



**Benemérita Universidad
Autónoma de Puebla**
Facultad de Ciencias Biológicas

TESIS

“Efecto de un análogo de Brasinoesteroide sobre
la calidad en semillas de maíz de variedad
Zapalote chico.”

para obtener el grado de:
Licenciado en Biotecnología

Presenta:
Alembert Zapata Hernández

Directora de tesis
Sandra Luz Cabrera Hilerio

Asesor
Armando Cortés Lozada

Octubre - 2023



Oficio No. BIOSAC/C-1410/2023
Asunto: Nombramiento Revisor de Tesis

D.C. Armando Mena Contla
Facultad de Ciencias Químicas, BUAP
PRESENTE

Por este conducto le envío un cordial saludo, y al mismo tiempo solicito a usted su valioso apoyo para formar parte de la Comisión revisora de Tesis que llevo como título: **Efecto de un análogo de Brasinoesteroides sobre la calidad en semillas de maíz de variedad Zapalote chico**, que presenta el pasante de la Licenciatura en Biotecnología **C. ALEMBERT ZAPATA HERNANDEZ** con número de matrícula **201742365** para poder llevar a cabo su Examen Profesional y obtener el título de Biotecnólogo.

Así mismo, le solicito que después de revisar y evaluar cuidadosamente dicho trabajo, haga las recomendaciones que considere pertinentes.

Sin otra particular por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, me despido de usted.

Atentamente
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de 2, a 05 de diciembre de 2023

Dr. Salvador Salcido Arreola
Director
Oficio No. BIOSAC/C-1410/2023
Asunto: Nombramiento Revisor de Tesis

Facultad de Ciencias Biológicas | Edif. 1 BIO 1, Ciudad Universitaria, Puebla,
Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00
Ext. 7097, 7085, 7084 y 7086



Oficio No. FCRL/7/191/2024
Oficio de Modalidad de Titulación
Por Examen Profesional por Teoría

Mtro. Ricardo Valderrama Valdez
Director de Administración Escolar, BUAP
PRESENTE

At'n: Psic. Marcela Juárez Zenteno
Jefa del Departamento de Titulación

Por este medio, me permito hacer de su conocimiento que el alumno **ALEMBERT ZAPATA HERNANDEZ** con número de matrícula **201742365** de la Licenciatura en Biotecnología, presentará examen profesional el día **16 de febrero de 2023 a las 17:00 horas**, mismo que será presencial.

Informar a los miembros del sínodo evaluador:

NOMBRE	CARGO
D.C. ARMANDO MENA CONTLA	PRESIDENTE
D.C. ALAN CARRASCO CARBALLO	SECRETARIO
D.C. AMPARO BELGICA CERON CARPIO	VOCAL

Nota: este documento tiene vigencia por 6 meses a partir de la fecha de su expedición.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su atención y apoyo, queda de usted.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Z., a 01 de febrero de 2024

Dr. Salvador Galicia Trasmendi
Director
Oficio No. FCRL/7/191/2024
Oficio de Modalidad de Titulación
Por Examen Profesional por Teoría

Facultad de
Ciencias Biológicas

Edif. 1 B10 I, Ciudad Universitaria, Puebla,
Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00
Ext. 7097, 7085, 7084 y 7086

Dedicatoria

A mis queridos padres, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional a lo largo de este viaje académico gracias a sus sacrificios. Mi madre siempre dándome consejos y cariño incondicional, a mi padre por la camaradería y enseñanzas. Ambos guiándome en mis pasos con su sabiduría, para poder ser una buena persona en esta vida, los quiero mucho con todo mi ser.

También dedico este logro a mi fiel compañero peludo, mi querido Pulque, quien ha compartido conmigo momentos de alegría y calma, siempre emocionado en verme y nunca cansándose de jugar.

A todos mis familiares cercanos, así como amigos, que me han dado su apoyo en este camino y que sin ellos no sería la persona que soy ahora. Así como para mis abuelitos que ya no están que me hubiera gustado enseñarles este logro que realice.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi directora de tesis, a la Dra. Sandra Cabrera Hilario, con su orientación experta y paciencia han sido fundamentales para la realización de este proyecto. “Gracias por ser mi guía académica y por inspirarme a alcanzar estándares de excelencia”

Agradezco de corazón a mi asesor de tesis, Mtro. Armando Cortes Lozada, por su contribución invaluable a este trabajo. Su retroalimentación constructiva y disponibilidad constante, así como apoyo en la experimentación, consejos y escucha.

A todos los doctores que me dieron consejos, recomendaciones y apoyo en esta investigación para enriquecerla y llevarla a buen puerto. Por último, a todos los profesores que me dieron clases y guiaron mis conocimientos que me llevaron hasta este punto.

