14, los tratamientos T2 y T3 mostraron una inhibición más fuerte del crecimiento de moho y levadura dentro de los 10 días iniciales; a los 13 días, los recuentos de muestras no recubiertas alcanzaron 6,04 log UFC/g, para muestras recubiertas sin aditivo fue de 5,88 log UFC/g, mientras que las frutas recubiertas con adición de ECA los recuentos estuvieron entre 5,00 a 5,23 log UFC/g, observándose diferencias significativas ($p > 0,05$) entre T1 y T3. Teniendo en cuenta que en general

un recuento de 10^6 UFC/g para levaduras, mohos o bacterias totales se considera el límite de aceptación para productos a base de frutas (JIANG *et al.*, 2020), al mismo tiempo que NTS N° 071-MINSA/DIGESA-V.01 (MINSA, 2008) estipula un límite de 10^3 UFC/g; se puede reconocer que ECA podría contribuir en una mejora significativa en control del crecimiento de mohos y levaduras en fresas fresca almacenadas en refrigeración. AITBOULAHSEN *et al.* (2018), informaron resultados similares en el estudio de recubrimiento comestible a base de gelatina combinado con aceite esencial de *Mentha pulegium* aplicado a fresas frescas.

Los efectos antimicrobianos de ECA están relacionados con los compuestos bioactivos como los polifenoles y las saponinas, que pueden interactuar con las proteínas y lípidos de la membrana bacteriana, provocando daños en la viabilidad celular (LÓPEZ-ROMERO *et al.*, 2018), tal como lo demostraron BORGES *et al.* (2013) y MONTE *et al.* (2014), quienes indican que los compuestos fenólicos y las saponinas, pueden inducir cambios en la hidrofobicidad, la carga superficial y la integridad de la membrana, lo que provoca la fuga de componentes intracelulares de bacterias grampositivas y gramnegativas, lo que resulta en la muerte celular. Así mismo, CUSHNIE y LAMB (2005), informaron que los compuestos fenólicos podrían provocar inhibición del metabolismo energético, inhibición de las funciones de la membrana citoplasmática, inhibición de enzimas vitales e inhibición del metabolismo de ácidos nucleicos en diferentes bacterias, lo que resulta en muerte bacteriana.

VI. CONCLUSIONES

El estudio demostró la efectividad del recubrimiento a base de almidón-agar más la incorporación de extracto etnólico de cabuya azul (ECA) para la conservación de fresas postcosecha, donde las propiedades fisicoquímicas (pH, SST, índice de madurez pérdida de peso, firmeza, índice de decaimiento y color) de las fresas recubiertas en promedio fueron mejores que las del control. El recubrimiento de almidón-agar solo no fue tan efectivo como aquellos que incorporados con ECA. El uso de esta combinación sería una buena alternativa para extender la vida útil de las fresas y limitar el uso de pesticidas en los tratamientos posteriores a la cosecha.

La incorporación de ECA en las concentraciones de 0,3 y 0,5% en recubrimientos a base de almidón-agar redujo significativamente los coliformes totales, así como los recuentos de levaduras y mohos, en fresas frescas en comparación con la muestra de control. Por lo tanto, los recubrimientos comestibles a base de almidón-agar que contienen ECA mejoraron la estabilidad microbiológica de la fresa bajo refrigeración en comparación con el producto no recubierto.

En particular, se consiguió un buen rendimiento para el extracto etanólico de cabuya azul (*Agave salmiana* subsp. *Salmiana*), asimismo reportó altos valores de polifenoles totales (3.64 ± 0.18 mg AGE/g) y una marcada actividad antioxidante (1217.63 ± 28.21 ug TE/g).

VII. RECOMENDACIONES

Sería conveniente evaluar diferentes formulaciones de revestimiento, por ejemplo, reduciendo la concentración de ECA, o combinando diferentes compuestos bioactivos para reducir el impacto en la textura mientras se controla la microflora nativa para extender la vida útil de frutas frescas y mínimamente procesadas.

Investigar con más detalle la composición del extracto de *Agave salmiana* subsp. Salmian, así como sus actividades antimicrobianas/antifúngicas en microorganismos específicos.

