

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Recubrimiento de Semillas de Maíz con Diferentes Materiales para la Adherencia  
de Extractos Vegetales en Forma de Harina

Por:

**GABRIELA PATRICIO ZUÑIGA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Recubrimiento de Semillas de Maíz con Diferentes Materiales para la Adherencia  
de Extractos Vegetales en Forma de Harina

Por:

**GABRIELA PATRICIO ZUÑIGA**

TESIS

presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría

Arturo Mancera

Dr. Arturo Mancera Rico

Asesor Principal

[Signature]

Dra. Carmen Alicia Ayala Contreras

Asesor Principal Externo

[Signature]

Dra. Dulce Yaahid Flores Rentería

Coasesor

[Signature]

Dra. Leila Minea Vásquez Siller

Coasesor

[Signature]

Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2025

## DERECHO DE AUTOR Y DECLARACION DE NO PLAGIO

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmento o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); compartir, robar o pedir prestado los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular por los derechos de autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

P a s a n t e



Gabriela Patricio Zúñiga  
Autor Principal



Dr. Arturo Mancera Rico  
Asesor Principal

A Dios, por darme la oportunidad de seguir preparándome, por guiarme en cada paso que doy, por darme fortalezas y siempre encontrar un refugio cuando más lo he necesitado, agradezco infinitamente todas sus bendiciones.

A mis padres Modesto Patricio Guerrero y Lucina Zúñiga Hernández por siempre confiar en mí, darme ánimos apoyarme en todo momento, por darme siempre un buen ejemplo ante diferentes cuestiones de la vida y por ser siempre el motivo de querer salir adelante y triunfar en la vida.

A mi hermano Alejandro, por ser siempre mi mayor consejero y brindarme siempre su apoyo incondicionalmente, por ser mi mayor inspiración, siempre cuidarme y darme aliento para sacar adelante los planes.

A mi hermana Raquel, por ser siempre mi mayor confidente, por escucharme siempre, apoyarme en los momentos más difíciles, por saber escucharme y comprenderme en cada situación.

A mi hermano Adrián, por apoyarme siempre, las palabras de aliento y motivación, por confiar en cada paso que he dado, por todo su cariño.

A mi pequeña Lucy Beatriz, por tenerme confianza y por cada momento y alegría compartida y todo su apoyo.

A mi Cuñada Sandra Martínez por darme al mejor ser humano que me inspira; Mai Alexa ya que es el mejor motivo de alegría en mi vida, por ser la razón de muchas cosas y salir adelante para así compartir con ella más aventuras.

A mis tías, Teresa y Guadalupe por siempre procurarme, darme su cariño y siempre estar atentas conmigo en todo momento.

A todos los amigos que conocí en esta maravillosa universidad, especialmente a todos aquellos que me brindaron su amistad y apoyo incondicional, especialmente a mis mejores amigos: Kevin Cruz, Rosa Hernández y Estrella Maldonado.

## AGRADECIMIENTOS

*A mi Alma Mater, por haberme recibido y cobijado durante estos años para poder sacar adelante la carrera.*

*Al centro de Desarrollo y Capacitación y Tecnologías de semillas por haberme dado la oportunidad de haber realizado esta investigación.*

*Al Dr. Arturo Mancera Rico, por haberme recibido como tesista y darme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación, su orientación y apoyo.*

*A la Dra. Carmen Alicia Ayala Contreras por todo su apoyo y comprensión durante el desarrollo en este trabajo, por siempre darme ánimos durante este tiempo.*

*A todos mis amigos que conocí en esta maravillosa etapa de mi vida profesional, a las amigas que hice en el internado y ser una segunda familia para mí.*

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                                                      | i   |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                                                                        | ii  |
| RESUMEN .....                                                                                | iii |
| I.- INTRODUCCIÓN .....                                                                       | 1   |
| II.- JUSTIFICACIÓN.....                                                                      | 3   |
| 2.1 Objetivos .....                                                                          | 4   |
| 2.1.2 General .....                                                                          | 4   |
| 2.1.3. Específicos .....                                                                     | 4   |
| III.- REVISION DE LITERATURA. ....                                                           | 5   |
| 3.1.- Importancia del uso de adherentes en las semillas .....                                | 5   |
| 3.1.1- Factores a considerar en la elección de un adherente .....                            | 5   |
| 3.1.2.- Adherentes utilizados en el acondicionamiento de semillas.....                       | 6   |
| 3.1.3.- Adherentes específicos y sus principales características.....                        | 9   |
| 3.2.- Uso de extracto vegetales en el acondicionamiento de semilla.....                      | 11  |
| 3.3.- Métodos de aplicación de adherentes en el acondicionamiento de semillas con polvos.... | 12  |
| 3.4.- Uso de adherentes en diferentes procesos. ....                                         | 13  |
| IV. MATERIALES Y METODOS .....                                                               | 16  |
| 4.1.- Lugar del experimento. ....                                                            | 16  |
| 4.2.- Material vegetal y adherentes utilizados.....                                          | 16  |
| 4.3.- Descripción de los tratamientos y dosis de aplicación. ....                            | 17  |
| 4.4.- Variables evaluadas.....                                                               | 19  |
| 4.4.1.- Variables de cobertura de semillas.....                                              | 19  |
| 4.4.2.- Variables fisiológicas. ....                                                         | 19  |
| 4.4.3.-Variables bioquímicas. ....                                                           | 20  |
| 4.5.- Diseño experimental .....                                                              | 22  |
| V.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                                              | 23  |
| 5.1.- Capacidad de adherencia de los materiales. ....                                        | 23  |
| 5.2.- Germinación de semillas de maíz acondicionadas. ....                                   | 29  |
| VI.- CONCLUSIONES.....                                                                       | 38  |
| VII.- REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....                                                         | 39  |

|                   |    |
|-------------------|----|
| VIII. ANEXOS..... | 45 |
|-------------------|----|

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> <i>Vistas de las Semillas de Maíz Recubiertas con el Adherente y con Harinas Vegetales. A: testigo absoluto; B: testigo absoluto con harina vegetal; C: Politerpeno 100 % con harina vegetal; D: Politerpeno 75% con harina vegetal; E: Caseína 20% con harina vegetal; F: Almidón 20% con harinas vegetal; G: Testigo comercial con harina vegetal; H: Carboximetil celulosa 0.5% con harina vegetal. ....</i> | 24 |
| <b>Figura 2.</b> <i>Vistas al Microscopio de Barrido en los Objetivos 20, 200 y 1000x de las Semillas de Maíz Recubiertas con los Adherentes. A: Carboximetil celulosa; B: comercial; C: Politerpeno 100%; D: Caseína 20%; E: Almidón 20%. ....</i>                                                                                                                                                                              | 27 |
| <b>Figura 3.</b> <i>Vistas al Microscopio de Barrido en los Objetivos de 20, 200 Semillas de Maíz Recubiertas con Adherentes + Extractos Vegetales en Forma de Harina. A: Caseína + harina; B Comercial + harina; C: politerpeno 100% + harina. ...</i>                                                                                                                                                                          | 28 |
| <b>Figura 4.</b> <i>Porcentaje de Germinacion para los Diferentes Tratamientos de Semillas Acondicionadas con el Adgerente (izquierdo), Semillas Acondicionadas con el Adherente y los Extractos Vegetales en forma de Harina(derecho). ....</i>                                                                                                                                                                                 | 30 |
| <b>Figura 5.</b> <i>Longitud de Plúmula (LP) y Longitud de Radícula (LR) de las Plantas de Maíz Germinadas Bajo Diferentes Tratamientos (la comparación de medias de puede revisar en la Tabla 8). ....</i>                                                                                                                                                                                                                      | 31 |
| <b>Figura 6.</b> <i>Peso de las Plántulas de Maíz Germinadas Acondicionadas con Diferentes Adherentes y Extractos Vegetales de Forma de Harina. A: peso fresco por planta (mg planta-1 PF); B: peso seco por planta (mg planta-1 PS). (la comparación de medias de puede revisar en la Tabla 8). ....</i>                                                                                                                        | 33 |
| <b>Figura 7.</b> <i>Medición de la Clorofila (Clr) y Carotenoides (Miligramos por gramo de peso seco) (mg g-1 PS) en las plántulas de maíz después de ser liofilizadas, acondicionadas con diferentes adherentes y extractos vegetales en forma de harina.....</i>                                                                                                                                                               | 34 |
| <b>Figura 8.</b> <i>Medición de Glutación (µg g PS) en las Plántulas de Maíz. ....</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 35 |
| <b>Figura 9.</b> <i>Medición de Proteínas Totales y Fenoles (ppm) en las Plántulas de Maíz .....</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 36 |
| <b>Figura 10.</b> <i>Medición de Flavonoides (ppm) en Plántulas de Maíz. ....</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 37 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> <i>Agentes de Recubrimiento empleados en la Encapsulación (Peña, 2015).</i>                                                                                               | 14 |
| <b>Tabla 2.</b> <i>Propiedades de Fuentes de Proteínas.</i>                                                                                                                               | 14 |
| <b>Tabla 3.</b> <i>Recubrimientos Comestibles en Frutas Secas</i>                                                                                                                         | 15 |
| <b>Tabla 4.</b> <i>Estandarización para la Preparación de Cada Adherente Utilizado en Este Estudio.</i>                                                                                   | 17 |
| <b>Tabla 5.</b> <i>Tratamientos Utilizados para el Acondicionamiento de Semillas de Maíz con Adherentes.</i>                                                                              | 18 |
| <b>Tabla 6.</b> <i>Dosis de Aplicación de los Adherentes en 200 Semillas de Maíz.</i>                                                                                                     | 18 |
| <b>Tabla 7.</b> <i>Porcentaje de Cobertura de Semilla con los Extractos Vegetales en Forma de Polvo.</i>                                                                                  | 24 |
| <b>Tabla 8.</b> <i>Porcentaje de Germinación (%GER.), Longitud de Plúmula (LP), Longitud de Radícula (LR), Peso Fresco (PF), Peso Seco(PS), Obtenidos en los Diferentes Tratamientos.</i> | 29 |

## RESUMEN

Las tensiones generadas por la humectación y secado en la superficie de la semilla frecuentemente provocan deterioros en la integridad del tegumento, lo que resulta en una distribución no uniforme del tratamiento y afecta la emergencia, supervivencia de las plántulas y el rendimiento. Para mitigar estos efectos, se realizan tratamientos a las semillas con el fin de preservar sus características calidad. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la capacidad de adherencia de cinco materiales para el tratamiento de semillas con extractos vegetales en formas de harinas. Se seleccionaron diferentes adherentes considerando su facilidad de acceso y practicidad en la preparación, las soluciones preparadas se colocaron en una gradilla con temperatura y agitación y se utilizó un colorante comestible en gel de origen vegetal. Para la aplicación de los tratamientos, se emplearon harinas vegetales obtenidas de hojas de brócoli liofilizadas y maceradas. Las variables evaluadas incluyeron: cobertura de semillas mediante análisis de imágenes con una cámara digital y el software imagen-Pro Plu, estructura de recubrimiento mediante microscopia electrónica de barrido y variables fisiológicas como germinación, longitud de plúmula y radícula, materia fresca y seca. Adicionalmente, en los tratamientos con la mejor cobertura con la mejor cobertura, comercial + polvo y politerpeno + polvo, así como los testigos y testigo + polvo, se analizaron variables bioquímicas: concentración de clorofila, fenoles, glutatión, proteínas totales y flavonoides. Los tratamientos con mayor capacidad de adherencia fueron el comercial y politerpeno, mientras que los adherentes, CMC, caseína y almidón mostraron una menor capacidad. El tratamiento con adherente comercial presentó mayor uniformidad en el recubrimiento, lo cual es indispensable para una aplicación y cobertura eficiente de los materiales. Los tratamientos tuvieron efecto significativo sobre la germinación, no habiendo diferencia significativa entre el testigo y los dos tratamientos con la mejor cobertura (comercial y politerpeno), asimismo hubo diferencia significativa en longitud de plúmula, longitud de radícula, peso fresco y peso seco, en cuanto a variables bioquímicas, el tratamiento con la mayor concentración de clorofila fue el comercial + polvo, en comparación con el testigo,

que presento la concentración más baja, no teniendo diferencia con los otros tratamientos: testigo + polvo y politerpeno + polvo. Estos tratamientos no tuvieron efecto significativo sobre el contenido de glutatión, fenoles y flavonoides y si tuvieron efecto significativo sobre el contenido de proteínas totales. Los resultados en este estudio demuestran que la elección del adherente influye en la cobertura y eficacia de los extractos vegetales aplicados a las semillas.

**Palabras claves:** Adherente, bioestimulante, germinación, cobertura, encapsulación, biocompuestos, crecimiento, plántulas.

## I.- INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays*) es el cultivo más importante en México, desde el punto de vista alimentario, económico, político y social, este grano se produce en dos ciclos agrícolas, primavera-verano y otoño-invierno, bajo diversas condiciones agroclimáticas, siendo México considerado como uno de los países más grandes en la producción de maíz (Luna *et al.*, 2012).

Durante el periodo 2010 a 2020 se sembraron en promedio 9.9 millones de hectáreas de granos básicos entre ellos el maíz que representó el 76% del total, con un rendimiento promedio de 3.5 toneladas por hectárea, dando como resultado una producción de maíz de 26.3 millones de toneladas, de los cuales el maíz blanco participa con el 82.9%, el amarillo con el 10.3% y otros tipos de maíz con el 6.8% (Reyes *et al.*, 2022). El consumo nacional promedio de maíz blanco de 2010 a 2020 fue de 22 millones de toneladas y de maíz amarillo fue de 14 millones de toneladas, de acuerdo a estas cifras se puede notar que México debe importar 0.145 millones de toneladas de maíz blanco para satisfacer su demanda y 11.3 millones de toneladas de maíz amarillo (Reyes *et al.*, 2022).

Por otro lado, es necesario conocer nuevas tecnologías y estrategias para el almacenamiento de estas semillas, es por ello que es importante mencionar el tratamiento de semillas como una opción viable para el acondicionamiento, este método antes de la siembra es indispensable para aumentar la germinación, acelerar la emergencia y evitar que fitopatógenos ocasionen enfermedades; también reduce el consumo de agua en campo y la competencia con arvenses (Joya *et al.*, 2021). En los tratamientos pregerminativos y en todas las etapas de desarrollo, por lo general se usan plaguicidas, los cuales aumentan los costos de producción, dejan residuos peligrosos en el ambiente y en granos (Joya *et al.*, 2021).

Es por ello que el uso de extractos vegetales pueden ser una alternativa en el acondicionamiento de semillas y a su vez en el manejo de fitopatógenos (Joya *et al.*, 2021)

La implementación de una agricultura sostenible en el control de plagas de cultivos de maíz, a partir de bio-plaguicidas, permitirá el manejo y uso racional de los recursos naturales, seguridad alimentaria, estabilidad productiva, biodiversidad en los agro ecosistemas y reducción en la contaminación con mejoras en la salud de la población (Figueroa *et al.*, 2019).