ÍNDICE

I	ÍNDICE DE TABLAS	I
II	ÍNDICE DE FIGURAS	III
III	ÍNDICE DE GRÁFICOS	IV
IV	ABREVIATURAS.....	V
	RESUMEN	1
1.	INTRODUCCIÓN	2
2.	MARCO TEÓRICO.....	4
2.1	MAÍZ: ORIGEN Y TAXONOMÍA.....	4
2.1.1	Maíz en México	5
2.1.2	Maíz en el Istmo de Tehuantepec.....	10
2.2	Estructura del grano de maíz	14
2.4	Composición química	16
2.4.1	Almidón	17
2.4.2	Lípidos	18
2.4.3	Proteínas	18
2.4.4	Oligoelementos.....	19
2.5	Compuestos antioxidantes.....	19
2.5.1	Estrés oxidativo	20
2.5.2	Fenoles	20
2.5.3	Clasificación de fenoles.....	21
2.6	Problemáticas socioeconómicas en cultivos mexicanos.....	25
2.7	Factores bióticos y abióticos que afectan los cultivos mexicanos.....	27
2.8	Fitohormonas.....	28
2.8.1	Brasinoesteroides.....	31
2.8.1.1	Estructura.....	32
2.8.1.2	Biosíntesis de brasinoesteroides.....	33
2.8.1.3	Efectos fisiológicos.....	35
2.8.1.4	Usos en la agricultura de los BR.....	36
2.9	“El promotor de crecimiento vegetal esteroide: 22-Oxocolestano”	38
3	JUSTIFICACIÓN.....	42

4. HIPÓTESIS	43
5 OBJETIVOS	44
5.1 Objetivo General	44
5.2 Objetivo Específicos	44
6 METODOLOGIA.....	45
6.1 Muestreo.....	45
6.2 Diseño experimental	46
6.3 Pruebas físicas.....	46
6.3.1 Peso y tamaño de la mazorca.....	47
6.3.2 Tamaño de la semilla.....	47
6.2.3 Peso de 1000 semillas.....	47
6.2.4 Peso Hectolitro.....	48
6.2.5 Índice de flotación.....	48
6.2.6 Colorimetría.....	49
6.3. Pruebas bromatológicas.....	49
6.3.1 Determinación de humedad	49
6.3.2 Determinación de cenizas	50
6.3.3 Determinación de lípidos	50
6.3.4 Determinación de proteínas.....	50
6.3.5 Determinación de almidón.....	51
6.3.5.1 Determinación de la rotación óptica total.....	52
6.3.5.2 Determinación de la rotación óptica de sustancias en etanol.....	52
6.4 Pruebas químicas	53
6.4.1 Extracción de la muestra.....	54
6.4.2 Determinación de fenoles totales.....	54
6.4.3 Determinación de la actividad antioxidante mediante el método de eliminación de radicales (DPPH)	55
7 RESULTADOS	56
7.1.2 Peso y tamaño de la mazorca	56
7.1.3 Tamaño de la semilla.....	60
7.1.4 Peso de mil semillas	63
7.1.5 Peso hectolitro	64

7.1.6	Índice de flotación.....	66
7.1.7	Colorimetría	67
7.2	Análisis Bromatológico.....	71
7.2.1	Humedad.....	71
7.2.2	Cenizas	72
7.2.3	Lípidos	73
7.2.4	Proteínas	74
7.4.5	Almidón	76
7.3	Análisis químico.....	77
7.3.1	Fenoles totales	77
7.3.2	DPPH.....	79
8	DISCUSIÓN.....	81
8.1	Análisis físicos.....	81
8.2	Análisis bromatológicos	87
8.3	Análisis químicos	92
9	CONCLUSIONES	95
10	RECOMENDACIONES	96
11	BIBLIOGRAFIA	97

I ÍNDICE DE TABLAS

#	Titulo	Página
Tabla 1	Promedios con desviación estándar de pesos de las mazorcas de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.	57
Tabla 2	Promedios con desviación estándar de largo de las mazorcas de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.	58
Tabla 3	Promedios con desviación estándar de diámetro de las mazorcas de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.	59
Tabla 4	Promedios con desviación estándar del largo del grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.	60
Tabla 5	Promedios con desviación estándar del ancho del grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.	61
Tabla 6	Promedios con desviación estándar del grosor del grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.	63
Tabla 7	Promedios con desviación estándar del P1000S del grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE	63
Tabla 8	Promedios con desviación estándar del P.H. del grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE	65
Tabla 9	Promedios con desviación estándar del I. de F. del grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE	66
Tabla 10	Promedios con desviación estándar de la luminosidad	68

	del color del grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE	
Tabla 11	Promedios con desviación estándar de la intensidad del color del grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE	69
Tabla 12	Promedios con desviación estándar del ángulo de color del grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE	70
Tabla 13	Promedios con desviación estándar del porcentaje de humedad en el grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE	71
Tabla 14	Promedios con desviación estándar del porcentaje de cenizas en el grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE	72
Tabla 15	Promedios con desviación estándar del porcentaje de lípidos en el grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE	73
Tabla 16	Promedios con desviación estándar del porcentaje de proteínas en el grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE	75
Tabla 17	Promedios con desviación estándar del porcentaje de almidón en el grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE	76
Tabla 18	Promedios con desviación estándar de fenoles totales en el maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.	78
Tabla 19	Promedios con desviación estándar del porcentaje de actividad antioxidante del maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.	80