Desde la experiencia obtenida en el estudio, se hace evidente la necesidad de poder investigar la calidad microbiológica de las fresas producidas en la provincia de Huánuco, lo mismo que sería de utilidad para la mejora de las prácticas culturales, manipulación y comercialización de frutas y hortalizas fresca en la provincia.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHUMADA-SANTOS, Y. P., MONTES-AVILA, J., URIBE-BELTRÁN, M. DE J., DÍAZ-CAMACHO, SYLVIA PÁZ, LÓPEZ-ANGULO, G., VEGA-AVIÑA, R., LÓPEZ-VALENZUELA, J. Á., HEREDIA, J. B., & DELGADO-VARGAS, F. (2013). Chemical characterization, antioxidant and antibacterial activities of six Agave species from Sinaloa, Mexico. *Industrial Crops and Products*, 49, 143-149. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.050>
- AITBOULAHSEN, M., ZANTAR, S., LAGLAOUI, A., CHAIRI, H., ARAKRAK, A., BAKKALI, M., & HASSANI ZERROUK, M. (2018). *Gelatin-Based Edible Coating Combined with Mentha pulegium Essential Oil as Bioactive Packaging for Strawberries* [Research Article]. *Journal of Food Quality*. <https://doi.org/10.1155/2018/8408915>
- ALMENAR-ROSALENY, E. (2005). Envasado activo de fresas silvestres. [Ph.D. Thesis, Universitat de València]. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <http://www.tdx.cat/handle/10803/10062>
- ANSORENA, M. R., & PONCE, A. G. (2019). Coatings in the Postharvest. En T. J. Gutiérrez (Ed.), *Polymers for Agri-Food Applications* (pp. 339-354). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19416-1_17
- BAN, Z., ZHANG, J., LI, L., LUO, Z., WANG, Y., YUAN, Q., ZHOU, B., & LIU, H. (2020). Ginger essential oil-based microencapsulation as an efficient delivery system for the improvement of Jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit quality. *Food Chemistry*, 306, 125628. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125628>

- BEN HAMISSA, A. M., SEFFEN, M., ALIAKBARIAN, B., CASAZZA, A. A., PEREGO, P., & CONVERTI, A. (2012). Phenolics extraction from *Agave americana* (L.) leaves using high-temperature, high-pressure reactor. *Food and Bioproducts Processing*, 90(1), 17-21. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.11.008>
- BORGES, A., FERREIRA, C., SAAVEDRA, M. J., & SIMÕES, M. (2013). Antibacterial Activity and Mode of Action of Ferulic and Gallic Acids Against Pathogenic Bacteria. *Microbial Drug Resistance*, 19(4), 256-265. <https://doi.org/10.1089/mdr.2012.0244>
- BOTURA, M. B., DOS SANTOS, J. D. G., DA SILVA, G. D., DE LIMA, H. G., DE OLIVEIRA, J. V. A., DE ALMEIDA, M. A. O., BATATINHA, M. J. M., & BRANCO, A. (2013). In vitro ovicidal and larvicidal activity of *Agave sisalana* Perr. (Sisal) on gastrointestinal nematodes of goats. *Veterinary Parasitology*, 192(1), 211-217. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.10.012>
- BROUWER, B., MENSINK, M., WOLTERING, E., & DA SILVA, F. P. (2019). *Predicting strawberry shelf life based on input quality: GreenCHAINge Fruit & Vegetables WP3*. Wageningen Food & Biobased Research. <https://doi.org/10.18174/503212>
- CAMPOS-REQUENA, V. H., RIVAS, B. L., PÉREZ, M. A., FIGUEROA, C. R., FIGUEROA, N. E., & SANFUENTES, E. A. (2017). Thermoplastic starch/clay nanocomposites loaded with essential oil constituents as packaging for strawberries – In vivo antimicrobial synergy over *Botrytis cinerea*. *Postharvest Biology and Technology*, 129, 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.03.005>
- CARVALHO, A. J. F. (2008). Chapter 15 - Starch: Major Sources, Properties and Applications as Thermoplastic Materials. En M. N. Belgacem & A. Gandini (Eds.), *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*