El uso de extractos vegetales en el control de plagas toma cada vez más relevancia en el ámbito científico. Un ejemplo de extractos vegetales usados en el control de *Spodoptera frugiperda* (Smith, J.E., 1797) es el desarrollo por (Figueroa *et al.*, 2019), usando *Polygonum hydropiperoides*, *Solanum nigrum* y *Calliandra pittiere*, así mismo (Figueroa *et al.*, 2019), evaluaron la actividad biológica del extracto acuoso de las hojas de *Azadirachta indica* sobre *S. Frugiperda*, por su parte (Figueroa *et al.*, 2019) que usaron extractos vegetales de la familia *Piperaceae* para el control de arvenses, plagas y enfermedades en el sector agrícola. Estos estudios presentaron resultados prometedores como bioplaguicidas, sin embargo, es necesario desarrollar nuevos sistemas de manejo integrado de cultivos, ajustados a las necesidades propias de la agricultura actual.

### 1.1 Antecedentes

El incremento de la población y el deterioro acelerado de los agro ecosistemas en los últimos años, impone al sector agrícola y agroindustrial la búsqueda y formulación de nuevos y mejores productos que permitan obtener producciones agrícolas sostenibles y alimentos más saludables, es así que una de las áreas prometedoras en la agricultura moderna es el uso racional de bioproductos con actividad estimulante para el crecimiento, protección de plantas obteniéndose de materias primas locales (Murillo - Cuevas *et al.*, 2021).

Los bioestimulantes agrícolas se definen como cualquier sustancia natural y/o microorganismos, aplicados a las plantas, semillas o rizosferas, con el objetivo de aumentar el crecimiento vegetal, el uso eficiente de nutrientes, la tolerancia al estrés y los parámetros de calidad (Espinoza *et al.*, 2020).

Los bioestimulantes son una variedad de productos, cuyo común denominador es el contenido de principios activos que actúan sobre la fisiología de las plantas aumentando su desarrollo y mejoran su productividad, contribuyendo a mejorar la resistencia de las especies vegetales ante diversas enfermedades (Molina J. Alejandro *et al.*, 2017).

El uso de diferentes adherentes para el recubrimiento de las semillas se basa en ciertas características tales como el tipo de material implementado, las condiciones bajo las cuales se aplica el adherente (tipo de solvente, pH, la concentración de cada componente, temperatura, entre otras), el tipo y concentración de los aditivos (Winarti C. *et al.*, 2012)

Generalmente las semillas recubiertas establecidas en diferentes condiciones ambientales logran altos porcentajes y tasas de emergencia cercanos al 100%, un adecuado inicio de plántula y altos rendimientos finales (Peña M. *et al.*, 2016). Es por ello que el recubrimiento de semilla tiene como objetivo mejorar las características de crecimiento y desarrollo de la plántula y protegerlo de agresiones bióticas nocivas (Peña M. *et al.*, 2016).

## **II.- JUSTIFICACIÓN**

Debido a las tensiones generadas por la humectación y secado en la superficie de la semilla, usualmente se producen deterioros en la integridad del tegumento lo que genera falta de uniformidad en la distribución del tratamiento e impacto en la emergencia sobrevivencia de las plántulas y rendimiento (Montoya P. *et al.*, 2021). Es por ello que se realizan tratamientos a las semillas para conservar sus características de calidad.

Siendo una de las alternativas para evitar el deterioro de la semilla y garantizar su distribución uniforme, la aplicación de polímeros de recubrimiento o materiales adherentes, estos productos permiten adherir a la semilla diversos compuestos como fungicidas, insecticidas, nutrientes, así como compuestos bioestimulantes de

crecimiento y fitohormonas; algunos de estos se presentan como polvos solidos (Montoya P. *et al.*, 2021).

En la elaboración de dichos recubrimientos para semillas es factible utilizar adherentes de moléculas orgánicas, naturales, químicamente modificadas o de síntesis. La aplicación de estos polímeros de recubrimiento tiene como principal función vehiculizar y uniformizar la adición a sustancias y disminuir las pérdidas de semillas por roturas o pelados durante las operaciones de la siembra (Montoya P. *et al.*, 2021).

## **2.1 Objetivos**

### **2.1.2 General**

- Evaluar la capacidad de adherencia de cinco materiales para el tratamiento de semillas con extractos vegetales en forma de polvo.

### **2.1.3. Específicos**

- Determinar la capacidad de los materiales para adherir extractos vegetales en forma de harina en la superficie de semillas de maíz y así seleccionar el más adecuado.
- Evaluar el efecto de la aplicación de adherentes y extractos vegetales en forma de harina en la germinación de semillas de maíz.
- Cuantificar compuestos bioactivos en las plántulas de maíz acondicionadas con los diferentes materiales adherentes y extractos vegetales en forma de harina.

### **III.- REVISION DE LITERATURA.**

#### **3.1.- Importancia del uso de adherentes en las semillas**

Además de los factores ambientales que regulan la viabilidad y germinación de las semillas, existe otras variables que inciden sobre la calidad fisiológica, como los micronutrientes y colorantes, así como también la cantidad de humedad inherente al tratamiento de semillas operan como fuentes de variación intrínseca (Grossano, 2018).

Los recubrimientos se han desarrollado con el fin de extender la vida útil de los productos, para usarse como soporte de agentes antimicrobianos, antioxidantes o nutrientes, están compuestas principalmente por polisacáridos, proteínas, lípidos y resinas, son extraídas de fuentes naturales tales como, trigo, maíz, papa y yuca, obteniendo con este último, película con buenas propiedades de flexibilidad y permeabilidad al vapor de agua. La proteína de soya ha sido estudiada por su excelente capacidad para formar películas y por sus buenas propiedades de barreras de lípidos y oxígeno a humedades relativamente bajas (Garcia, 2019).

A pesar de las ventajas que trae el tratamiento de semillas, la correcta elección del tipo de formulación o el uso inadecuado del producto, pueden producir efectos adversos afectando a la población de plantas, este sofisticado proceso de aplicación, además de permitir una distribución precisa de los ingredientes activos en la superficie de la semilla sin cambiar su forma y peso, también puede permitir una mejor adhesión y protección (Grossano, 2018). Los polímeros adherentes son de gran importancia en el tratamiento de semillas, ya que son utilizados para aumentar la retención y uniformidad de distribución en la superficie de la semilla (Guerberoff & Londero, 2022).

##### **3.1.1- Factores a considerar en la elección de un adherente**

Las películas de recubrimiento pueden ser elaboradas a partir de una gran variedad de polisacáridos, proteínas y lípidos solos o en combinaciones que logren



aprovechar las ventajas de cada grupo, dichas formulaciones pueden incluir, conjuntamente plastificantes y emulsificantes, que se utilizan de diversa naturaleza con la finalidad de ayudar a mejorar las propiedades finales de la película o recubrimiento (Fernández D. *et al.*, 2015).

El desarrollo de recubrimientos a base de polisacáridos, ha experimentado un incremento significativo debido a las diversas aplicaciones en el tratamiento de productos. Entre los polisacáridos más utilizados en la elaboración de recubrimientos, se encuentran los derivados de la celulosa, el almidón, quitosano, alginato, carragenina y pectina, entre otros (Fernández D. *et al.*, 2015). Estos polisacáridos presentan una interesante alternativa debido a su fácil procesamiento, bajo costo, abundancia, no tóxico, y fácil manipulación, lo que ayudaría a alcanzar una agricultura sostenible (Fernández D. *et al.*, 2015).

Las películas y recubrimientos deben presentar ciertas características funcionales que permitan controlar o minimizar las causas de alteración de los alimentos o producto a recubrir (Fernández D. *et al.*, 2015).

- Deben requerir una tecnología simple para su elaboración
- Ser protectores de la acción física, química y mecánica.
- Preferentemente, no deben presentar propiedades, tales como el olor, color y sabor.
- Inhibir el crecimiento de bacterias, hongos etc.

### **3.1.2.- Adherentes utilizados en el acondicionamiento de semillas.**

Los recubrimientos al controlar la transferencia de humedad, gases y compuestos volátiles, han demostrado la capacidad de mejorar la integridad y la calidad de los alimentos o productos, prolongando su vida de almacenamiento. Al recubrirlas es necesario que exista una cierta permeabilidad al oxígeno y dióxido de carbono para evitar una respiración anaerobia que podría inducir desordenes fisiológicos y una pérdida rápida de la calidad y vida de anaquel en los mismos (Fernández D. *et al.*, 2015).

Una estrategia para alargar la vida de anaquel de los productos o alimentos es adicionar agentes antimicrobianos para inhibir o reducir la carga microbiana, considerando lo mismo con los recubrimientos (Takebayashi N. *et al.*, 2023).

Existe una amplia variedad de compuestos que pueden ser utilizados para la elaboración de películas de recubrimiento y su elección depende principalmente de la aplicación que se va a tener. Los componentes principales utilizados son polisacáridos, proteínas, lípidos o una combinación de estas (Begoña D. *et al.*, 2015).

**Polisacáridos:** Son polímeros de cadena larga que pueden exhibir una carga neutral, positiva o negativa, debido a la presencia de varios grupos químicos unidos a las unidades de monosacáridos, estas características estructurales contribuyen a sus propiedades espesantes, emulsificantes, gelificantes y formadoras de películas (Márquez *et al.*, 2015).

Los recubrimientos hechos a base de polisacáridos poseen excelentes propiedades organolépticas, ópticas y mecánicas, son generalmente pobres barreras a la humedad, presentan baja permeabilidad al oxígeno y permeabilidad selectiva al dióxido de carbono (Márquez *et al.*, 2015)

Entre los polisacáridos empleados para la elaboración de recubrimientos se incluyen celulosas y sus derivados, almidón y sus derivados, pectinas y sus derivados, extractos de algas marinas (Alginato, carragenanos, agar), gomas (acacia, xantana, gelano) y quitosano etc. (Márquez *et al.*, 2015)

**Proteínas:** Exhiben una amplia variedad de características moleculares, de acuerdo a su origen biológico y función, pueden variar en su peso molecular, conformación (globular, al azar, hélice) características eléctricas, flexibilidad y estabilidad térmica. Las diferencias en estas características determinan la capacidad de cada proteína en particular para formar recubrimientos, las proteínas que son insolubles en agua, tales como zeína de maíz y gluten de trigo, producen recubrimientos insolubles, mientras que las proteínas que son solubles en agua producen recubrimientos de

diferente solubilidad, dependiendo de la proteína y las condiciones de formación y tratamiento de revestimiento (Márquez *et al.*, 2015).

Estas películas de recubrimiento poseen excelentes propiedades organolépticas, ópticas y mecánicas, presentan baja permeabilidad al oxígeno, dióxido de carbono y lípidos; pero alta permeabilidad al vapor de agua, debido a su naturaleza hidrofílica (Márquez *et al.*, 2015).

Los materiales empleados en la formulación de este tipo de recubrimiento pueden ser de origen animal (caseínas, proteínas de suero, colágeno, elastina, gelatina, actina, albumina de huevo etc.) o de origen vegetal (proteínas de trigo, proteínas de soya, zeína de maíz, entre otras) (Márquez *et al.*, 2015)

**Lípidos:** Los recubrimientos elaborados a partir de lípidos presentan buenas propiedades de barrera contra el vapor de agua, pero son opacas y pocas flexibles (Márquez *et al.*, 2015). Debido al hecho de que cada sustancia hidrofóbica tiene sus propias propiedades físico – químicas, cada recubrimiento elaborado a base de lípidos se comporta de una manera diferente en relación a la transferencia de humedad. A medida que aumenta el número de carbonos de ácidos grasos y de alcoholes grasos, también lo hace eficaz para actuar como barrera contra la humedad, debido a que la parte no polar de la molécula incrementa (Márquez *et al.*, 2015)

Entre los lípidos utilizados en la elaboración de los recubrimientos, se incluyen aceites y grasas animales y vegetales (cacahuate, coco, palma, mantequilla, manteca de cerdo, etc.), ceras animales y vegetales (candelilla, jojoba, abeja, etc.), resinas (goma laca), aceites esenciales y emulsificantes (ácidos grasos, lecitinas) (Márquez *et al.*, 2015).

**Compuestos:** Los recubrimientos que son una combinación de lípidos con proteínas o polisacáridos combinan la ventaja de cada uno de los componentes utilizados, por ejemplo: las propiedades de barreras de humedad, de lípidos y la permeabilidad selectiva a dióxido de carbono y oxígeno, así como la capacidad para formar una matriz resistente, de las proteínas y polisacáridos. Algunas sustancias

empleadas en la formulación de este tipo de recubrimiento son éteres de celulosa, quitosano, almidón, alginatos y carragenanos combinados con ácidos esteáricos o palmítico, cera de abejas, monoglicéridos acetilados y lectinas (Márquez *et al.*, 2015).

### **3.1.3.- Adherentes específicos y sus principales características.**

#### **PROTEÍNA**

- Caseinato de sodio

Las películas biodegradables fabricadas con proteínas lácteas como el suero y la caseína son de gran utilidad. Estas películas forman barreras selectivas para gases y migración de solutos (Herrera Alma D. *et al.*, 2015), transportan varios ingredientes funcionales como antioxidantes, agentes antimicrobianos, especies, colorantes, sabores y olores los cuales pueden mejorar la funcionalidad de materiales de empaquetamiento (Herrera Alma D. *et al.*, 2015)

Estas películas se caracterizan por ser transparentes y por proporcionar ciertas propiedades mecánicas (Parras, 2009) una de las características más importantes que presenta es que son enteramente biodegradable y por tanto su uso comienza a extenderse en varios tipos de alimentos (Parras, 2009). Ésta muestra una buena adherencia a distintos sustratos, aunque es una excelente barrera al oxígeno, al dióxido de carbono y a los aromas, en cambio proporciona una débil defensa contra la humedad.

#### **COMPUESTOS**

- Carboximetil celulosa

Es un polímero biocompatible que tiene una estructura macromolecular lineal (en forma de cadena) a base de enlaces covalentes que unen unidades repetitivas de D – glucopiranosas modificadas debido a la situación de grupos OH – por grupos - [COO – Na<sup>+</sup>], siendo este grado de sustitución (DS) el parámetro estructural que define las propiedades de la MCM. Dependiendo de la magnitud de DS de la MCM, las unidades repetitivas adquirirán capacidades y preferencias para romper o crear

interacciones con segmentos de cadenas propias o vecinas en una dirección en particular, que resulta ser la más probable, dicho comportamiento se conoce como regioselectividad (Puentes Jesus G. *et al.*, 2022)

El tamaño y la flexibilidad características de la MCM les confiere una estructura supramolecular basada principalmente en fuerzas de van der Waals y puentes de hidrógeno, otorgando a este polímero importantes propiedades reológicas y de solubilidad en agua, que la hacen ideal para una amplia variedad de aplicaciones industriales, destacando como espesante, emulsificante y estabilizante (Puentes Jesus G. *et al.*, 2022)

Es un polímero que forma película al solidificar, actúa como ligante, espesante y estabilizante (Guadarrama *et al.*, 2008). Produce materiales transparentes lo que es una cualidad importante en los recubrimientos, pues permite mantener la apariencia de los productos (Guadarrama *et al.*, 2008).