II ÍNDICE DE FIGURAS

#	Título	Página
Figura 1	Localización de los centros de origen/domesticación de las plantas cultivadas, según Vavilov.	5
Figura 2	Secuencia morfológica de la posible evolución de la mazorca del teocintle y el maíz.	6
Figura 3	Gente de maíz de Diego Rivera	7
Figura 4	Centeotl: Dios del maíz	8
Figura 5	La historia de la Revolución Mexicana a través del maíz.	10
Figura 6	Revolucionarios delante de una parcela de maíz.	11
Figura 7	Ubicación del Istmo de Tehuantepec.	12
Figura 8	Ubicación de la raza zapalote chico.	13
Figura 9	Mazorca de Zapalote chico.	13
Figura 10	Partes anatómicas del gano de maíz.	16
Figura 11	Estructuras químicas de compuestos fenólicos simples.	22
Figura 12	Ácidos Hidroxibenzoícos	23
Figura 13	Ácidos hydroxycinnámicos	23
Figura 14	Estructura básica de un flavonoide.	24
Figura 15	Antocianina 3-glucosido.	25
Figura 16	Campesino en cultivos de Zapalote chico.	26
Figura 17	Estructura química de los brasinoesteroides naturales.	33
Figura 18	Ruta de la biosíntesis de brasinoesteroides.	35
Figura 19	Síntesis para producir dos estructuras de 22-Oxocelásticas con variaciones en C-20 a partir de diosgenina.	40
Figura 20	Estructura del promotor de crecimiento vegetal esteroideal "SPGP4".	40
Figura 21	Fórmula para obtener el porcentaje de almidón en la muestra de maíz.	51
Figura 22	Fórmula para obtener el porcentaje de proteína en la muestra de maíz.	53
Figura 23	Ecuación de % de eliminación de radicales libres.	55

III ÍNDICE DE GRÁFICOS

#	Título	Página
Gráfico 1	Pesos de las mazorcas de Zapalote chico.	57
Gráfico 2	Largo de las mazorcas de Zapalote chico.	59
Gráfico 3	Diámetro de las mazorcas de Zapalote chico	60
Gráfico 4	Largo de los granos de maíz de Zapalote chico.	61
Gráfico 5	Ancho de los granos de maíz de Zapalote chico.	62
Gráfico 6	Grosor de los granos de maíz de Zapalote chico.	63
Gráfico 7	P1000S de los granos de maíz de Zapalote chico.	64
Gráfico 8	PH de los granos de maíz de Zapalote chico.	65
Gráfico 9	Índice de flotación de los granos de maíz de Zapalote chico.	67
Gráfico 10	Luminosidad de los granos de maíz de Zapalote chico.	68
Gráfico 11	Intensidad de los granos de maíz de Zapalote chico.	69
Gráfico 12	Angulo de color de los granos de maíz de Zapalote chico	70
Gráfico 13	Porcentaje de humedad en los granos de maíz de Zapalote chico.	72
Gráfico 14	Porcentaje de cenizas en los granos de maíz de Zapalote chico.	73
Gráfico 15	Porcentaje de lípidos en los granos de maíz de Zapalote chico.	74
Gráfico 16	Porcentaje de proteínas en los granos de maíz de Zapalote chico.	75
Gráfico 17	Porcentaje de almidón en los granos de maíz de Zapalote chico.	76
Gráfico 18	Cantidad de fenoles totales en los granos de maíz de Zapalote chico.	79
Gráfico 19	Porcentaje de actividad antioxidante en los granos de maíz de Zapalote chico.	80

IV ABREVIATURAS

ABA	Ácido abscísico
AF	Ácidos fenólicos
BR	Brasinoesteroides
CC	Con compuesto
C	Cromo
CF	Compuestos fenólicos
CK	Citoquininas
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidracilo
FLA	Flavonoides
GA	Giberelinas
H	Tono
IF	Índice de flotación
L	Luminosidad
P#CC	Numero de parcela con compuesto
P#SC	Numero de parcela sin compuesto
PCVE	Promotores de crecimiento vegetales esteroidales
PH	Peso hectolitrico
SA	Ácido salicílico
SC	Sin compuesto
TAN	Taninos
UP	Unidades de producción

RESUMEN

El maíz (*Zea mays spp.*) es un alimento de origen mexicano que para la sociedad mexicana es fundamental desde lo económico, gastronómico y cultural; siendo una de las plantas comerciales más cultivadas en el territorio nacional por campesinos, ya sea para consumo o venta; por ello hay sumo interés en aumentar el rendimiento y resistencia a factores bióticos y abióticos que afectan a este cultivo; por estas razones se han buscado diferentes promotores de crecimiento, y uno de ellos han sido los fitohormonales, específicamente los análogos de Brasinoesteroides. Estas hormonas vegetales esteroidales aplicadas a bajas concentraciones han demostrado actividades que otorgan una óptima actividad de elongación y fortaleza a las plantas. Por esta razón en el siguiente trabajo se planteó hacer un análisis bromatológico y físico de semillas de la variedad de maíz blanco Zapalote chico que fueron tratadas con análogos de brasinoesteroides, y obtenidas de parcelas del Istmo de Tehuantepec de donde es originario. Se determinó que el uso de estos promotores de crecimiento, brindaron mejores características nutrimentales y productividad de las semillas, debido a que aumentó el 10% de su tamaño y peso, así como el porcentaje de proteína en un 16%, además de otros ligeros incrementos en otros componentes nutricionales como en cenizas (6%) y almidón (0.55%) Con estos resultados se llegó a la conclusión de que el uso del análogo de brasinoesteroide es una buena opción para obtener excelentes rendimientos en la cosecha para el productor y buenas características nutritivas para el consumidor.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura es considerada una actividad relevante para la economía en varios países, puesto que dota de alimentos y brinda productos para exportar. El sector agrícola en México y países en vías de desarrollo tiene una gran representación, dado que el 22,78% de la población radica en el campo realizando actividades agrícolas, siendo su principal fuente de ingreso o no, otorgándole seguridad alimentaria dado que la mayoría de la producción es para autoconsumo (De los Santos-Ramos *et al.*, 2017). La falta de valoración del sector agropecuario en México es preocupante, ya que no se reconoce su importante contribución a la economía del país. En el año 2012, el Producto Interno Bruto (PIB) de México fue de 13 billones de pesos, mientras que el sector agropecuario solo representó el 3% de esa cifra, con un valor de 397 mil millones de pesos (CEDRSSA, 2020). Los programas de apoyo a los productores de maíz en México, como PROMAF (Proyecto Estratégico de Apoyo a la Cadena Productiva de los Productores de Maíz y Frijol) y PROCAMPO (Programa de Apoyos Directos al campo), tienen problemas de ineficiencia en la asignación de recursos debido a su entrega tardía. Además, el maíz es un cultivo muy importante a nivel mundial y su uso no se limita al consumo humano, sino que también es un insumo importante para la producción ganadera. En México, el maíz es el cultivo más importante desde el punto de vista alimentario, y su consumo aparente ha aumentado con el tiempo. La mayoría de los agricultores utilizan semillas de maíz criollo, que son adaptadas a las condiciones locales, pero de baja calidad para la industria (De los Santos-Ramos *et al.*, 2016).