- (pp. 321-342). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045316-3.00015-6>
- CHA, D. S., & CHINNAN, M. S. (2004). Biopolymer-Based Antimicrobial Packaging: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4), 223–237. <https://doi.org/10.1080/10408690490464276>
- CHEN, P. Y., KUO, Y. C., CHEN, C. H., KUO, Y. H., & LEE, C. K. (2009). Isolation and Immunomodulatory Effect of Homoisoflavones and Flavones from *Agave sisalana* Perrine ex Engelm. *Molecules*, 14(5), 1789-1795. <https://doi.org/10.3390/molecules14051789>
- CHEN, P.-Y., CHEN, C.-H., KUO, C.-C., LEE, T.-H., KUO, Y.-H., & LEE, C.-K. (2011). Cytotoxic Steroidal Saponins from *Agave sisalana*. *Planta Medica*, 77(9), 929-933. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1250672>
- CHORBADZHIEV, P., ZSIVANOVITS, G., GRADINARSKA, D., DANOV, K., VALKOVA-JORGOVA, K., ZSIVANOVITS, G., GRADINARSKA, D., DANOV, K., & VALKOVA-JORGOVA, K. (2017). Improvement of texture profile attributes of cooked sausage type “Krenvirsh”. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 23(2), 338–347.
- CHU, Y., GAO, C., LIU, X., ZHANG, N., XU, T., FENG, X., YANG, Y., SHEN, X., & TANG, X. (2020). Improvement of storage quality of strawberries by pullulan coatings incorporated with cinnamon essential oil nanoemulsion. *LWT*, 122, 109054. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109054>
- CUSHNIE, T. P. T., & LAMB, A. J. (2005). Antimicrobial activity of flavonoids. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 26(5), 343-356. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2005.09.002>
- DA SILVA, B. P., DE SOUSA, A. C., SILVA, G. M., MENDES, T. P., & PARENTE, J. P. (2002). A new bioactive steroidal saponin from *Agave attenuata*. *Zeitschrift Fur Naturforsch. C, Journal of Biosciences*, 57(5-6), 423-428. <https://doi.org/10.1515/znc-2002-5-603>

- DHALL, R. K. (2013). Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 435-450. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>
- DHITAL, R., MORA, N. B., WATSON, D. G., KOHLI, P., & CHOUDHARY, R. (2018). Efficacy of limonene nano coatings on post-harvest shelf life of strawberries. *LWT*, 97, 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.038>
- DUNDER, R. J., QUAGLIO, A. E. V., MACIEL, R. P., LUIZ-FERREIRA, A., ALMEIDA, A. C. A., TAKAYAMA, C., FARIA, F. M. DE, & SOUZA-BRITO, A. R. M. (2010). Anti-inflammatory and analgesic potential of hydrolyzed extract of *Agave sisalana* Perrine ex Engelm., Asparagaceae. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20(3), 376-381. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2010000300014>
- DURAN, M., ADAY, M. S., ZORBA, N. N. D., TEMIZKAN, R., BÜYÜKCAN, M. B., & CANER, C. (2016). Potential of antimicrobial active packaging 'containing natamycin, nisin, pomegranate and grape seed extract in chitosan coating' to extend shelf life of fresh strawberry. *Food and Bioproducts Processing*, 98, 354-363. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.01.007>
- ESCALANTE-VARONA, A. V. (2015). *Aplicación de un recubrimiento comestible de goma de tara (Caesalpinia spinosa molina kuntze) sobre fresas (Fragaria ananassa cv. Aromas) para prolongar su conservación* [Maestría Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1854>
- GARCÍA, A. (2007). Los agaves de México. *Ciencias*, 087. <http://revistas.unam.mx/index.php/cns/article/viewFile/12113/11435>
- GARCÍA, M. A., MARTINO, M. N., & ZARITZKY, N. E. (1998). Plasticized Starch-Based Coatings To Improve Strawberry (*Fragaria* × *Ananassa*) Quality and Stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(9), 3758–3767. <https://doi.org/10.1021/jf980014c>

- GENTRY, H. S. (1982). *Agaves of Continental North America* University of Arizona Press. *Tucson, Arizona USA*, 125-130.
- GOL, N. B., PATEL, P. R., & RAO, T. V. R. (2013). Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. *Postharvest Biology and Technology*, *85*, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.008>
- GONZÁLEZ-CABRERA, M. V. (2011). *Conservación de Mora, Uvilla y Frutilla Mediante la Utilización de Aceite Esencial de Canela (Cinnamomum zeynalicum)* [Grado Bioquímico Farmacéutico, Escuela Superior Politecnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/737>
- GULERIA, S., & KUMAR, A. (2009). Antifungal activity of Agave americana leaf extract against *Alternaria brassicae*, causal agent of *Alternaria* blight of Indian mustard (*Brassica juncea*). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, *42*(4), 370-375. <https://doi.org/10.1080/03235400601121380>
- GUTIÉRREZ NAVA, Z. J., JIMÉNEZ-APARICIO, A. R., HERRERA-RUIZ, M. L., & JIMÉNEZ-FERRER, E. (2017). Immunomodulatory Effect of Agave tequilana Evaluated on an Autoimmunity Like-SLE Model Induced in Balb/c Mice with Pristane. *Molecules*, *22*(6), 848. <https://doi.org/10.3390/molecules22060848>
- HAJJI, S., YOUNES, I., AFFES, S., BOUFI, S., & NASRI, M. (2018). Optimization of the formulation of chitosan edible coatings supplemented with carotenoproteins and their use for extending strawberries postharvest life. *Food Hydrocolloids*, *83*, 375-392. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.013>
- HERBERT-DOCTOR, L. A., SAAVEDRA-AGUILAR, M., VILLARREAL, M. L., CARDOSO-TAKETA, A., & VITE-VALLEJO, O. (2016). Insecticidal and Nematicidal Effects of Agave tequilana Juice against *Bemisia tabaci*1 and