## **POLÍMERO**

- Politerpeno

Los terpenos forman parte importante, aunque algunas veces imperceptibles, de la cotidianidad del ser humano, son utilizados por sus diferentes propiedades, por ejemplo, saborizantes, colorantes, aromáticas, antitumorales, antioxidantes, antibióticos, insecticidas, entre muchas otras más (H. Espinoza, Marquez, & Martinez, 2016).

Los terpenos son clasificados según el número de unidades (isopreno) por el que estén conformados, pueden arreglarse linealmente o pueden (H. Espinoza, Marquez, & Martinez, 2016).

El primer grupo se divide en mono -, sesqui -, di, y triterpenos, los cuales contienen de dos a seis unidades de isopreno; este grupo incluye a los carotenoides y sesterpenoides (H. Espinoza, Marquez, & Martinez, 2016). El segundo grupo incluye a los meroterpenos, los indol diterpenos y el diverso grupo de los prenilados aromáticos (H. Espinoza, Marquez, & Martinez, 2016). Los terpenos más simples (mono y sesquiterpenos) son los principales constituyentes de los aceites esenciales, son ampliamente utilizados en la industria de la perfumería; en general

los monoterpenos hidrocarbonados como  $\alpha$  y  $\beta$ - pineno, limoneno s-3 – careno,  $\alpha$  – felandreno y mirceno se encuentran en la mayoría de los aceites esenciales vegetales, particularmente de aquellos extraídos de hojas, semillas y flores. Mientras que los di – y triterpenos son compuestos menos volátiles que los anteriores y se obtienen de las resinas vegetales (H. Espinoza, Marquez, & Martinez, 2016)

## **POLISACÁRIDO**

- Almidón

Los gránulos de almidón contienen dos tipos de moléculas: 1) Amilosa: formada por unidades de cadena lineal de 1, 4 –  $\alpha$  – D – glucopiranosas, y 2) Amilopectina, que es una molécula ramificada formada por unidades de  $\alpha$  – 1, 6 – glucósido. La primera presenta excelentes propiedades para formar películas fuertes, isotrópicas, inodoras, insípidas y sin color, cuando se adiciona un plastificante, es posible obtener películas con nuevas propiedades mecánicas, de éstas se ve afectado por la retrogradación, ya que las dobles hélices de la amilosa y amilopectina se entrecruzan endureciendo las películas (Solano Luz G. *et al.*, 2020).

### **3.2.- Uso de extracto vegetales en el acondicionamiento de semilla**

Una de las estrategias de menor costo y mayor sostenibilidad ambiental es el uso de recubrimientos comestibles, los cuales presentan una opción que ha mostrado incrementar la vida postcosecha de frutos y semillas, conservando las características sensoriales y minimizando el deterioro (Cruz L. *et al.*, 2021).

El extracto de ajo (*Allium sativum*) se ha reportado como conservador natural, el cual cuenta con la capacidad de controlar el desarrollo de microorganismos que deterioran los alimentos (Cruz L. *et al.*, 2021)

El control con extracto de plantas, utilizando diferentes métodos de obtención y aplicación también ha sido ampliamente usado, generalmente a nivel artesanal, las plantas que se han utilizado en graneros rústicos para evitar el daño del grano por insectos son: cebolla (*Allium cepa* L.), neem (*Azadirachta indica* A. Juss), ají o chile (*Capsicum spp.*), cedro (*Cedrela spp.*), colorín (*Erythrina americana* Miller), eucalipto

(*Eucalyptus globulus Labill*), menta (*Mentha spicata L.*), tabaco (*Nicotiana tabacum L.*), hierba santa (*Piper auritum Kunth*) (Hincapié C. *et al.*, 2008)

### **3.3.- Métodos de aplicación de adherentes en el acondicionamiento de semillas con polvos.**

El recubrimiento de una semilla, además de brindar protección a la planta contra daños mecánicos, debe de ser lo suficientemente blando, para que, al germinar, pueda romper la cubierta y salir (Peña, 2015).

En el proceso de recubrimiento comercial de semillas, éstas son colocadas en un recipiente giratorio donde son asperjadas por nebulización con agua u otro líquido, al cual se le añade poco a poco el polvo (aditivo) que recubrirá la semilla. Cada semilla empapada con la solución se convierte en el centro de una aglomeración del polvo que aumenta gradualmente de tamaño. Las píldoras son redondeadas y suavizadas por la acción de volteo en el recipiente giratorio. El revestimiento en polvo se compacta por compresión a partir del peso del material en la bandeja (Peña, 2015)

La encapsulación se define como una técnica mediante la cual los sólidos, líquidos y gases son cubiertos con una película polimérica porosa que contiene una sustancia activa (Peña, 2015) la cual se compone principalmente de cadenas que forman una red con propiedades hidrofóbicas y/o hidrofílicas (Peña, 2015), la microencapsulación consiste en el recubrimiento de pequeñas cantidades de un determinado compuesto mediante un material protector que es generalmente de naturaleza polimérica (Peña, 2015).

Para la selección del método de recubrimiento se deben considerar criterios como: tamaño medio de la partícula requerida, propiedades físico químicas del agente encapsulante y la sustancia a encapsular, aplicaciones para el material microencapsulado, mecanismo de liberación deseado y costo (Peña, 2015).

Los métodos de recubrimiento de materiales sólidos y líquidos se dividen en físicos y químicos, según su metodología. Los métodos físicos comprenden: secado por

aspersión, secado por congelamiento/enfriamiento, extrusión y cobertura por lecho fluidizado. Los métodos químicos comprenden; coacervación, gelificación iónica, cocrystalización, incompatibilidad polimérica, atrapamiento en liposomas, polimerización interfacial e inclusión molecular (Peña, 2015).

Sin embargo, las técnicas más adecuadas desde el punto de vista económico y de aplicaciones son el secado por atomización (secado por aspersión) (Peña-Daltoni, 2016) y la extrusión (gelificación iónica externa) (Peña-Daltoni, 2016).

Como se ha descrito anteriormente el secado por aspersión (Parra, 2010) y la gelificación iónica son técnicas de recubrimiento de semillas para conservarlas durante el almacenamiento, estimula el crecimiento de las plántulas y presenta un efecto bactericida, fungicida y antiviral (Peña-Daltoni, 2016).

### **3.4.- Uso de adherentes en diferentes procesos.**

El alginato es un polisacárido hidrofílico natural obtenidas de algas pardas y se usan en la microencapsulación de semillas por ser biocompatible, no tóxico y degradable (Peña-Daltoni, 2016). Los costos y beneficios del procedimiento de recubrimiento deben ser evaluados antes de seleccionar las semillas a tratar (Peña, 2015). Los componentes bióticos y abióticos que pueden formar parte del recubrimiento de las semillas son diversas y los más comunes son: reguladores de crecimiento (auxinas, citoquininas, etc.) nutrientes minerales y orgánicos, colorantes (eritrosina, azul V, clorofilina, etc.), junto con esmaltes y lacas, plaguicidas (herbicidas, fungicidas, repelentes, etc.), los materiales de cobertura más comunes son: orgánicos (harinas, serrín, mucílagos, etc.), y minerales (arcillas, dolomita, carbonatos, yeso, arenas, turba, etc.) (Peña, 2015).

Los materiales de recubrimiento deben unirse por sustancias adhesivas como: goma arábiga, gelatina, caseína o sales de caseinato, que eviten que el material de cubrimiento se rompa o quiebre con cualquier impacto (Peña, 2015). En el cuadro 1 se presentan algunos agentes de recubrimiento.



**Tabla 1.** *Agentes de Recubrimiento empleados en la Encapsulación (Peña, 2015).*

| CATEGORIA                     | MATERIAL DE RECUBRIMIENTO                                                                      |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Polisacáridos (carbohidratos) | Almidones, maltodextrinas, quitosano, ciclodextrina, sacarosa, jarabe de maíz.                 |
| Gomas                         | Acacia, agar, alginato de sodio, carragenina, goma arábica.                                    |
| Celulosa                      | Carboximetil-celulosa, metilcelulosa, etilcelulosa. Acetilcelulosa, nitrocelulosa.             |
| Lípidos (grasas)              | Ceras, parafinas, diglicéridos, monoglicéridos, aceites, grasas, ácido esteárico, trisetearia. |
| Proteínas                     | Gluten, caseína, gelatina, albúmina.                                                           |
| Materiales inorgánicos        | Sulfato de calcio, silicatos.                                                                  |

Las películas adherentes elaboradas a partir de diversas fuentes como proteínas son ampliamente utilizadas en la investigación dadas sus características biodegradables y sus propiedades físicas de barrera y de adhesión de otros materiales. En la tabla 2 se presentan propiedades de películas adherentes obtenidas en diversas fuentes de proteínas.

**Tabla 2.** *Propiedades de Fuentes de Proteínas.*

| Materia prima   | Proteína | Propiedades                    | Autores                                |
|-----------------|----------|--------------------------------|----------------------------------------|
| Zeína           | Vegetal  | Brillantes, impermeable        | Mendoza & Caballero (2006)             |
| Gluten de trigo | Vegetal  | Baja permeabilidad a los gases | Gontard <i>et al.</i> , (1994)         |
| Suero de leche  | Animal   | Buena flexibilidad             | Rosii - Márquez <i>et al.</i> , (2009) |
| Caseína         | Animal   | Transparencia                  | Atarés Bonilla & Chilralt (2010)       |

Debido a la gran diversidad de películas para recubrimientos podemos ver que en la tabla 3 se nos presentan diferentes recubrimientos comestibles principalmente en frutas secas.

**Tabla 3.** *Recubrimientos Comestibles en Frutas Secas*

| Tipo de fruta | Recubrimiento                           | Plastificante y aditivos                           | Función                                                                                                          |
|---------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mango         | CMC                                     | Lectina, PEG, AC                                   | Mantenimiento de color                                                                                           |
| Fresa         | CPS + Caseína + Pectina + Alginato      | Glicerol, aceite de girasol, AA, Cloruro de Calcio | Reducción del pardeamiento y prevención del crecimiento fúngico                                                  |
| Manzana       | CPS, APS, Carragenato, Alginato, gelana | Glicerol PEG, AA, AO, Aceite de girasol, CAB, Ncys | Mantenimiento de la textura y color, reducción de la pérdida de humedad, barrera a los gases, efecto antifúngico |

CMC: Caboximetilcelulosa; AC: Ácido cítrico; AA: ácido ascórbico; PEG: Polietilenglicol; AO: Ácido oxálico; Ncys: N-Acetilcisteína; CAB: Cera de abeja; CPS: Concentrado de proteínas de suero lácteo; APS: Aislado de proteínas de suero lácteo.

## **IV. MATERIALES Y METODOS**

### **4.1.- Lugar del experimento.**

Las pruebas de este estudio se llevaron a cabo en el laboratorio de fisiología vegetal ubicado en el departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en una estructura para germinación de semillas con control de iluminación y ventilación con control de luz (12 horas oscuridad y 12 horas de luminosidad) y temperatura entre 27 y 28 ° C.

### **4.2.- Material vegetal y adherentes utilizados.**

El material vegetal utilizado en este estudio fue semilla de maíz procedente del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas de la Universidad, siendo la variedad Tuxpeño.

Se seleccionaron diferentes adherentes en función de su facilidad de acceso y practicidad en la preparación. En la Tabla 4 se presentan los adherentes utilizados y cómo fueron estandarizados para su preparación antes de aplicarse a las semillas. Se utilizó agua destilada como testigo absoluto y un adherente comercial (pegoDel) como testigo comercial.

Los adherentes sólidos se pesaron en una balanza analítica de la marca: OHAUS, modelo; AX423/E con sede en Parsippany, Nueva Jersey, Estados Unidos y los líquidos se midieron en una probeta de vidrio, se mezclaron con agua destilada y una vez preparada la solución se colocó en una gradilla con temperatura y agitación según se especifica en la Tabla 4. Los productos adherentes se adquirieron de forma comercial, excepto la caseína que fue proporcionada en el departamento de Ingeniería en Ciencia y Tecnología de Alimentos, perteneciente a la Universidad. Para visibilizar los adherentes, al momento de ser aplicados a la semilla, se utilizó un colorante comestible en gel, de origen vegetal, de la marca comercial ENCO, el cual se adicionó una vez había transcurrido la mitad del tiempo requerido en agitación para cada adherente.

**Tabla 4.** Estandarización para la Preparación de Cada Adherente Utilizado en Este Estudio

| Adherente                  | Concentración (%) |     | Agua destilada (mL) | Cantidad adherente | Colorante (%) | Temperatura (°C) | Agitación (min.) |
|----------------------------|-------------------|-----|---------------------|--------------------|---------------|------------------|------------------|
| Carboximetilcelulosa (CMC) | 0.25              | p/v | 100                 | 0.25 g             | 0.5           | 35               | 15               |
|                            | 0.5               | p/v | 100                 | 0.5 g              |               |                  |                  |
| Politerpeno                | 75                | v/v | 100                 | 75 mL              | 0.5           | 0                | 10               |
|                            | 100               | v/v | 100                 | 100 mL             |               |                  |                  |
| Caseinato de sodio         | 20                | p/v | 100                 | 20 g               | 0.5           | 30               | 60               |
| Almidón de maíz            | 20                | p/v | 100                 | 20 g               | 0.5           | 50               | 45               |
| Adherente comercial        | 100               | -   | 0                   | 100 mL             | 0             | 0                | 0                |
| Testigo                    | Agua destilada    | -   | 100                 | -                  | 0.5           | 0                | 0                |

#### 4.3.- Descripción de los tratamientos y dosis de aplicación.

Para la aplicación de los tratamientos se utilizó harinas vegetales, las cuales fueron obtenidas a partir de hojas de brócoli liofilizadas y maceradas hasta pasar por una malla número 100. Los tratamientos empleados se presentan en la tabla 5. La dosis de aplicación de los diferentes adherentes, para el acondicionamiento de la semilla de maíz, se presenta en la tabla 6 y la dosis de harina vegetal en los tratamientos que la incluyen (T2, T4, T6, T8, T10, T14, T16) fue de 1 gramos en 200 semillas.