Más de 3 millones de productores en México dependen del cultivo del maíz, para aumentar la productividad de este cultivo, se estudian diferentes factores relacionados con el mismo, y se evalúan constantemente híbridos de maíz para seleccionar los mejores materiales en términos de rendimiento y características agronómicas. Otra forma de mejorar los rendimientos y la productividad del maíz es mediante el uso de la aplicación de fitohormonas, para que este pueda alcanzar un alto potencial de rendimiento y una mejor expresión fenotípica (Torres-Ruiz *et al.*, 2007). Los brasinoesteroides (BR) son hormonas esteroideas vegetales que se encuentran en las plantas y que tienen la capacidad de estimular su crecimiento ya que tiene efecto promotor con la activación del gen BR11, que promueve la elongación celular (Gudesblat & Russinova, 2011; Balbuena-Hernández, 2022). Estos compuestos juegan un papel importante en varios procesos de la vida de la planta, como lo son: la germinación, rizogénesis, floración, senescencia, abscisión y maduración. Además, pueden ayudar a las plantas a resistir el estrés abiótico y biótico, lo que los convierte en una nueva clase de hormonas vegetales con múltiples efectos beneficiosos. Por tanto, son sustancias naturales adecuadas para su uso en la protección de las plantas y el aumento de la producción agrícola, entre otras aplicaciones (Hernández-Silva & García-Martínez, 2016). Actualmente, tanto agricultores como investigadores comparten un interés en preservar, promover y difundir el uso de variedades nativas, como el Zapalote chico (Cabrera-Toledo *et al.*, 2020); ya que es muy importante localmente por su temprana madurez, lo que permite obtener al menos dos cosechas en un año. Además, esta variedad de maíz tiene un papel crucial en la dieta Zapoteca, porque es una de las razas con mayor contenido de proteína y un germen grande que

la hace valiosa en términos nutricionales (López-Romero *et al.*, 2005; CONABIO, 2020). Pero, enfrenta una erosión genética debido a dos factores principales: el aumento de la ganadería y la instalación masiva de aerogeneradores en la región (Vázquez-García *et al.*, 2014). Por estas razones se busca utilizar los análogos de brasinoesteroides para poder aumentar el rendimiento y resistencia en este maíz que tiene suma importancia en la región istmeña y en México.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MAÍZ: ORIGEN Y TAXONOMÍA

El maíz es la especie domesticada del teosinte (Benítez-Cardoza, 2006), se trata de una planta monocotiledónea; en la actualidad el maíz taxonómicamente se reconoce como *Zea mays L. ssp. Mays*, siendo una gramínea de la tribu de las Maydeae (Maideas), que comparte con *Zea mays mexicana* (Schard.) Ittis y *Z. mays ssp. parviglumis* (Ittis & Doebley) pertenecientes a la familia Poaceae (Poaceas) (Sánchez-Ortega, 2014; Golik, 2018). Vavilov observó que el maíz y alrededor de 49 especies adicionales tienen su origen en la región número siete, que se extiende desde el centro-sur de México hasta la mitad del territorio de Centroamérica (Fig. 1). Durante sus primeras exploraciones en México, Vavilov llegó a la conclusión de que el Teocintle, clasificado previamente dentro del género *Euchlaena*, era el pariente silvestre más cercano del maíz (Serratos-Hernández, 2009).

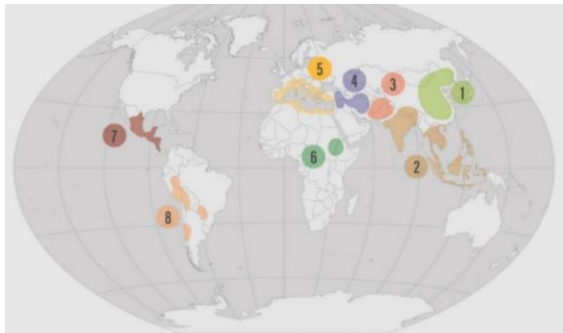


Figura 1. Localización de los centros de origen/domesticación de las plantas cultivadas, según Vavilov. (Fuente: CONABIO 2020) <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/evolucion-bajo-domesticacion/centrosPlantas>

2.1.1 Maíz en México

El maíz fue domesticado, difundido y manejado en el continente americano, este suceso pasó aproximadamente hace nueve u ocho mil años antes de Cristo; aunque tuvieron que pasar varios milenios para que después de una serie de manejos, ensayos y transformaciones genéticas, se volviera un grano básico en la alimentación humana (González-Jácome, 2007). Lo que nos dicen las observaciones de Vavilov, es que el origen del maíz ocurrió en el centro-sur de México, hasta la mitad del territorio de Centroamérica. Para Vavilov en sus primeras exploraciones en México fue evidente que *Euchlaena*, género en el que antiguamente se clasificó al Teocintle (Fig. 2), es el pariente silvestre más cercano del maíz (Serratos-Hernández, 2009). El maíz surgió aproximadamente entre los años 8,000 y 600 a.C. en Mesoamérica, algunos reportan que el vestigio de maíz más antiguo se localizó en las montañas que están al sur del Altiplano Central y al norte del Balsas central, otros que, en el valle de Tehuacán, Puebla en las cuevas de Coxcatlán (Benítez-Cardozo, 2006), (Acosta, 2009), (González-Jácome, 2008).