- Panagrellus redivivus2. *Southwestern Entomologist*, 41(1), 27-40.
<https://doi.org/10.3958/059.041.0105>
- HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P., ALMENAR, E., VALLE, V. D., VELEZ, D., & GAVARA, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria xananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110(2), 428-435.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.020>
- HIMEDIA. (2019). *HiCrome™ Coliform Agar w/ SLS*. HiCrome™ Coliform Agar w/ SLS
- INACAL. (2019). *FRUTAS. Fresas. NTP 011.011:1975 (revisada el 2019)*.
https://tiendavirtual.inacal.gob.pe/0/modulos/TIE/TIE_DetallarProducto.aspx?PRO=7986
- ITIS STANDARD REPORT PAGE: AGAVE ATROVIRENS*. (2020, enero 17). [On-line database]. Integrated Taxonomic Information System.
https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=505873#null
- JIANG, Y., YU, L., HU, Y., ZHU, Z., ZHUANG, C., ZHAO, Y., & ZHONG, Y. (2019). Electrostatic spraying of chitosan coating with different deacetylation degree for strawberry preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 1232-1238.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.113>
- JIANG, Y., YU, L., HU, Y., ZHU, Z., ZHUANG, C., ZHAO, Y., & ZHONG, Y. (2020). The preservation performance of chitosan coating with different molecular weight on strawberry using electrostatic spraying technique. *International Journal of Biological Macromolecules*.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.169>
- LI, Y., LI, Z., WANG, L., LI, Y., LI, Z., & WANG, L. (2016). Applications of 5-aminolevulinic acid on the physiological and biochemical characteristics of

strawberry fruit during postharvest cold storage. *Ciência Rural*, 46(12), 2103-2109. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151426>

LÓPEZ, O. V., GARCÍA, M. A., & ZARITZKY, N. E. (2008). Film forming capacity of chemically modified corn starches. *Carbohydrate Polymers*, 73(4), 573-581. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.12.023>

LÓPEZ-ROMERO, J. C., AYALA-ZAVALA, J. F., GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A., PEÑA-RAMOS, E. A., & GONZÁLEZ-RÍOS, H. (2018). Biological activities of Agave by-products and their possible applications in food and pharmaceuticals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(7), 2461-2474. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8738>

LÓPEZ-ROMERO, J. C., AYALA-ZAVALA, J. F., PEÑA-RAMOS, E. A., HERNÁNDEZ, J., & GONZÁLEZ-RÍOS, H. (2018). Antioxidant and antimicrobial activity of Agave angustifolia extract on overall quality and shelf life of pork patties stored under refrigeration. *Journal of Food Science and Technology*, 55(11), 4413-4423. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3351-3>

MAHARSHI, A. R., & THAKER, V. S. (2014). Antifungal Activity of Agave Species from Gujarat, India. En R. N. Kharwar, R. S. Upadhyay, N. K. Dubey, & R. Raghuwanshi (Eds.), *Microbial Diversity and Biotechnology in Food Security* (pp. 423-430). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1801-2_37

MAKKAR, H. P. S. (2003). Measurement of Total Phenolics and Tannins Using Folin-Ciocalteu Method. En H. P. S. MAKKAR (Ed.), *Quantification of Tannins in Tree and Shrub Foliage: A Laboratory Manual* (pp. 49-51). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0273-7_3

MARTINEZ, M., ARIAS, H. R., & RUBIO, A. O. (2005). Population Structure of Maguey (Agave salmiana ssp. Crassispina) in Southeast Zacatecas, Mexico. *Arid Land Research and Management*, 19(2), 101-109. <https://doi.org/10.1080/15324980590916495>