Para el acondicionamiento con los adherentes y harinas vegetales se usaron 200 semillas para cada tratamiento, posteriormente fueron desinfectadas con cloro al 5% y alcohol al 25%, posteriormente se enjuagó con agua destilada varias veces y se colocaron a secar al ambiente; se aplicó el adherente en las dosis que se indica en la tabla 6, posteriormente se agitó durante 1 minuto para luego colocarlas a secar durante 5 minutos. Una vez completado el tiempo de secado se agregó la harina vegetal, se mezcló de forma lenta hasta lograr un recubrimiento homogéneo.

**Tabla 5.** *Tratamientos Utilizados para el Acondicionamiento de Semillas de Maíz con Adherentes.*

| Tratamiento | Descripción                                          |
|-------------|------------------------------------------------------|
| T1          | Carboximetilcelulosa (CMC) al 0.25 %                 |
| T2          | Carboximetilcelulosa (CMC) al 0.25% + harina vegetal |
| T3          | Carboximetilcelulosa (CMC) al 0.5%                   |
| T4          | Carboximetilcelulosa (CMC) al 0.5% + harina vegetal  |
| T5          | Politerpeno al 75%                                   |
| T6          | Politerpeno al 75% + harina vegetal                  |
| T7          | Politerpeno al 100%                                  |
| T8          | Politerpeno al 0.25% + harina vegetal                |
| T9          | Caseinato de sodio al 20%                            |
| T10         | Caseinato de sodio al 20% + harina vegetal           |
| T11         | Almidón al 20%                                       |
| T12         | Almidón al 20% + harina vegetal                      |
| T13         | Adherente comercial al 100%                          |
| T14         | Adherente comercial al 100% + harina vegetal         |
| T15         | Testigo absoluto                                     |
| T16         | Testigo absoluto + harina vegetal                    |
|             |                                                      |

**Tabla 6.** *Dosis de Aplicación de los Adherentes en 200 Semillas de Maíz.*

| Adherente                   | Concentración % |     | Dosis acondicionamiento de semillas (mL) |
|-----------------------------|-----------------|-----|------------------------------------------|
| <b>Carboximetilcelulosa</b> | 0.25            | p/v | 2                                        |
|                             | 0.5             |     | 2                                        |
| <b>Politerpeno</b>          | 75              | v/v | 1.5                                      |
|                             | 100             |     | 1.5                                      |
| <b>Caseinato de sodio</b>   | 20              | p/v | 2                                        |
| <b>Almidón de maíz</b>      | 20              | p/v | 2                                        |
| <b>Testigo</b>              | Agua destilada  |     | 2                                        |
| <b>Adherente comercial</b>  |                 |     | 0.5                                      |
|                             |                 |     |                                          |

#### **4.4.- Variables evaluadas**

##### **4.4.1.- Variables de cobertura de semillas.**

- **Porcentaje de cobertura:** Para evaluar el porcentaje de cobertura en las semillas, se tomaron fotografías haciendo uso de una cámara digital marca Nikon Coolpix L23, modelo; B07TB53T3L, procedente de Tailandia. acoplada a un estereoscopio marca NOVA XTD 20 de origen Colombiano. El porcentaje de cobertura en las semillas fue determinado utilizando el software Image-Pro Plus, versión 6.0 (Media Cybernetics, Rockville, MD, EE. UU.).
- **Estructura del recubrimiento:** Se realizaron visualizaciones de las semillas recubiertas con el adherente y la harina vegetal, haciendo uso de un microscopio electrónico de barrido (MEB) marca JEOL JSM-IT510 InTouchScope, procedente de Massachusetts E.U., con una cámara digital marca Philips integrada al microscopio. Las muestras se recubrieron con una capa delgada de metal paladio mediante un equipo de pulverización catódica (Sputter Coater LITH-SD80), procedente de, Toronto Canadá, se tomaron imágenes para observar las posibles diferencias en la estructura y densidad de las coberturas.

##### **4.4.2.- Variables fisiológicas.**

- **Germinación:** para la prueba de germinación se sembraron 10 semillas en hojas de papel Anchor, se colocaron de forma horizontal y se cubrieron con el mismo papel, se roció con agua y se enrollaron, posteriormente se colocaron dentro de bolsas plásticas para mantener la humedad, se contó con 5 repeticiones por tratamiento. Se colocaron en una estructura para germinación de semillas con control de iluminación y ventilación con luz – oscuridad 12 horas, a una temperatura de 28 ° C durante 7 días, realizando riegos manuales para mantener la humedad. Las evaluaciones de cada tratamiento se realizaron calculando el porcentaje de germinación, plántulas normales, plántulas anormales y semillas sin germinar.

- **Longitud de plúmula y radícula:** Las longitudes se midieron haciendo uso de un vernier digital marca H-7352 0.001" Pleasant Prairie, WI 53158, se midió la plúmula desde el coleóptilo hasta el ápice de la hoja primaria; la radícula se midió desde la unión con el coleóptilo hasta la punta la raíz principal.
- **Materia fresca y seca:** Para medir la materia fresca se separó el endospermo de la plántula y se pesaron en una balanza analítica marca OHAUS, modelo; Ax423/E con sede en Parsippany, Nueva Jersey, Estados Unidos posteriormente se colocaron en bolsas de papel para cada tratamiento con 4 repeticiones. Se colocaron en una estufa de secado marca Memmert UF75 república federal de Alemania a una temperatura de 72 ° C por 72 horas, una vez pasado este tiempo se pesaron en una balanza analítica OHAUS, para determinar la materia seca modelo; AX423/E con sede en Parsippany, Nueva Jersey, Estados Unidos.

#### **4.4.3.-Variables bioquímicas.**

Las plántulas fueron conservadas en un ultracongelador marca Thermo Scientific-40086FA Alcobendas, Madrid, España, para luego ser liofilizadas en un liofilizador marca Labconco FreeZone, centro empresarial, Vega Norte, 28108, Madrid España, durante una semana. Una vez secas se procedió a macerar en un mortero cerámico, la muestra se almacenó en bolsas plásticas para proceder a cuantificar los biocompuestos. Las variables determinadas y su procedimiento se describen a continuación:

- **Clorofila:** se determinaron según lo establecido por Wellburn (1994), se agregaron 60 mg de la muestra en un tubo de ensayo, luego se adicionó 5 mL de metanol puro y se incubó a temperatura ambiente en oscuridad por 24 h. Después se procedió a medir la absorbancia en espectrofotómetro UV-Vis (Genesis 10s UV-Vis, Thermo Scientific, USA) a 666, 653 y 470 nm. La concentración de los pigmentos se expresa en miligramos por gramo de peso seco ( $\text{mg g}^{-1}$  PS).

- **Fenoles:** se realizó por el método modificado de Folin Ciocalteu. Se mezcló agua destilada con 1 mg de la muestra y 150  $\mu$ L de reactivo Folin a 0.2 N. posteriormente se adicionaron 300  $\mu$ L de solución de hidróxido de sodio a 0.35 M, después se incubó a temperatura ambiente y en obscuridad por 5 min. La absorbancia fue cuantificada en un espectrofotómetro UV-Vis (Genesis 10s UV-Vis, Thermo Scientific, USA) a 760 nm. La concentración de los pigmentos se expresa partes por millón de peso seco (ppm PS).
- **Glutación:** se determinó con la metodología propuesta por (Xue *et al.*, 2001), utilizando DTNB (ácido 5,5 ditiobis 2-nitro benzoico) para la reacción de coloración. Se utilizó 0.48 mL de la muestra, 2.2 mL de fosfato de disódico, 0.33 mL de DTNB a 1 mM; posteriormente la mezcla se reposó durante 15 min y se realizó la lectura en un espectrofotómetro Uv-Vis (Genesis 10s, Thermo Scientific, USA) a 412 nm, el resultado se expresa partes por millón de peso seco (ppm PS).
- **Proteínas totales:** La cuantificación se realizó por medio de espectrofotométrica de Bradford, (1976). Se colocó 1 mL de reactivo Bradford y 0.1 mL de la muestra, se dejó reposar por 5 minutos y se leyó a 595 nm en un espectrofotómetro Uv-Vis (Genesis 10s, Thermo Scientific, USA) . Los resultados se presentan en partes por millón de peso seco (ppm PS).
- **Flavonoides:** La determinación fue según Zhishen *et al.* (1999). Se emplearon 2 mL de metanol al 80% y 100 mg de muestra en agitación con vórtex, se zonificó durante 5 min y se procedió a centrifugar 4,000 rpm durante 10 min a 4 °C. La cuantificación se realizó manteniendo la muestra en reposo durante 5 min con 75  $\mu$ L de NaNO<sub>2</sub> al 5%, luego se agregó 1.5 mL de AlCl<sub>3</sub> al 10%, 2 mL de agua destilada y 0.5 mL de NaOH 1 M. La cuantificación se realiza en un espectrofotómetro Uv-Vis (Genesis 10s, Thermo Scientific, USA) a 510 nm y los resultados se expresan en partes por millón en peso seco equivalentes de catequina en peso seco (ppm EC PS).



- **Compuestos antioxidantes:** El procedimiento fue según lo planteado por Re *et al.* (1999), utilizando la decoloración del catión radical ABTS. Para dar lugar al radical se realizó una reacción con persulfato de potasio a 2.45 mM y ABTS a 7 mM (1:1 v/v) durante 16 horas en oscuridad, el radical debe tener una absorbancia de 0.7 a 754 nm. Posteriormente, en tubos de 2 mL se colocaron 0.980 mL de la dilución antes mencionada con 20  $\mu$ L de la muestra, agitando y dejando en oscuridad durante 7 min. Una vez transcurrido el tiempo de reposo, se realizó la medición a 754 nm en un espectrofotómetro Uv-Vis (Genesis 10s, Thermo Scientific, USA), los datos son reportados en partes por millón de equivalentes de ácido ascórbico en peso seco (ppm EAA PS).

#### **4.5.- Diseño experimental**

El experimento se estableció utilizando un diseño completamente al azar con 4 repeticiones para cada tratamiento y la unidad experimental constó de 10 plántulas. Se realizó una prueba de normalidad y homogeneidad de las varianzas, una vez cumplidos estos supuestos se realizó un análisis de varianza y prueba de medias de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher ( $p \leq 0.05$ ). Todos los procedimientos estadísticos se realizaron utilizando el software Infostat (v2018).

## V.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1.- Capacidad de adherencia de los materiales.

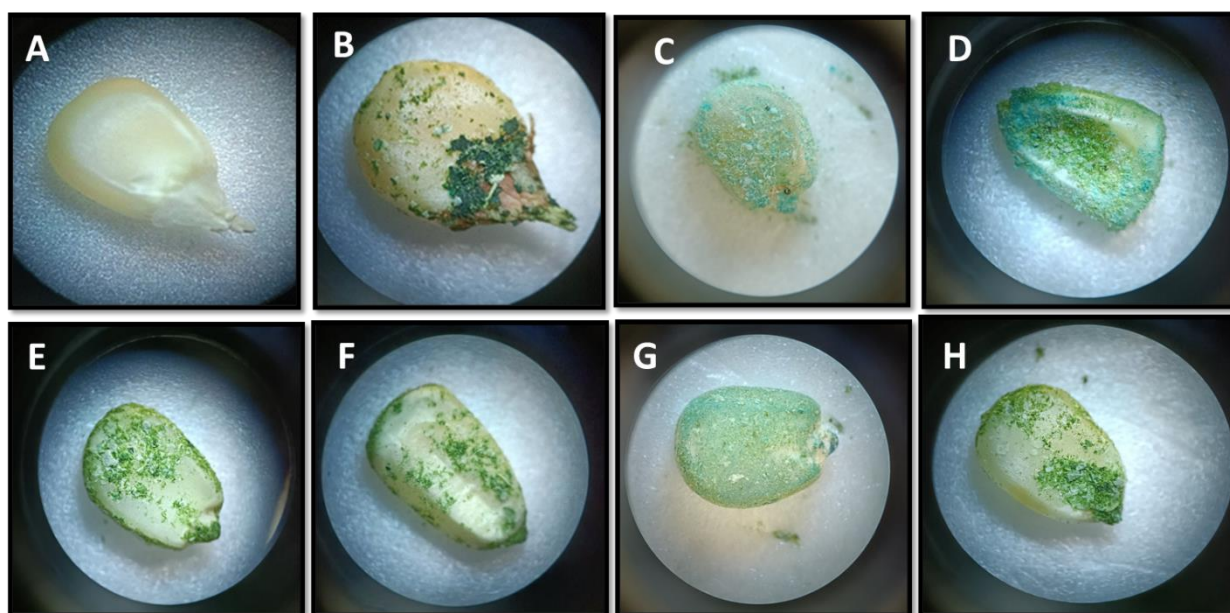
Los resultados sobre la capacidad de adherencia que tienen los materiales evaluados se presentan en la tabla 7, donde se observa que los adherentes con los cuales se tuvo mayor y mejor cobertura fueron comercial y Politerpeno (Figura 1C y 1G) en sus dos concentraciones, con porcentajes de cobertura superiores al 98%. Por su parte los adherentes con menor capacidad de adherencia fueron CMC, caseína y almidón, con porcentajes de cobertura inferiores al 7%. Esta variable nos permite seleccionar los adherentes que se pueden utilizar con mayor eficiencia en la adherencia de harinas o polvos, como parte de un proceso de acondicionamiento de semillas. En este caso particular, se evaluaron en la adherencia de extractos vegetales de brócoli en forma de harina. En la figura 1 se muestran las imágenes de las semillas de maíz recubiertas, se puede observar de manera más clara que hay una gran variabilidad en cuanto a la uniformidad y área con más y menos recubrimiento con respecto a los diferentes materiales que se utilizaron en este trabajo.

La selección y evaluación del adherente a utilizar en el acondicionamiento de semillas es importante porque asegura una distribución uniforme de los extractos vegetales en forma de polvo. El adherente que se seleccione debe garantizar la fijación de los tratamientos a aplicar en la semilla, sin afectar la germinación o el vigor de las semillas (Suemar *et al.*, 2012). Además, su compatibilidad con los compuestos activos y su resistencia a factores ambientales como humedad y manipulación mecánica son esenciales para mantener la calidad del recubrimiento durante el almacenamiento y la siembra (Suemar *et al.*, 2012).

Elegir de forma correcta el adherente optimiza el uso de los insumos, en este caso de los extractos vegetales en forma de harina, para tener una mejor respuesta agronómica y de prácticas que favorecen una producción más sostenible.