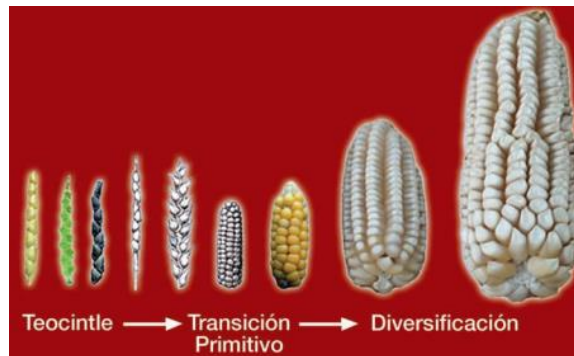


Figura 2. Secuencia morfológica de la posible evolución de la mazorca del teocintle y el maíz. (Fuente: Serratos-Sanchez, 2009) <chrome-extension://mhjfbmdqcfjbbpaeoiofohoefgjeihai/index.html>

Indudablemente, el descubrimiento más significativo de Mesoamérica es el maíz, el cual permitió que grandes poblaciones nómadas se establecieran y crearan sociedades y culturas, como la Olmeca, Maya, Totonaca, Azteca, Purépecha, y muchas otras, que influyeron en la cultura y la cosmología de la región. La importancia del maíz en varias culturas mesoamericanas no solo se refleja en su dieta, sino también en sus mitos y leyendas (Sánchez-Rodríguez, 2016). La agricultura y la domesticación del maíz se originaron en el sexto milenio a.C., mientras que las primeras formas culturales, conocidas como olmeca, surgieron aproximadamente 1,500 años a.C. en los estados de Tabasco y Veracruz. A pesar de que se dieron en todas las culturas, estas experimentaron una fase de influencia olmeca. Durante este tiempo, pequeñas aldeas empezaron a expresar su vasto conocimiento del universo, la naturaleza, la vida, la muerte, y la relación entre los seres humanos con lo divino y lo sagrado (Marín, 2010).

En el libro maya de la Creación, El Popol Vuh, se narra que los Creadores utilizaron maíz blanco oculto en una montaña debajo de una roca inamovible para crear a los seres humanos (Fig. 3). El dios de la lluvia abrió una grieta en la roca con un rayo en forma de hacha para acceder al maíz. Sin embargo, parte del maíz se quemó con el

rayo, lo que resultó en la creación de los otros tres colores de grano: amarillo, negro y rojo. Finalmente, los Creadores molieron el grano y con la masa resultante crearon a los seres humanos (Ramírez-Romero *et al.*, 2020).



Figura 3. Gente de maíz de Diego Rivera (Fuente: Villalón, 2019) <https://www.hilandohistorias.mx/wp-content/uploads/2020/06/diego-riverahombres-maiz.jpg>

Los mexicas tenían varias deidades relacionadas con el maíz a las que rendían culto, destacando Centeotl, dios del maíz (Fig. 4); Xilonen, diosa de las mazorcas tiernas, e Ilamatecuhtli, diosa de las mazorcas secas. Además, el maíz era fundamental en la estructura monárquica de los mexicas, ya que los señores comían tortillas diariamente, conocidas como Tatonqui, Tlaxcalli y Tlacuelpacholli, que eran blancas, calientes y dobladas, y se colocan en un chiquihuitl y se cubrían con un paño blanco. Esto evidencia la importancia del maíz en la cultura y la sociedad azteca (Ortega-Enríquez, 2007).



Figura 4. Centeotl: Dios del maíz (Fuente: SeGob, 2019)
<https://www.gob.mx/cms/uploads/image/file/497465/cinteotl.jpg>

En 1519, cuando los españoles llegaron a México, el fraile Bernardino de Sahagún documentó una gran variedad de alimentos que se vendían en el mercado de Tlatelolco. Entre los alimentos que registró se encontraban tortillas de diferentes tipos, tamaños y colores, algunas rellenas de carne o chile molido y otras mezcladas con miel y cocidas debajo del rescoldo. También, se vendían tamales de pescado, rana o gallina, tlacoyos, atole, cacao preparado para beber y mezclado con especias aromáticas y miel de abejas, guisados, pepitas de calabaza hervidas con miel, "cascos" de calabaza cocidos y pulque (González-Jácome, 2017). Durante la época prehispánica, se establecieron depósitos estatales para almacenar alimentos, incluyendo maíz, y así evitar escasez en tiempos de malas cosechas. Había instituciones encargadas de asegurar el suministro, conservación y distribución del maíz, que era el sustento principal de la población y producido a través del trabajo de sus tierras. No obstante, estos sistemas de almacenamiento y aprovisionamiento estatales de granos desaparecieron tras la conquista de México. En cambio, en las grandes haciendas surgidas en el periodo novohispano se construyeron almacenes

para guardar mazorcas, exclusivamente en beneficio de los dueños de estas (Islas-Jiménez, 1994). A lo largo de los siglos XVI, XVII y XVIII, durante la era colonial, el cultivo y consumo de maíz en la antigua Mesoamérica continuó siendo importante en el territorio agrícola. Sin embargo, se produjeron cambios y una disminución en el cultivo, aunque difícil de medir, debido a la disminución de la población indígena en el primer siglo de la presencia europea, así como a la competencia de los nuevos cultivos, como el trigo y la caña de azúcar, y la ganadería, que juntos ocuparon tierras (Rojas-Rabiela & Gutiérrez-Ruvalcaba, 2016).