- MARTÍNEZ-SALVADOR, M., BELTRÁN-MORALES, L., VALDEZ-CEPEDA, R., ARIAS, H. R., TROYO-DIEGUEZ, E., MURILLO-AMADOR, B., GALINDO, J. J., & ORTEGA-RUBIO, A. (2007). Assessment of sustainability performance on the utilization of Agave (*Agave salmiana* ssp *crassispina*) in Zacatecas, Mexico. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 14(4), 362-371. <https://doi.org/10.1080/13504500709469736>
- MEDINA, M. R., ÁVILA, J., & RUALES, J. (2016). *DISEÑO DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE BIOACTIVO PARA APLICARLO EN LA FRUTILLA (Fragaria vesca) COMO PROCESO DE POSTCOSECHA*. 17, 13.
- MINSA. (2008). *NORMA SANITARIA QUE ESTABLECE LOS CRITERIOS MICROBIOLÓGICOS DE CALIDAD SANITARIA E INOCUIDAD PARA LOS ALIMENTOS Y BEBIDAS DE CONSUMO HUMANO*. <https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/2015/07/CRITERIOS-MICROBIOLOGICOS-RM-591-2008-MINSA.pdf>
- MONTE, J., ABREU, A. C., BORGES, A., SIMÕES, L. C., & SIMÕES, M. (2014). Antimicrobial Activity of Selected Phytochemicals against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* and Their Biofilms. *Pathogens*, 3(2), 473-498. <https://doi.org/10.3390/pathogens3020473>
- NAVA-CRUZ, N. Y., MEDINA-MORALES, M. A., MARTINEZ, J. L., RODRIGUEZ, R., & AGUILAR, C. N. (2015). Agave biotechnology: An overview. *Critical Reviews in Biotechnology*, 35(4), 546-559. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.923813>
- PAES, S. S., YAKIMETS, I., & MITCHELL, J. R. (2008). Influence of gelatinization process on functional properties of cassava starch films. *Food Hydrocolloids*, 22(5), 788-797. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.03.008>

- PEREIRA DA SILVA, F. I. (2017). *Strawberry taste assessment during shelf life*. Wageningen Food & Biobased Research. <https://doi.org/10.18174/503222>
- PEREIRA DA SILVA, F. I., SCHNABEL, S. K., BROUWER, B., & MENSINK, M. G. (2018). *Monitoring strawberry production to get grip on strawberry quality: GreenCHAINge Fruit & Vegetables WP3*. Wageningen Food & Biobased Research. <https://doi.org/10.18174/503786>
- PRENTNER, A. (2010). Agave. En *Bewusstseinsverändernde Pflanzen von A - Z* (2.^a ed., pp. 25-29). Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-211-99229-6>
- PUENTE-GARZA, C. A., MEZA-MIRANDA, C., OCHOA-MARTÍNEZ, D., & GARCÍA-LARA, S. (2017). Effect of in vitro drought stress on phenolic acids, flavonols, saponins, and antioxidant activity in *Agave salmiana*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 115, 400-407. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.04.012>
- RATNAYAKE, W. S., & JACKSON, D. S. (2007). A new insight into the gelatinization process of native starches. *Carbohydrate Polymers*, 67(4), 511-529. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.06.025>
- RESENDE, N. S., GONÇALVES, G. A. S., REIS, K. C., TONOLI, G. H. D., & BOAS, E. V. B. V. (2018). *Chitosan/Cellulose Nanofibril Nanocomposite and Its Effect on Quality of Coated Strawberries* [Research Article]. *Journal of Food Quality*. <https://doi.org/10.1155/2018/1727426>
- RESTREPO, J. I., & ARISTIZÁBAL, I. D. (2010). CONSERVATION OF STRAWBERRY (*Fragaria x ananassa* Duch cv. Camarosa) BY EDIBLE COATING APPLICATION OF SABILA GEL MUCILAGE (*Aloe barbadensis* Miller) AND CARNAUBA WAX. *Vitae*, 17(3), 252-263.
- RIBEIRO, B. D., ALVIANO, D. S., BARRETO, D. W., & COELHO, M. A. Z. (2013). Functional properties of saponins from sisal (*Agave sisalana*) and juá