**Tabla 7.** Porcentaje de Cobertura de Semilla con los Extractos Vegetales en Forma de Polvo.

| TRATAMIENTO              | Área total | Área cubierta | Área no cubierta | % de cobertura |
|--------------------------|------------|---------------|------------------|----------------|
| TESTIGO                  | 1216.33    | 0.00          | 1216.33          | 0.00 d         |
| TESTIGO + POLVO          | 679.72     | 46.84         | 632.88           | 6.67 b         |
| COMERCIAL + POLVO        | 908.23     | 892.85        | 15.38            | 98.30 a        |
| CMC 0.5% + POLVO         | 939.20     | 27.52         | 911.68           | 2.94 cd        |
| CASEÍNA 20% + POLVO      | 803.28     | 21.01         | 782.27           | 2.69 cd        |
| ALMIDÓN 20% + POLVO      | 875.64     | 48.71         | 826.94           | 5.56 bc        |
| POLITERPENÓ 75% + POLVO  | 742.17     | 731.89        | 10.81            | 98.61 a        |
| POLITERPENÓ 100% + POLVO | 684.39     | 679.59        | 4.81             | 99.3 a         |
| CV                       | 9.72       | 10.58         | 13.32            | 2.75           |

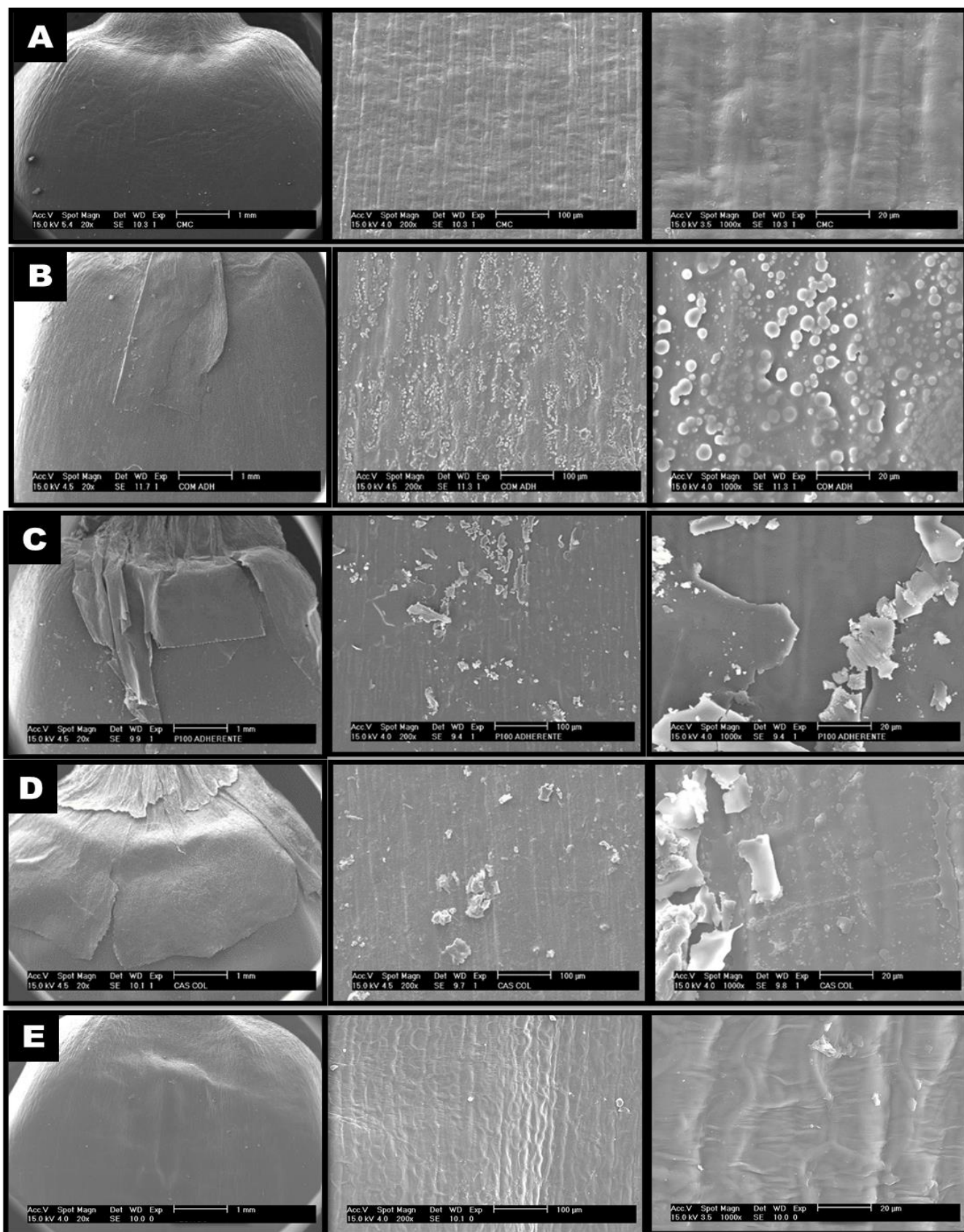


**Figura 1.** Vistas de las Semillas de Maíz Recubiertas con el Adherente y con Harinas Vegetales. A: testigo absoluto; B: testigo absoluto con harina vegetal; C: Politerpeno 100 % con harina vegetal; D: Politerpeno 75% con harina vegetal; E: Caseína 20% con harina vegetal; F: Almidón 20% con harinas vegetal; G: Testigo comercial con harina vegetal; H: Carboximetil celulosa 0.5% con harina vegetal.

En la figura 2 se pueden observar las imágenes, en el microscopio de barrido, de las semillas recubiertas con los diferentes adherentes, donde se distingue como hay capas de cobertura sobre la testa de la semilla, en la figura 3A y 3E no se observa recubrimiento, a diferencia de las figuras 3B, 3C y 3D donde se puede apreciar la uniformidad del recubrimiento, siendo el adherente comercial el que cuenta con mayor uniformidad y distribución en el área de la semilla. Otra diferencia que podemos encontrar es la forma de las estructuras de recubrimiento, en el caso del adherente comercial se observa como gotas expuestas en todo el campo visual, a diferencia del Politerpeno y caseína 20% donde se observan estructuras como laminas.

Una adecuada distribución y uniformidad del adherente en la superficie de la semilla es indispensable para garantizar una aplicación y cobertura eficiente de los materiales utilizados en el acondicionamiento, ya sean fungicidas, insecticidas, nutrientes o bioestimulantes en diferentes presentaciones, ya sean líquidas o sólidas en forma de polvos; una correcta cobertura de la superficie de la semilla con el material a tratar mejora la acción de mismo, ya sea durante el almacenamiento o la germinación (Sohail, 2022). Por otro lado, una distribución uniforme disminuye pérdidas del material de recubrimiento por desprendimiento durante la manipulación o transporte, lo cual reduce pérdidas y desperdicios (Jarecki, 2021).

Asegurar una aplicación uniforme y bien adherida de los productos usados en el tratamiento de las semillas nos garantiza un adecuado acondicionamiento, un mejor manejo en las etapas siguientes de la producción, nos permite un mejor flujo de movimiento cuando usamos maquinaria para siembra, evitando obstrucciones que resulten en una baja eficiencia del proceso (Taylor, 2021).

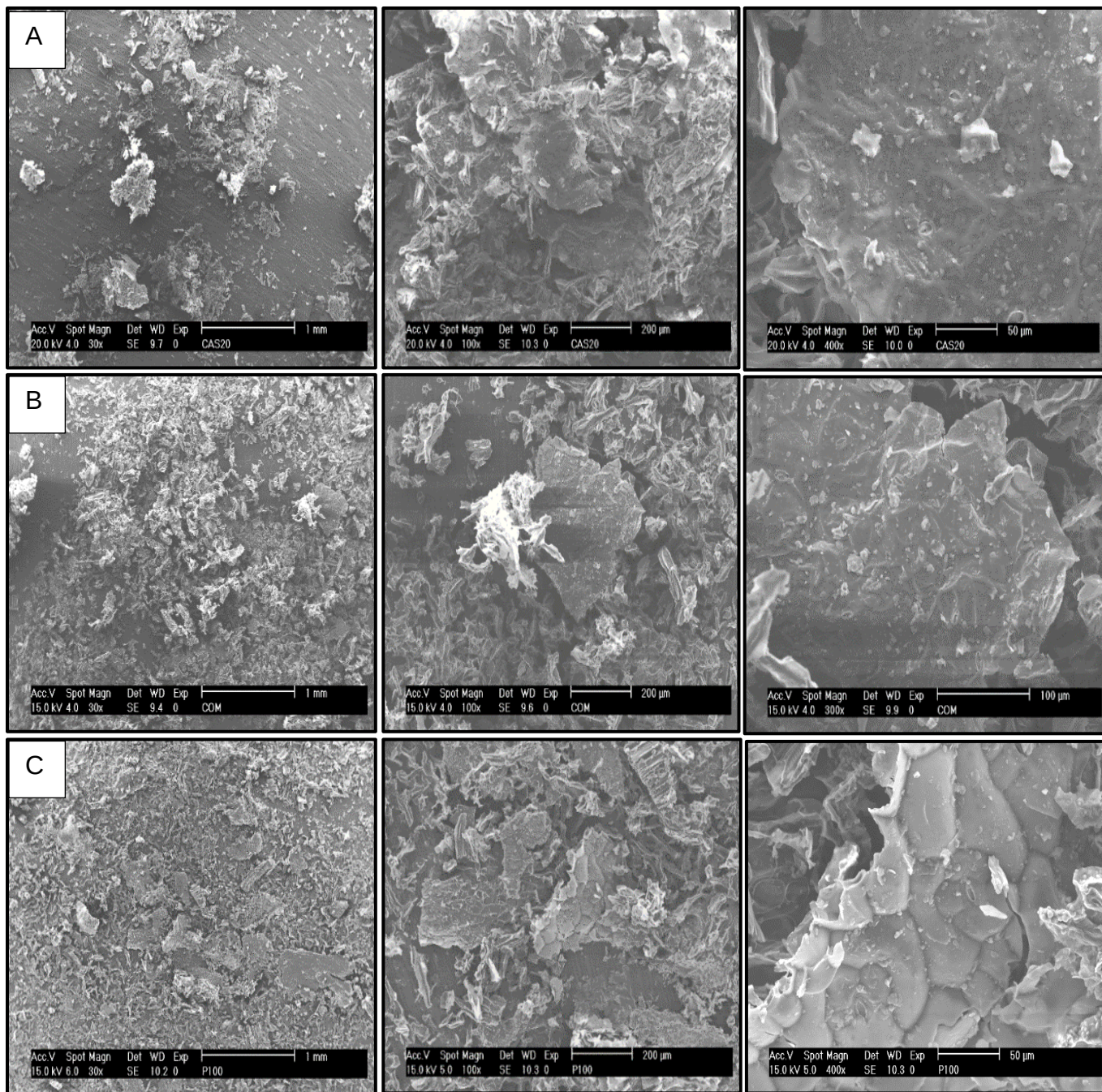


**Figura 2.** *Vistas al Microscopio de Barrido en los Objetivos 20, 200 y 1000x de las Semillas de Maíz Recubiertas con los Adherentes. A: Carboximetil celulosa; B: comercial; C: Politerpeno 100%; D: Caseína 20%; E: Almidón 20%.*

En la figura 3, se puede observar algunas imágenes de los recubrimientos de semillas con los adherentes y extractos vegetales en forma de harinas, se puede notar la proporción y variabilidad de cada uno.

A diferencia de las técnicas ópticas convencionales, el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) brinda una resolución superior que nos permite observar estructuras con gran detalle, lo que nos ayuda a diferenciar o identificar características particulares de la morfología y topografía de las partículas en observación (Ettadili *et al.*, 2022). La inclusión de las imágenes obtenidas por MEB de los extractos vegetales en forma de harina son una herramienta visual que nos permite tener una idea de la distribución de las partículas a un nivel microscópico, esta evidencia facilita, de forma gráfica, la interpretación de los resultados.





**Figura 3.** Vistas al Microscopio de Barrido en los Objetivos de 20, 200 Semillas de Maíz Recubiertas con Adherentes + Extractos Vegetales en Forma de Harina. A: Caseína + harina; B Comercial + harina; C: politerpeno 100% + harina.

## 5.2.- Germinación de semillas de maíz acondicionadas.

Los resultados de germinación y variables relacionadas al crecimiento de las plántulas de maíz, se presentan en la Tabla 8, donde podemos observar que en la variable de germinación no hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, la comparación de medias nos indica dos grupos numéricamente diferentes, pero no estadísticamente. En la figura 4 se presentan los resultados de porcentaje de germinación, agrupados en semillas acondicionadas solo con adherente (izquierdo) y semillas acondicionadas con adherente más extractos vegetales en forma de harina (derecho). En la variable germinación, el tratamiento que presentó el menor porcentaje fue almidón, con un 85%, siendo estadísticamente diferente son los tratamientos testigo absoluto, CMC 0.25%, caseína, Politerpeno, testigo + extracto, CMC 0.5% + extracto y al testigo comercial, con los demás tratamientos es estadísticamente igual.

Las semillas recubiertas tienen más probabilidades de conseguir un alto rendimiento cuando están expuestas a diferentes condiciones ambientales, porque logran un alto porcentaje y tasa de emergencia, buen establecimiento de cultivo, buen desarrollo de la plántula y rendimiento final (Hidalgo I. *et al.*, 2016).

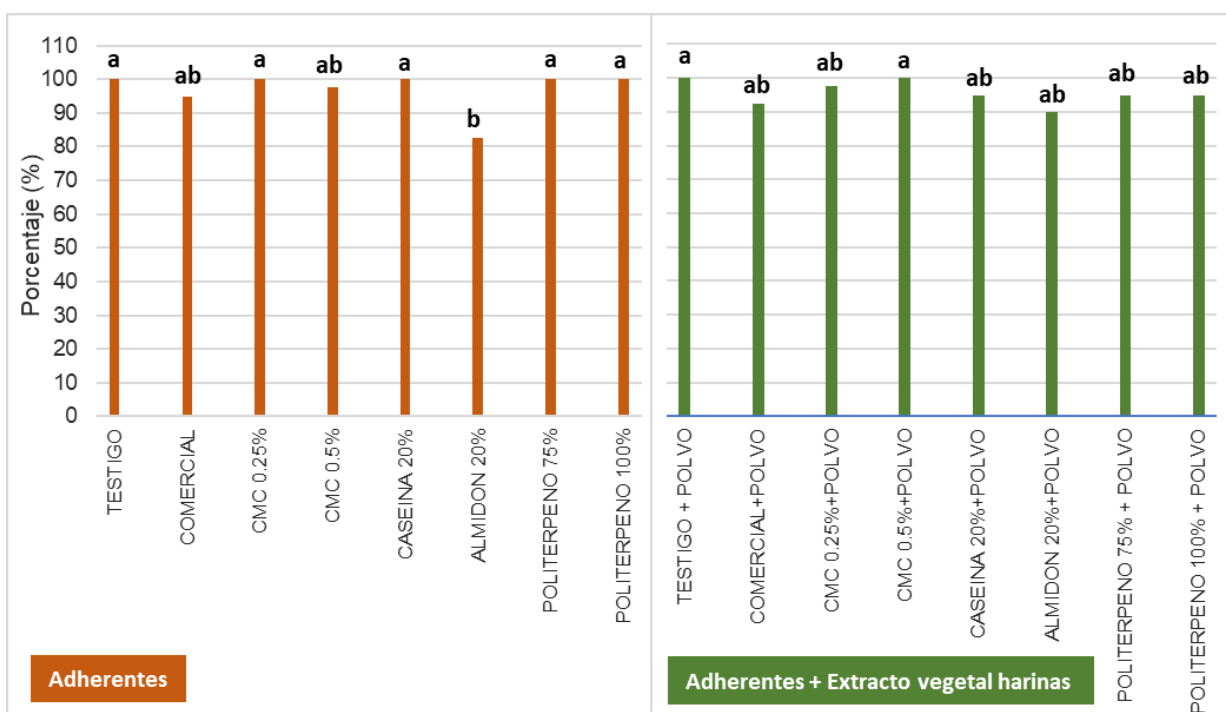
En el caso de semillas almacenadas en condiciones no favorables o sin tratamiento, se ha observado una disminución del vigor, pues se pueden producir plántulas débiles incapaces de sobrevivir en un determinado hábitat (Z. Bishaw, 2005).