Durante la Revolución Mexicana, la creciente demanda de maíz, trigo y otros productos agrícolas exacerbó una crisis social ya existente. Entre 1913 y 1919, la producción de maíz y trigo se mantuvo muy por debajo del promedio anual, con apenas una décima parte de la producción de 1910 en 1913 (Fig. 5). En general, se estima que la producción agrícola disminuyó en un 70% durante el movimiento armado (Morales & CIMMYT, 2020). El maíz en la actualidad sigue siendo fundamental para la vida, la historia y las tradiciones de los mexicanos, y representa no solo un cultivo, sino también el núcleo de su identidad. A pesar de que México importa más de un tercio del maíz que consume debido a las políticas económicas, la producción de este cereal sigue estando íntimamente ligada a las costumbres y la cultura de las comunidades rurales. La producción y los precios del maíz son vitales para la seguridad alimentaria y la estabilidad política de México en la actualidad (O'Leary & CIMMYT, 2016).



Figura 5. Revolucionarios delante de una parcela de maíz. (Fuente: Morales, CIMMYT; 2020)
https://idp.cimmyt.org/wp-content/uploads/2020/11/460_revolucion-b.jpg

2.1.2 Maíz en el Istmo de Tehuantepec

El istmo de Tehuantepec (Fig. 6) es una estrecha franja de tierra de 220 km de largo, ubicada en México, que conecta los océanos Atlántico y Pacífico a través de dos importantes puertos marítimos: Coatzacoalcos, en Veracruz, y Salina Cruz, en Oaxaca (Vázquez-García *et al.*, 2020). En el año 2018, se cultivaron 75,339 hectáreas de maíz (*Zea mays L.*) en la región del Istmo de Tehuantepec ubicada en el estado de Oaxaca. La cosecha produjo un total de 110,683 toneladas, con un rendimiento promedio de 1.47 toneladas por hectárea. Es importante destacar que esta zona es predominantemente habitada por la comunidad zapoteca y que la siembra del maíz se lleva a cabo en su mayoría con semillas nativas y bajo condiciones de temporal. Estos datos fueron proporcionados por el SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) en el año 2019 (Cabrera-Toledo *et al.*, 2020).

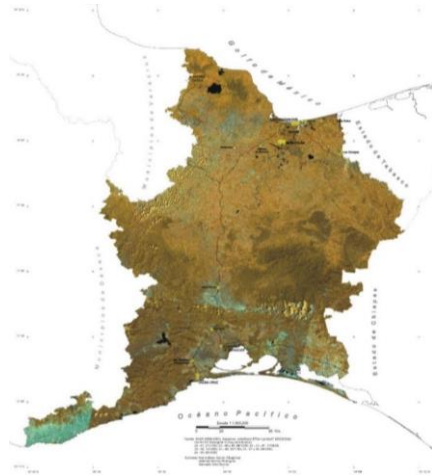


Figura 6: Ubicación del Istmo de Tehuantepec. (Fuente: Instituto de Geografía, UNAM; 2000)
https://geodigital.geografia.unam.mx/atlas_istmo/index.html/Mapas/A_1.jpg

El Zapalote Chico es una de las 59 variedades de maíz (*Zea mays L.*) ubicadas en México. Esta variedad es endémica de la planicie costera del Istmo de Tehuantepec, adaptándose a las condiciones climáticas de la zona, como el calor, la sequía en el verano y los fuertes vientos en el invierno. Hace 2.500 años comenzó su proceso de diferenciación, con cerca de 22 complejos genéticos que no están presentes en ninguna otra variedad de maíz, por lo que algunos expertos la consideran como una de las más perfectas del mundo. No obstante, debido a su limitada distribución geográfica, sufre de erosión genética y peligro de desaparecer (Fig. 7) (Vázquez-García *et al.*, 2020).

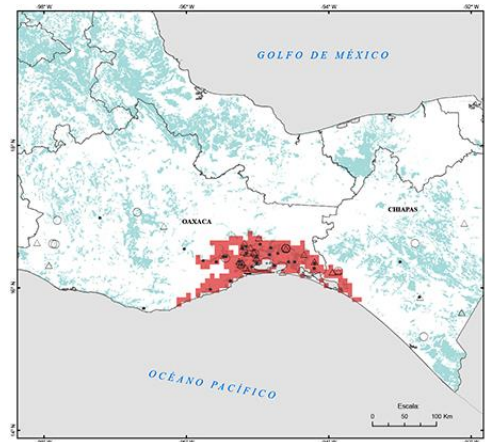


Figura 7. Ubicación de la raza zapalote chico. (CONABIO, 2020)

https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/ usos/maices/gupos/TropicalesPre/images/raza_zapalotechico_new_NF_2_015.jpg

Wellhausen y colaboradores en 1951 describieron la raza de maíz Zapalote Chico como una variedad de plantas pequeñas y muy tempranas, que se destacan por tener una cubierta de brácteas (conocida como "totomoxtle") más pronunciada que cualquier otra raza de maíz. Su distribución geográfica se concentra en el Istmo de Tehuantepec, una zona que experimenta fuertes vientos de octubre a marzo, con velocidades medias de 90 km/h (López-Romero *et al.*, 2005). Los zapotecos, huaves, chontales, zoques y mixes, pueblos originarios del istmo durante 3500 años, son los principales desarrolladores de este maíz (Vázquez-García *et al.*, 2014) El maíz Zapalote Chico es especialmente utilizado para la elaboración de guetabigüii (Fig. 8) o "totopos" tradicionales de la región del Istmo, aunque también es utilizado para la producción de elotes, atoles y tortillas (CONABIO, 2020).