- (Ziziphus joazeiro): Critical micellar concentration, antioxidant and antimicrobial activities. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 436, 736-743. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.08.007>
- RUIZ, M. D. (2015). *Diseño de un recubrimiento comestible bioactivo para aplicarlo en la frutilla (Fragaria vesca) como proceso de postcosecha*. [Grado Ingeniero Químico, Escuela Politecnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11181>
- SALAZAR-PI, D. T., CASTRO-ALA, N., MORENO-GOD, MA. E., NICASIO-TO, M. DEL P., PEREZ-HERN, J., & ALVAREZ-FI, P. (2017). Antibacterial and Anti-inflammatory Activity of Extracts and Fractions from Agave cupreata. *International Journal of Pharmacology*, 13(8), 1063-1070. <https://doi.org/10.3923/ijp.2017.1063.1070>
- SANTOS-ZEA, L., FAJARDO-RAMÍREZ, O. R., ROMO-LÓPEZ, I., & GUTIÉRREZ-URIBE, J. A. (2016). Fast Centrifugal Partition Chromatography Fractionation of Concentrated Agave (Agave salmiana) Sap to Obtain Saponins with Apoptotic Effect on Colon Cancer Cells. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(1), 57-63. <https://doi.org/10.1007/s11130-015-0525-2>
- SHARMA, L., SAXENA, A., & MAITY, T. (2019). Trends in the Manufacture of Coatings in the Postharvest Conservation of Fruits and Vegetables. En T. J. Gutiérrez (Ed.), *Polymers for Agri-Food Applications* (pp. 355-375). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19416-1_18
- SHEGUTE, T., & WASIHUN, Y. (2020). Antibacterial Activity and Phytochemical Components of Leaf Extracts of Agave americana. *Journal of Experimental Pharmacology*, 12, 447-454. <https://doi.org/10.2147/JEP.S258605>

- SIDDHAPURA, S., MAHARSHI, A., & THAKER, V. (2011). Varietal difference in antifungal activity of some species of Agave. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 44(2), 135-141. <https://doi.org/10.1080/03235400902952087>
- SUÁREZ, G., & GUTIÉRREZ, T. J. (2017). Recent Advances in the Development of Biodegradable Films and Foams from Cassava Starch. En *Handbook on Cassava: Production, Potential Uses and Recent Advances* (pp. 297-312). Nova Science Publishers, Inc. <https://novapublishers.com/shop/handbook-on-cassava-production-potential-uses-and-recent-advances/>
- THAKUR, C. P., NARAYAN, S., BAHADUR, S., THAKUR, M., PANDEY, S. N., KUMAR, P., MISRA, P., MUKHERJEE, P. K., & MITRA, D. K. (2015). Anti-leishmanial activity of *Agave americana* L.– A traditional Indian medicinal plant. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 14(4), 6.
- TOMADONI, B., MOREIRA, M. R., PEREDA, M., & PONCE, A. G. (2018). Gellan-based coatings incorporated with natural antimicrobials in fresh-cut strawberries: Microbiological and sensory evaluation through refrigerated storage. *LWT*, 97, 384-389. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.029>
- VALENZUELA, C., TAPIA, C., LÓPEZ, L., BUNGER, A., ESCALONA, V., & ABUGOCH, L. (2015). Effect of edible quinoa protein-chitosan based films on refrigerated strawberry (*Fragaria xananassa*) quality. *Electronic Journal of Biotechnology*, 18(6), 406-411. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2015.09.001>
- VARGAS, M., PASTOR, C., CHIRALT, A., MCCLEMENTS, D. J., & GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. (2008). Recent Advances in Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(6), 496-511. <https://doi.org/10.1080/10408390701537344>
- VERÁSTEGUI, Á., VERDE, J., GARCÍA, S., HEREDIA, N., ORANDAY, A., & RIVAS, C. (2008). Species of *Agave* with antimicrobial activity against

selected pathogenic bacteria and fungi. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24(7), 1249-1252. <https://doi.org/10.1007/s11274-007-9563-8>

VILLANUEVA-TIBURCIO, J. E., CONDEZO-HOYOS, L. A., & ASQUIERI, E. R. (2010). Antocianinas, ácido ascórbico, polifenóis totais e atividade antioxidante na casca do camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh). *Food Science and Technology*, 30, 151-160. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000500023>

YANG, C.-R., ZHANG, Y., JACOB, M. R., KHAN, S. I., ZHANG, Y.-J., & LI, X.-C. (2006). Antifungal Activity of C-27 Steroidal Saponins. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 50(5), 1710-1714. <https://doi.org/10.1128/AAC.50.5.1710-1714.2006>