**Tabla 8.** Porcentaje de Germinación (%GER.), Longitud de Plúmula (LP), Longitud de Radícula (LR), Peso Fresco (PF), Peso Seco(PS), Obtenidos en los Diferentes Tratamientos.

| TRATAMIENTO     | %GER   |    | LP    |     | LR    |     | mg planta <sup>-1</sup><br>PF |     | mg planta <sup>-1</sup><br>PS |      |
|-----------------|--------|----|-------|-----|-------|-----|-------------------------------|-----|-------------------------------|------|
| TESTIGO         | 100.00 | a  | 15.90 | c   | 17.92 | c   | 863.37                        | C   | 73.83                         | abcd |
| TESTIGO + POLVO | 100.00 | a  | 19.67 | abc | 19.09 | bc  | 1349.67                       | Abc | 79.13                         | abcd |
| COMERCIAL       | 95.00  | ab | 18.20 | abc | 23.79 | a   | 981.67                        | Bc  | 68.00                         | bcd  |
| COMERCIAL+POLVO | 92.50  | ab | 18.09 | abc | 22.71 | ab  | 910.00                        | C   | 65.33                         | bcd  |
| CMC 0.25%       | 100.00 | a  | 19.98 | abc | 20.99 | abc | 1297.67                       | Abc | 79.75                         | abcd |
| CMC 0.25%+POLVO | 97.50  | ab | 18.46 | abc | 20.87 | abc | 1163.00                       | Abc | 73.00                         | abcd |
| CMC 0.5%        | 97.50  | ab | 21.93 | a   | 24.26 | a   | 1249.58                       | Abc | 81.89                         | abcd |



|                         |        |    |       |     |       |     |         |     |        |      |
|-------------------------|--------|----|-------|-----|-------|-----|---------|-----|--------|------|
| CMC 0.5%+POLVO          | 100.00 | a  | 19.79 | abc | 23.58 | a   | 1263.00 | Abc | 88.37  | ab   |
| CASEINA 20%             | 100.00 | a  | 19.21 | abc | 22.64 | ab  | 1150.00 | Abc | 84.00  | abc  |
| CASEINA 20%+POLVO       | 95.00  | ab | 19.08 | abc | 23.75 | a   | 1039.67 | Bc  | 53.67  | d    |
| ALMIDON 20%             | 82.50  | b  | 16.90 | bc  | 20.54 | abc | 1099.23 | Abc | 80.04  | abcd |
| ALMIDON 20%+POLVO       | 90.00  | ab | 18.21 | abc | 21.59 | abc | 1415.59 | Abc | 102.36 | a    |
| POLITERPEN 75%          | 100.00 | a  | 20.63 | ab  | 21.88 | abc | 1438.33 | Ab  | 70.73  | bcd  |
| POLITERPEN 75% + POLVO  | 95.00  | ab | 18.00 | abc | 17.59 | c   | 1133.00 | Abc | 57.74  | cd   |
| POLITERPEN 100%         | 100.00 | a  | 20.75 | ab  | 23.92 | a   | 1554.67 | A   | 67.18  | bcd  |
| POLITERPEN 100% + POLVO | 95.00  | ab | 19.62 | abc | 20.25 | abc | 1284.67 | Abc | 76.83  | abcd |
| CV                      | 6.54   |    | 9.28  |     | 7.9   |     | 13.44   |     | 13.01  |      |



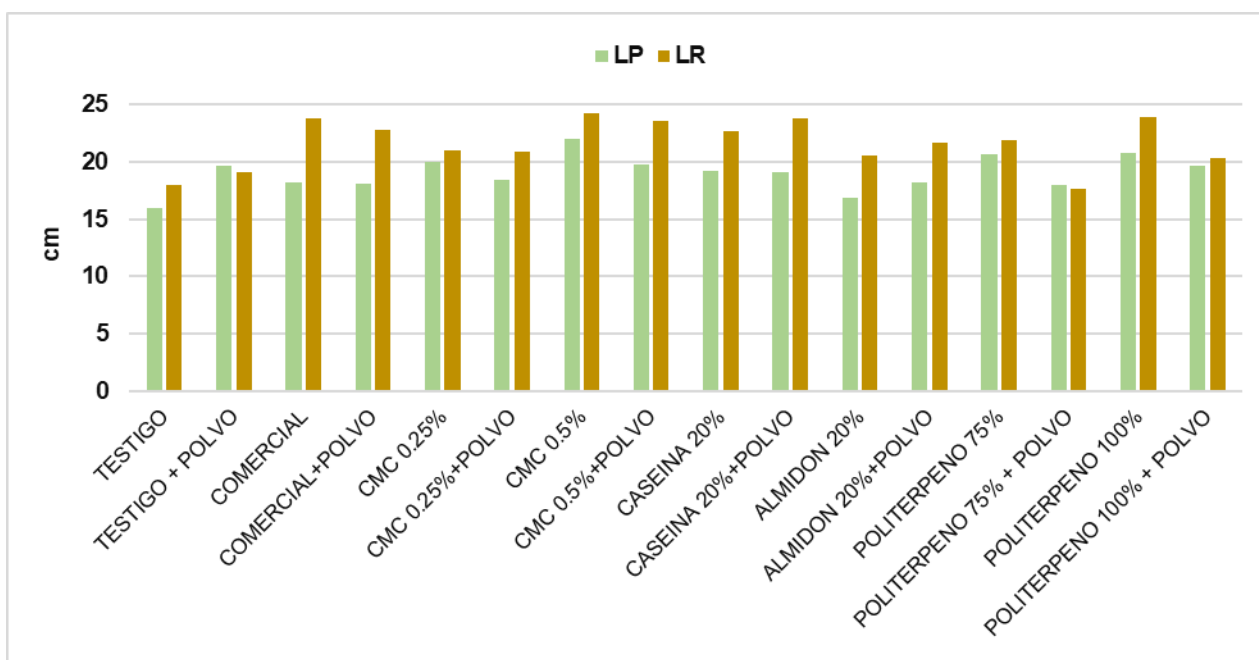
**Figura 4.** Porcentaje de Germinación para los Diferentes Tratamientos de Semillas Acondicionadas con el Adherente (izquierdo), Semillas Acondicionadas con el Adherente y los Extractos Vegetales en forma de Harina (derecho).

En la figura 5 podemos visualizar las medidas correspondientes a la longitud de plúmula y de radícula de las semillas para cada uno de los tratamientos. Con respecto a la comparación de medias, podemos observar que tenemos datos estadísticamente diferentes, teniendo el mismo crecimiento en los tratamientos: comercial, CMC 0.5% y CMC 0.5% + polvo, caseína 20% + polvo y politerpeno

100%, así mismo, haciendo una comparación con los tratamientos que obtuvieron una medida mucho menor siendo: testigo y politerpeno 75% + polvo, se puede decir que de cierta manera las semillas recubiertas presentan un mayor crecimiento referente a la radícula.

Los bioestimulantes son capaces de estimular el crecimiento en los tallos, hojas, como en el tamaño de los frutos, y de esa manera incrementar el rendimiento del cultivo donde se aplican, al compararse con las plantas sin aplicación (Molina J. Alejandro *et al.*, 2017).

Varios estudios previos han informado efectos satisfactorios del recubrimiento de semillas en la germinación de las semillas, el crecimiento de las plántulas, el crecimiento de las raíces y brotes, el área foliar, la biomasa seca y el aumento del rendimiento (Zenloka & Stramkale, 2005).



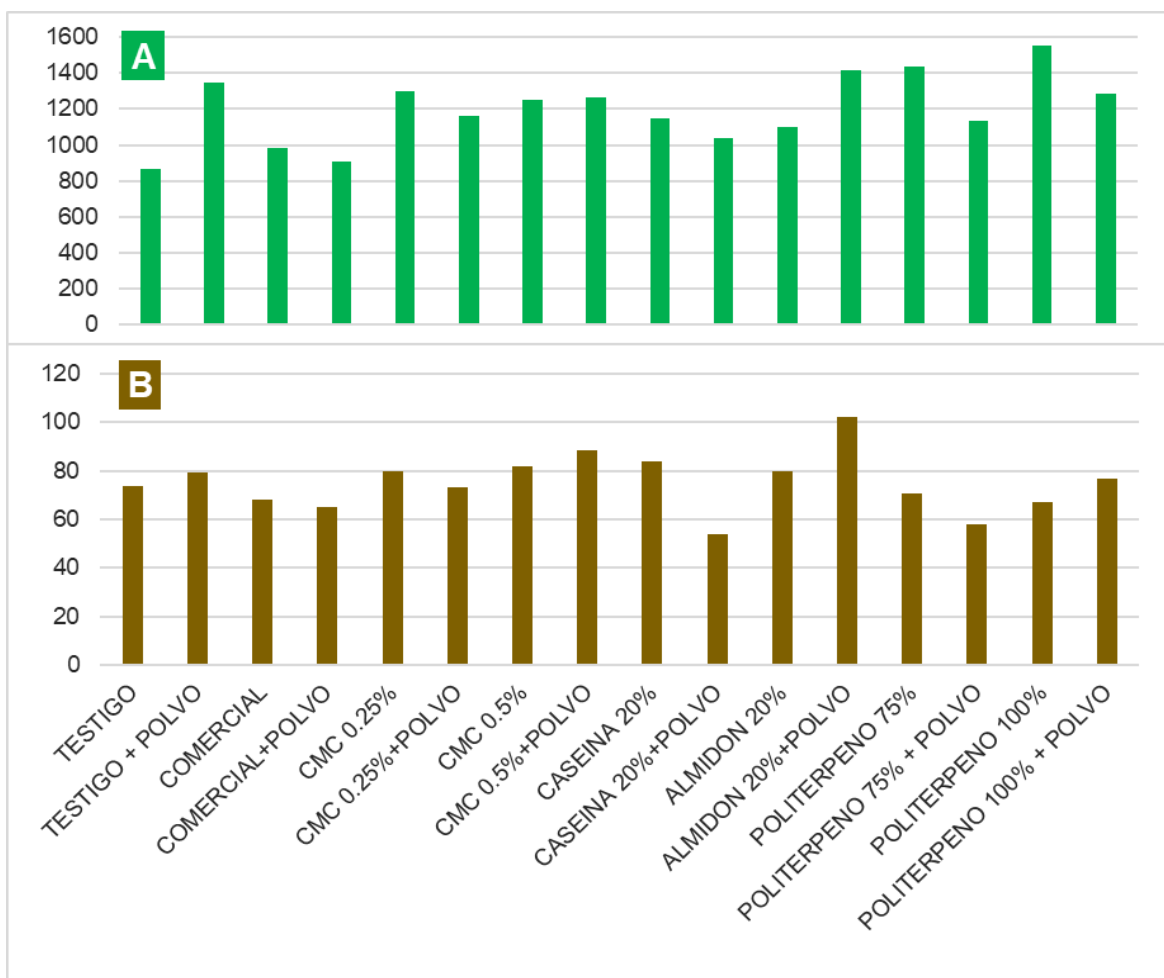
**Figura 5.** Longitud de Plúmula (LP) y Longitud de Radícula (LR) de las Plantas de Maíz Germinadas Bajo Diferentes Tratamientos (la comparación de medias se puede revisar en la Tabla 8).

En la figura 6A se puede observar la variabilidad que existe en el peso fresco de las plántulas, una vez pasada la germinación de las semillas recubiertas con polvos bioestimulantes y adherentes. De acuerdo al análisis estadístico correspondiente se

lograr observar el comportamiento de los tratamientos, el que tuvo el mayor peso fue politerpeno 100%, mientras que los tratamientos que tuvieron menor peso fueron: testigo y comercial + extracto.

De acuerdo al análisis estadístico en el peso seco de las plántulas podemos observar que los datos son variables, los tratamientos con valores distintos son Testigo + polvo obteniendo un valor elevado por encima de los demás, y por el contrario la caseína 20% + polvo obtuvo un valor mucho menor al resto de los tratamientos, también podemos decir que los demás valores muy similares por lo que no hubo variabilidad.

En estudios recientes se han presentado reportes de la mejora de la producción de biomasa de las plantas al aplicar extractos de algas de manera foliar reportado por (Hernandez, 2021), quienes señalaron que al aplicar extractos de algas de manera foliar en una concentración de 1 mililitros/litros, incrementó el 83.3% el peso fresco de las plántulas de pimiento. En espinaca la aplicación de 0.1 gramos/ litro de *A. nodosum* causó aumento del 58% del peso fresco de hojas (Morales R. *et al.*, 2023).