Figura 8. Cocción de los guetabiquii. (López-Pineda, 2023) <https://tzamtrecesemillas.org/sitio/el-guetabiquii-del-istmo-de-tehuantepec-representacion-de-nuestra-identidad-creada-con-maiz-y-fuego/>

Es una de las variedades de maíz con mayor contenido proteico, con un promedio de 12.7%, y con un germen grande (Fig. 9). En los Estados Unidos se han desarrollado variedades resistentes a plagas a partir de esta raza. Debido a su tamaño pequeño y temprana madurez, es posible sembrar esta raza de maíz en alta densidad, lo que permite hasta tres cosechas por año, además de una alta eficiencia fotosintética y resistencia a la sequía, al viento, al acame, al calor, a enfermedades foliares y al gusano cogollero. Ofrece una excelente calidad elotera y una cobertura de mazorca que protege al grano de plagas y enfermedades (CONABIO, 2020).



Figura 9. Mazorca de Zapalote chico. (CONABIO, 2020) <https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/ usos/maices/qupos/TropicalesPre/images/maiZapaloteCh.jpg>

2.2 Estructura del grano de maíz

En botánica, el grano de maíz se denomina cariósipide o cariopsis; que contiene el revestimiento o cubierta seminal, y la semilla misma. Además, de contar con otras cuatro estructuras físicas fundamentales, que son: el pericarpio (cáscara, o salvado), el endospermo, el germen o embrión y la pilorriza (tejido inerte en que se unen el grano y el carozo) (FAO, 1993).

La parte exterior de la semilla llamada pericarpio es la cubierta del grano, comúnmente conocido como "cáscara", compuesta por un 40% de celulosa y un 40 % de pentoglucano, constituyendo entre el 5% y el 7% del peso seco, los tejidos que forman pericarpio son: epidermis, mesocarpio, células transversales, células tubulares, y cubierta de la semilla (Grande-Tovar, 2013; García-Lara, 2019).

El endospermo se trata de un tejido que rodea el embrión y proporciona alimento para el crecimiento de la semilla (Grande-Tovar, 2013). Esta estructura se conforma por la unión de dos tejidos, la primera es la aleurona, es una capa única de células que ayuda de revestimiento al exterior del endospermo. Cubre todo el endospermo amiláceo y el germen, interrumpido solo en la capa hilar de la punta del grano y más delgada sobre el germen. El contenido de las células de la aleurona es granular y las células contienen cuerpos proteicos diferentes de los del endospermo amiláceo. Los cuerpos proteicos parecen estar organizados en un sistema de vacuolas. Las aleuronas también contienen cuerpos oleosos ricos en fósforo, potasio y magnesio (García-Lara, 2019).

La siguiente capa es la subaleurona o endospermo periférico se encuentra de una a tres capas de células justo debajo de la aleurona en la mayoría de los granos de

maíz. Tiene las células más pequeñas y podría contener pequeños gránulos de almidón rodeados por una gruesa matriz proteica. Tiene una consistencia suave y apariencia opaca llega a representar el 34% del peso del endospermo (García-Lara, 2019; Grande-Tovar, 2013).

El germen se encuentra en la parte central del grano cerca al extremo de la punta y suele extenderse aproximadamente la mitad o dos tercios de la longitud del grano. Comprende alrededor de los 10% al 12% del peso seco del grano. Almacena nutrientes y hormonas, es el depósito más rico en elementos minerales y contiene el 78% de los minerales del grano, probablemente porque son esenciales para el crecimiento temprano del embrión. El germen contiene entre el 35 y el 40% del aceite de la semilla, es decir, entre el 80 y el 85% del contenido total de aceite de la semilla (García-Lara, 2019; Hopkins, 1974).

Dentro del cuerpo del germen está el tallo embrionario, apuntado hacia arriba, y al extremo de la corona, y la raíz embrionaria que apunta hacia abajo, a la punta del grano; ambos son, partes del germen. Potencialmente la mayoría de las células del embrión son metabólicamente activas al hidratarse durante la germinación. Provocando la activación de enzimas hidrolíticas y sintéticas además de hormonas de crecimiento para movilizar nutrientes y sintetizar compuestos para el crecimiento (García-Lara, 2019; Hopkins, 1974).

El escutelo es el órgano de almacenamiento de alimentos del germen, se trata de un polímero formado por un esqueleto de xilosa con ramificaciones laterales cortas de xilosa, arabinosa, galactosa y ácido glucurónico. Este consta de cuatro tejidos diferentes: epitelio, parénquima, epidermis y tejido provascular. El epitelio, capa única

de células contiguas al endospermo amiláceo; el parénquima son cilindros cortos con paredes gruesas que contienen numerosas fosetas y espacios intercelulares que facilitan el movimiento de material entre las células, la epidermis, es una capa de células cuticuladas que rodea la cavidad embrionaria (García-Lara, 2019).