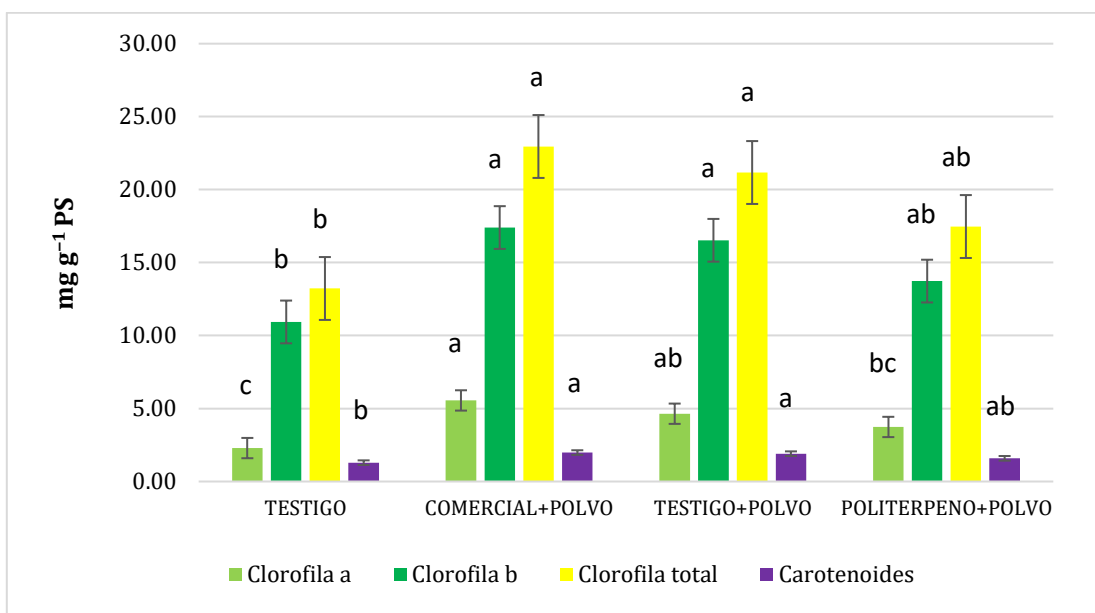


**Figura 6.** *Peso de las Plántulas de Maíz Germinadas Acondicionadas con Diferentes Adherentes y Extractos Vegetales de Forma de Harina. A: peso fresco por planta (mg planta<sup>-1</sup> PF); B: peso seco por planta (mg planta<sup>-1</sup> PS). (la comparación de medias se puede revisar en la Tabla 8).*

En las figuras 7, 8 y 9 se presentan las variables bioquímicas obtenidas de las plántulas de maíz acondicionadas con diferentes adherentes y extractos vegetales en forma de harina, podemos observar que en la figura 7 se muestran los valores referentes a la clorofila, haciendo una comparación hay una diferencia estadísticamente diferente en la concentración Chl a y Chl b, con respecto a los valores totales con los cuatro tratamientos estudiados, el tratamiento comercial + polvo tuvo un valor más elevado en comparación con el testigo siendo el más bajo de la concentración total, por el contrario el Chl b, alcanzó valores un poco más elevados y de la misma manera el tratamiento con mayor concentración fue el

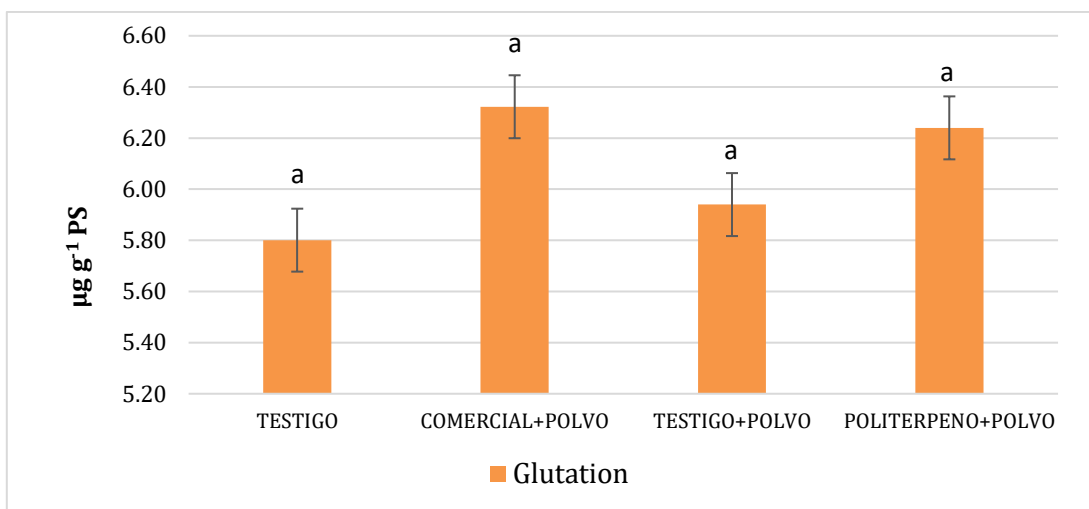
comercial + polvo, también siendo el testigo con un valor mínimo, con respecto a los carotenoides la concentración en los cuatro tratamientos fue muy estable estadísticamente alcanzando valores por debajo de 5 mg/g PS. Referente al comportamiento de glutatión también podemos observar valores numéricos diferentes, pero no estadísticamente, en cada tratamiento, el tratamiento con mayor valor en esta variable también fue el comercial + polvo y de la misma manera aquel que obtuvo menor concentración fue el testigo.

Los pigmentos esenciales para la fotosíntesis son las clorofilas, ellas capturan la luz solar y la convierten en energía química útil para todas las funciones que realiza la planta, su contenido puede ser regulado por la aplicación de extractos vegetales ricos en compuestos fenólicos (Morales-Espinoza *et al.*, 2019).



**Figura 7.** Contenido de Clorofila y Carotenoides (Miligramos por gramo de peso seco) (mg/g PS) en las plántulas de maíz después de ser liofilizadas, acondicionadas con diferentes adherentes y extractos vegetales en forma de harina.

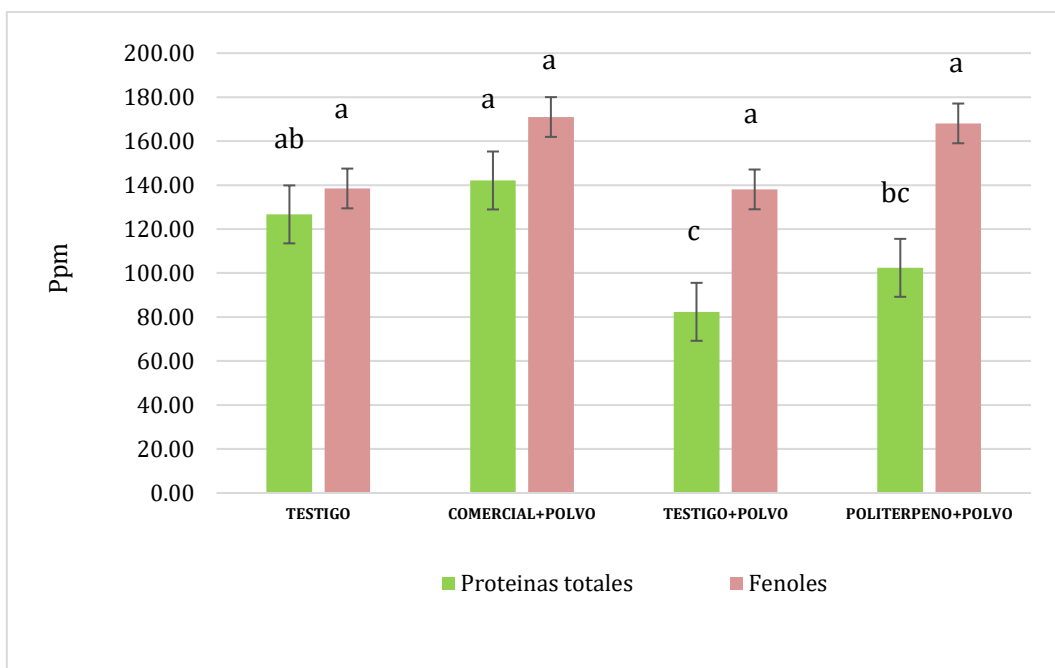
Los compuestos nitrogenados como las proteínas aminoácidos y glutatión, están involucrados en la acumulación de biomasa en los cultivos, sin embargo, también están involucrados en el sistema de defensa de la planta al tener efectos antioxidantes (Zechmann, 2020).



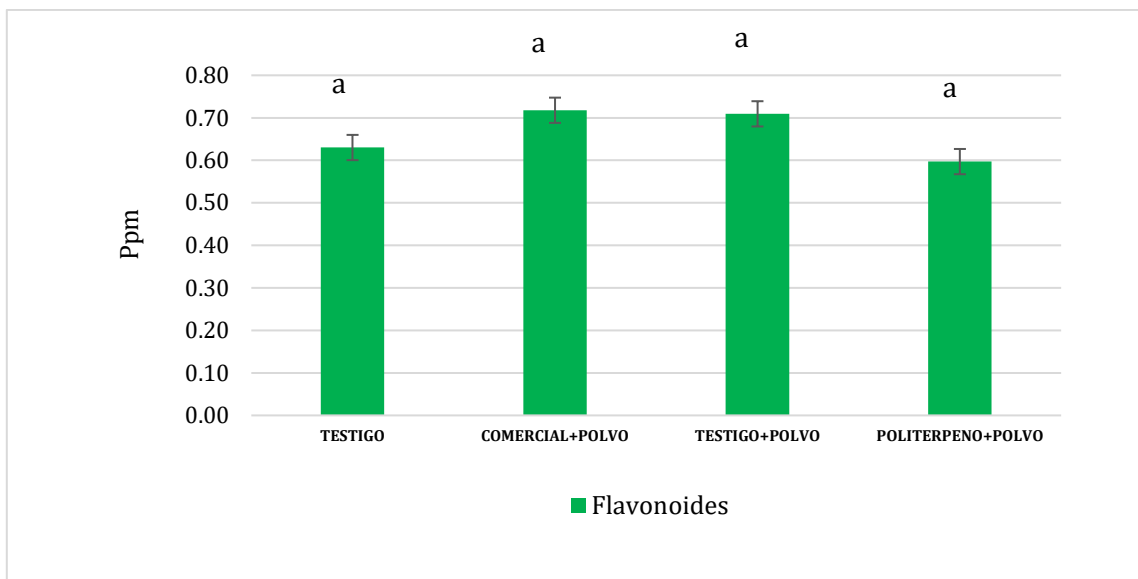
**Figura 8.** *Contenido de Glutación ( $\mu\text{g g}^{-1}$  PS) en las plántulas de maíz después de ser liofilizadas, acondicionadas con diferentes adherentes y extractos vegetales en forma de harina.*

Para las variables de proteínas totales, flavonoides y fenoles (Figura 8) hubo variabilidad numérica en la concentración, hubo mayor índice en relación a los fenoles con respecto a los otros dos, el tratamiento con mayor comportamiento fue de la misma manera el comercial + polvo, siguiendo las proteínas con casi las mismas reacciones; en relación a la concentración de flavonoides, los valores fueron inferior a 1 ( $\mu\text{g/g}$  PS), por lo que son niveles muy bajos en todos los tratamientos.

Los fenoles y flavonoides cumplen funciones importantes en las plantas, protegen principalmente contra el estrés oxidativo causado por factores ambientales bióticos o abióticos, estos compuestos son esenciales para la protección, metabolismo y desarrollo de las plántulas, su acumulación o deficiencia puede tener efectos positivos o negativos, dependiendo del contexto ambiental y genético de la planta (Valle R. *et al.*, 2017). Por su parte, las proteínas totales son fundamentales en el crecimiento y desarrollo, son formadoras de enzimas, estructuras celulares y participan en procesos metabólicos clave (Hernandez, 2021).



**Figura 9.** *Contenido de proteínas totales y fenoles (ppm) en las plántulas de maíz después de ser liofilizadas, acondicionadas con diferentes adherentes y extractos vegetales en forma de harina.*



**Figura 10.** *Contenido de flavonoides (ppm) en plántulas de maíz después de ser liofilizadas, acondicionadas con diferentes adherentes y extractos vegetales en forma de harina.*



## **VI.- CONCLUSIONES.**

Los resultados en este estudio demostraron que algunos materiales presentan una mayor capacidad de adherencia, asegurando una mejor cobertura de los extractos vegetales en la superficie de las semillas. Se observó variabilidad en los tratamientos utilizados para el recubrimiento de las semillas, lo que se atribuye a las diferencias en la estructura de los adherentes; en algunos casos, no se logró un recubrimiento uniforme ni una adecuada adhesión de los extractos vegetales. Sin embargo, el porcentaje de germinación mostró mayor uniformidad, indicando que el recubrimiento no tuvo un efecto negativo en este proceso, siendo arriba de 90% en todos los tratamientos tratados con adherente y extractos vegetales. Por el contrario, las semillas pudieron beneficiarse al adquirir algún elemento que favoreció su desarrollo. Esto se reflejó en las mediciones de la longitud de la plúmula y la radícula, cuyos valores no mostraron diferencias significativas. En cuanto a las variables bioquímicas, se identificaron distintos compuestos con valores que variaron según el tipo de recubrimiento utilizado, lo que sugiere que la selección adecuada de estos insumos puede influir en las plántulas en sus primeras etapas de desarrollo.

En general, los hallazgos de este estudio pueden contribuir al desarrollo de estrategias para el uso de extractos vegetales en el acondicionamiento de semillas de maíz, promoviendo alternativas sustentables en el manejo de las semillas en la agricultura.

## VII.- REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Begoña D. et al. (2015). USO DE PELÍCULAS/RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN LOS PRODUCTOS DE IV Y V GAMA. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1).
- Castillo, C. (2012). ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE CEBADA MALTERA: ANÁLISIS FÍSICO, PROXIMAL Y DETERIORO FISIOLÓGICO. (TESIS DE MAESTRO EN CIENCIAS). COLEGIO DE POSTGRADUADOS, MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO.
- Cruz L. et al. (2021). Recubrimientos con cera de abeja, extractos de ajo y sauce para aumentar la vida postcosecha del banano Gran Enano. *Informe Técnico* 85(2). doi:<https://doi.org/10.23850/22565035.3685>
- Espinoza et al. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Biotecnología vegetal*, 20(4). Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2074-86472020000400257](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-86472020000400257)
- Fernández D. et al. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencia Técnica Agropecuaria*, 24(3). Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542015000300008&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542015000300008&script=sci_arttext&tlng=en)
- Figuroa et al. (2019). EFECTO BIOPLAGUICIDA DE EXTRACTOS VEGETALES PARA EL CONTROL DE *Spodoptera frugiperda* EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*). *Acta Biológica Colombiana*, 24(1). doi:<https://doi.org/10.15446/abc.v24n1.69333>

- Garcia, R. (2019). FECTO DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE PROTEÍNA DE SOYA Y ALMIDÓN DE YUCA EN LA CONSERVACION DE SAÚCO (*Sambucusperuviana* H.B.K). (*Tesis de Licenciatura*). UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, CAJAMARCA- PERU.
- Grossano, C. (2018). CALIDAD FISIOLÓGICAS DE SEMILLAS DE MAÍZ (*Zea Mays*). (*TESINA FINAL DE GRADO*). Universidad Nacional de Lomas de Zamora.
- Guadarrama et al. (2008). Recubrimiento comestible basado en goma arábica y carboximetilcelulosa para conservar frutas en atmósfera modificada. *Revista Chapingo-serie horticultura*, 14(3).
- Guerberoff, G., & Londero, W. (2022). ELABORACIÓN DE BIOPOLÍMEROS PARA SER INCORPORADOS A LAS FORMULACIONES DE TRATAMIENTO DE SEMILLAS DE MAÍZ ZEA MAYSL. (POACEAE) Y SU EFECTO SOBRE LA GERMINACIÓN Y EL RENDIMIENTO A CAMPO. *Nexo agropecuario*, 10(1).
- H. Espinoza, A., Marquez, E. G., & Martinez, G. (2016). ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LOS TERPENOS EN EL ÁREA AGROALIMENTARIA. En CIATEJ, *Los compuestos Bioactivos Y tecnologías de Extracción* (págs. 40-49).
- Hernandez, Y. (2021). APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE PLANTAS MARINAS PARA LA OBTENCIÓN DE FORMULACIONES DE LIBERACIÓN LENTA CON FINES AGRICOLAS. (*Tesis de Maestro en Ciencia y Materiales*). Universidad de la Habana, Habana.
- Herrera Alma D. et al. (2015). PELICULAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE HIDROXIPROPILMETILCELULOSA (HPMC). CASEINA, GLICEROL Y ACEITE DE RICINO.

- Hidalgo I. et al. (2016). Recubrimiento de semillas de maíz (*Zea mays* L.) con quitosano y alginato de sodio y su efecto en el desarrollo radical. *Agrociencia*, 50(8). Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952016000801091&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952016000801091&script=sci_arttext)
- Hincapié C. et al. (2008). Actividad insecticida de extractos de semilla de *Annonamuricata* (Anonaceae) sobre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 34(1).
- Jarecki, W. (2021). Soybean Response to Seed Coating with Chitosan + Alginate/PEG and/or Inoculation. *Agronomy*, 11(9). doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy11091737>
- Joya et al. (2021). Osmoacondicionamiento de semillas de *Zea mays* con extractos vegetales para aumentar el vigor de establecimiento. *Ciencia y Agricultura*, 18(1). doi:<https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n1.2021.12019>
- Luna et al. (2012). Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. *Revista fitotecnica mexicana*, 35(1). Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802012000100003](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802012000100003)
- Márquez et al. (2015). ANÁLISIS, CALIDAD Y PROCESAMIENTO DE LOS ALIMENTOS EN MÉXICO. En García M. Laura et al., *Aplicaciones de recubrimientos comestibles* (págs. 340-353). Plaza y Valdés.
- Molina J. Alejandro et al. (2017). Efecto del uso de de quitosano en el mejoramiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L. variedad sd20a). *Dialnet*, 8(2).

- Montoya P. et al. (2021). Formulación y propiedades de biopolímero de recubrimiento para semillas de maní (*Arachis hypogaea* L.). *Agriscientia*, 38(1). doi:<https://dx.doi.org/10.31047/1668.298x.v38.n1.30254>
- Morales R. et al. (2023). Aplicación de extractos de algas, NP'SZnO y microorganismos sobre la biomasa vegetal en tomate. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(2). doi:<https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3206>
- Morales-Espinoza et al. (2019). Se Nanoparticles Induce Changes in the Growth, Antioxidant Responses, and Fruit Quality of Tomato Developed under NaCl Stress. *Molecules*. doi:<https://doi.org/10.3390/molecules24173030>
- Murillo - Cuevas et al. (2021). Bioestimulantes en lcalidad de frutos de chile habanero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(8). Obtenido de <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2900/4612>
- Parras. (2009). LACTOSUERO: IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS. *Revista Facultad nacional de Agronomía MEdellin*, 62(1). Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0304-28472009000100021](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472009000100021)
- Peña M. et al. (2016). Recubrimiento de semillas de maíz (*Zea mays* L.) con quitosano y alginato de sodio y su efecto en el desarrollo radical. *Agrociencia*, 50(8). Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952016000801091](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000801091)

- Peña, M. (2015). RECUBRIMIENTO DE SEMILLAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) CON AGENTES BIOQUÍMICOS Y SU EFECTO EN EL DESARROLLO RADICAL. (*TESIS MAESTRO EN CIENCIAS*). COLEGIO DE POSTGRADUADOS, MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO.
- Peña-Daltoni. (2016). Recubrimiento de semillas de maíz (*Zea mays* L.) con quitosano y alginato de sodio y su efecto en el desarrollo radical. *Agrociencia*, 50(8). Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952016000801091&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952016000801091&script=sci_arttext)
- Puente Jesus G. et al. (2022). Estudio reológico de soluciones poliméricas de carboximetil celulosa. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 23(2). doi:<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2022.23.2.012>
- Reyes et al. (2022). Análisis del Mercado de maíz en México desde una perspectiva de precios. *Acta universitaria*, 32. doi:<https://doi.org/10.15174/au.2022.3265>
- Sohail, M. e. (2022). Sustainable Agriculture Sprays: Cellulose Ester Aqueous Dispersions As Rainfast Biodegradable Foliar Formulations for Targeted Agrochemical Delivery. *Sustainable Agriculture Sprays*. doi:<https://doi.org/10.1002/adfm.202108046>
- Solano Luz G. et al. (2020). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP. Revista especializada en ciencia químico-Biológica.*, 21. doi:<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
- Suemar et al. (2012). The use of film coating on the performance of treated corn seed. *Revista Brasileira de Sementes*.

- Takebayashi N. et al. (2023). Nuevas tecnologías en la elaboración y caracterización de empaques comestibles. *Revista Multidisciplinaria de Ciencia, Innovación y Desarrollo*.
- Taylor, A. G. (2021). Morden Seed Tecnology. *Agriculture*, 11(7). doi:<https://doi.org/10.3390/agriculture11070630>
- Valle R. et al. (2017). Efecto del osmoacondicionamiento sobre la germinación del maíz tipo palomero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2). doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.52>
- Winarti C. et al. (2012). Production Technology and Application of Starch Based - Antimicrobial Edible Package. 31(3).
- Z. Bishaw, A. A. (2005). *Technical guidelines for quality seed production*. CABI.
- Zechmann. (2020). Subcellular Roles of Glutathione in Mediating Plant Defense during Biotic Stress. *Plants*. doi:<https://doi.org/10.3390/plants9091067>
- Zenloka, L., & Stramkale, V. (2005). Effect and after-effect of barley seed coating with phosphorus on germination, photosynthetic pigments and grain yield. *Acta Universitatis Latviensis*.

## VIII. ANEXOS

Tabla 7A.- Comparación de medias del porcentaje de cobertura de semillas con los extractos vegetales en forma de polvo.

| TRATAMIENTO              | Área total | Área cubierta | Área no cubierta | % de cobertura |
|--------------------------|------------|---------------|------------------|----------------|
| TESTIGO                  | 1216.33    | 0.00          | 1216.33          | 0.00 d         |
| TESTIGO + POLVO          | 679.72     | 46.84         | 632.88           | 6.67 b         |
| COMERCIAL + POLVO        | 908.23     | 892.85        | 15.38            | 98.30 a        |
| CMC 0.5% + POLVO         | 939.20     | 27.52         | 911.68           | 2.94 cd        |
| CASEINA 20% + POLVO      | 803.28     | 21.01         | 782.27           | 2.69 cd        |
| ALMIDÓN 20% + POLVO      | 875.64     | 48.71         | 826.94           | 5.56 bc        |
| POLITERPENÓ 75% + POLVO  | 742.17     | 731.89        | 10.81            | 98.61 a        |
| POLITERPENÓ 100% + POLVO | 684.39     | 679.59        | 4.81             | 99.3 a         |
| CV                       | 9.72       | 10.58         | 13.32            | 2.75           |

Tabla 4A.- Comparación de medias del porcentaje de Germinación para los diferentes tratamientos de semillas acondicionadas con el Adherente, semillas acondicionadas con el adherente y los extractos vegetales en forma de harina.

| TRATAMIENTO              | % GER  |    |
|--------------------------|--------|----|
| TESTIGO                  | 100.00 | a  |
| TESTIGO + POLVO          | 100.00 | a  |
| COMERCIAL                | 95.00  | ab |
| COMERCIAL + POLVO        | 92.50  | ab |
| CMC 0.25%                | 100.00 | a  |
| CMC 0.25% + POLVO        | 97.50  | ab |
| CMC 0.5%                 | 100.00 | ab |
| CMC 0.5% + POLVO         | 100.00 | a  |
| CASEINA 20%              | 100.00 | a  |
| CASEINA 20% + POLVO      | 95.00  | ab |
| ALMIDÓN 20%              | 82.50  | b  |
| ALMIDÓN 20% + POLVO      | 90.00  | ab |
| POLITERPENÓ 75%          | 100.00 | a  |
| POLITERPENÓ 75% + POLVO  | 95.00  | ab |
| POLITERPENÓ 100%         | 100.00 | a  |
| POLITERPENÓ 100% + POLVO | 95.00  | ab |
| CV                       | 6.54   |    |



Tabla 5A.- Comparación de medias de la longitud de plúmula y radícula de las plantas de maíz germinadas bajo diferentes tratamientos.

| TRATAMIENTO              | LP    |     | LR    |     |
|--------------------------|-------|-----|-------|-----|
| TESTIGO                  | 15.90 | c   | 17.92 | c   |
| TESTIGO + POLVO          | 19.67 | abc | 19.09 | bc  |
| COMERCIAL                | 18.20 | abc | 23.79 | a   |
| COMERCIAL + POLVO        | 18.09 | abc | 22.71 | ab  |
| CMC 0.25%                | 19.98 | abc | 20.99 | abc |
| CMC 0.25% + POLVO        | 18.46 | abc | 20.87 | abc |
| CMC 0.5%                 | 21.93 | a   | 24.26 | a   |
| CMC 0.5% + POLVO         | 19.79 | abc | 23.58 | a   |
| CASEINA 20%              | 19.21 | abc | 22.64 | ab  |
| CASEINA 20% + POLVO      | 19.08 | abc | 23.75 | a   |
| ALMIDÓN 20%              | 16.90 | bc  | 20.54 | abc |
| ALMIDÓN 20% + POLVO      | 18.21 | abc | 21.59 | abc |
| POLITERPENO 75%          | 20.63 | ab  | 21.88 | abc |
| POLITERPENO 75% + POLVO  | 18.00 | abc | 17.59 | c   |
| POLITERPENO 100%         | 20.75 | ab  | 23.92 | a   |
| POLITERPENO 100% + POLVO | 19.62 | abc | 20.25 | abc |
| CV                       | 9.28  |     | 7.9   |     |

Tabla 6A.- Peso de las plántulas de Maíz Germinadas, Acondicionadas con Diferentes Adherentes y Extractos vegetales en Forma de Harina (peso fresco por planta) y (peso seco por planta) (mg planta <sup>-1</sup>).

| TRATAMIENTO              | mg planta PF |     | mg planta PS |      |
|--------------------------|--------------|-----|--------------|------|
| TESTIGO                  | 863.37       | c   | 73.83        | abcd |
| TESTIGO + POLVO          | 1,349.67     | abc | 79.13        | abcd |
| COMERCIAL                | 981.67       | bc  | 68.00        | bcd  |
| COMERCIAL + POLVO        | 910.00       | c   | 65.33        | bcd  |
| CMC 0.25%                | 1297.67      | abc | 79.75        | abcd |
| CMC 0.25% + POLVO        | 1163.00      | abc | 73.00        | abcd |
| CMC 0.5%                 | 1249.58      | abc | 81.89        | abcd |
| CMC 0.5% + POLVO         | 1263.00      | abc | 88.37        | ab   |
| CASEINA 20%              | 1150.00      | abc | 84.00        | abc  |
| CASEINA 20% + POLVO      | 1039.67      | bc  | 53.67        | d    |
| ALMIDÓN 20%              | 1,099.23     | abc | 80.04        | abcd |
| ALMIDÓN 20% + POLVO      | 1415.59      | abc | 102.36       | a    |
| POLITERPENO 75%          | 1438.33      | ab  | 70.73        | bcd  |
| POLITERPENO 75% + POLVO  | 1,133.00     | abc | 57.74        | cd   |
| POLITERPENO 100%         | 1554.67      | a   | 67.18        | bcd  |
| POLITERPENO 100% + POLVO | 1284.67      | abc | 76.83        | abcd |
| CV                       | 13.44        |     | 13.01        |      |

Tabla 7A.- Contenido de Clorofila y Carotenoides (miligramo por gramo de peso seco) (mg/g PS) en las plántulas de maíz después de ser liofilizadas, acondicionadas con diferentes adherentes y extractos en forma de harina.

| TRATAMIENTOS          | CLOROFILA a                                               |    | CLOROFILA b |    | CLOROFILA TOTAL |    | CAROTENOIDES |    |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------|----|-------------|----|-----------------|----|--------------|----|
|                       | miligramos por gramo de peso seco (mg g <sup>-1</sup> PS) |    |             |    |                 |    |              |    |
| TESTIGO               | 2.29                                                      | c  | 10.93       | b  | 13.22           | b  | 1.29         | b  |
| COMERCIAL + POLVO     | 5.55                                                      | a  | 17.40       | a  | 22.95           | a  | 1.98         | a  |
| TESTIGO + POLVO       | 4.64                                                      | ab | 16.53       | a  | 21.17           | a  | 1.91         | a  |
| PPOLITERPENOS + POLVO | 3.74                                                      | bc | 13.73       | ab | 17.47           | ab | 1.59         | ab |
| CV                    | 20.57                                                     |    | 15.34       |    | 16.32           |    | 15.04        |    |

Tabla 8A.- Contenido de Glutación ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en las plántulas de maíz después de ser liofilizadas, acondicionadas con diferentes adherentes y extractos vegetales en forma de harina

| TRATAMIENTOS      | $\mu\text{g g PS}$ |   |
|-------------------|--------------------|---|
| TESTIGO           | 5.80               | a |
| COMERCIAL + POLVO | 6.32               | a |
| TESTIGO + POLVO   | 5.94               | a |
| POLITERPENOS      | 6.24               | a |
| <b>CV</b>         | <b>7.02</b>        |   |

Tabla 9A.- Contenido de Proteínas Totales, Fenoles y Flavonoides (ppm) en las plántulas de maíz después de ser liofilizadas, acondicionadas con diferentes adherentes y extractos vegetales en forma de harina.

| TRATAMIENTOS      | PROTEINAS TOTALES |    | FLAVONOIDES  |   | FENOLES     |   |
|-------------------|-------------------|----|--------------|---|-------------|---|
|                   |                   |    | PMM          |   |             |   |
| TESTIGO           | 126.68            | ab | 0.63         | a | 138         | a |
| COMERCIAL + POLVO | 142.1             | ab | 0.72         | a | 171         | a |
| TESTIGO + POLVO   | 82.38             | c  | 0.71         | a | 138         | a |
| POLITERPENOS      | 102.38            | bc | 0.60         | a | 168         | a |
| <b>CV</b>         | <b>14.53</b>      |    | <b>17.62</b> |   | <b>18.1</b> |   |