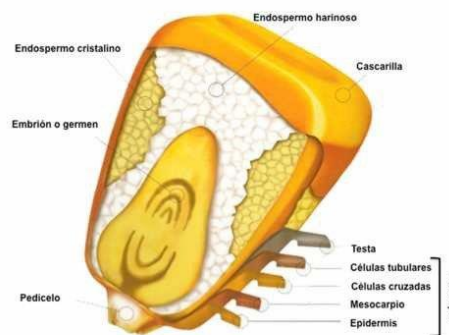


Figura 10: Partes anatómicas del grano de maíz. (Rábago-Monzón, 2017)

[https://www.researchgate.net/profile/Angel-Rabago-](https://www.researchgate.net/profile/Angel-Rabago-Monzon/publication/349899713/figure/fig1/AS:999214595207168@1615242732407/Figura-1-Partes-anatomicas-del-grano-de-maiz_W640.jpg)

[Monzon/publication/349899713/figure/fig1/AS:999214595207168@1615242732407/Figura-1-Partes-anatomicas-del-grano-de-maiz_W640.jpg](https://www.researchgate.net/profile/Angel-Rabago-Monzon/publication/349899713/figure/fig1/AS:999214595207168@1615242732407/Figura-1-Partes-anatomicas-del-grano-de-maiz_W640.jpg)

2.4 Composición química

Los granos de maíz son considerados órganos de almacenamiento, contienen almidón, proteínas, lípidos. En pequeñas cantidades se encuentran fibras, azúcares, minerales y vitaminas. La calidad nutricional, así como la integridad de los granos es influenciada por diversos factores, como la genética, el medio ambiente y el procesamiento del grano, los procedimientos de cocción, la nixtamalización y la fermentación (Urango, 2018; Golik *et al.*, 2020).

2.4.1 Almidón

El almidón es el componente químico principal del grano de maíz, corresponde hasta 72 a 73% del peso del grano, está conformado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. Además, contiene otros monosacáridos como glucosa, sacarosa y fructosa, que varían en cantidades entre 1 al 3% del peso del grano (Benítez-Cardoza, 2006; FAO, 1993).

El almidón tiene estructura helicoidal unido a través de enlaces α -1,4, conformado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina, en una relación aproximadamente de 27% de amilosa y 73% de amilopectina. Ambas moléculas son polímeros de alto peso molecular compuestos de unidades de D-glucosa. La amilosa es una molécula lineal de unidades de glucosa, insoluble en agua, aunque puede formar micelas hidratadas, dado por su capacidad de enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno, construyendo una estructura helicoidal generando un color azul por la unión con el yodo dado a la formación de un complejo (Golik *et al*, 2020; Urango, 2018; FAO, 1993). El polímero amilopectina consiste en unidades de glucosa en forma ramificada, en mayor proporción por enlaces α -1,4 con un porcentaje de 94 a 96% y en menor cantidad enlaces α -1,6, 4 a 6%, en estas uniones se genera una acción específica de las enzimas amiláceas. En estas ramificaciones se ubican aproximadamente de 15 a 25 unidades de glucosa. La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y con presencia de yodo produce un color rojizo violeta (Golik *et al*, 2020; Urango, 2018).

2.4.2 Lípidos

Los lípidos en el grano de maíz se concentran casi exclusivamente en las células del escutelo del germen en un 76 % a 83 %, seguido de la capa de aleurona que va entre un 13% a 15% y después el almidón de 1% a 11%, por último, el pericarpio y el capuchón cada uno con un porcentaje de 1%. La cantidad que contiene de lípidos el germen es de 39% a 47% de su peso, en mayoría triglicéridos, con unos pocos ésteres de esteroles y diglicéridos, además de pequeñas cantidades de glucolípidos y fosfolípidos (Sebastián Mansilla, 2018).

El aceite de maíz posee considerablemente niveles elevados de ácidos grasos poliinsaturados, en su mayoría ácido linoleico, con un valor cercano a 24%, y en su minoría ácidos linolénico y araquidónico. El aceite de maíz al contener únicamente pequeñas cantidades de ácido linolénico (0.7%) y altos niveles de antioxidantes naturales hace que sea relativamente estable (Benítez-Cardoza, 2006).

2.4.3 Proteínas

Es el segundo componente más abundante en el grano de maíz, los valores oscilan entre 6% y 12% de su peso seco. La distribución y características de la proteína en el germen y el endospermo difieren significativamente. El germen cuenta con proteína de alta calidad teniendo un 35% de su peso seco, a diferencia del endospermo que cuenta con el 9% de su peso en proteína, con una deficiencia en lisina y triptófano provocando que sea considerada de mala calidad (Sebastián-Mansilla, 2018).

Las proteínas de los granos del maíz se pueden agrupar conforme a su solubilidad: a) albuminas, solubles en agua, b) globulinas que son solubles en solución

salina, c) prolaminas, solubles en solución alcohólica fuerte), esta fracción abarca el 50 al 60% de la proteína del endospermo, se le considera como la reserva más importante de proteínas, sirviendo como fuente de nitrógeno, y c) glutelinas, solubles en medio alcalino (Benítez-Cardoza, 2006; Urango, 2018).

2.4.4 Oligoelementos

Aproximadamente la concentración de minerales en el grano de maíz es de 1.3%, llegando a variar considerablemente por factores ambientales, esto puede ser por el tipo de suelo, riego y fertilización, entre otros métodos. El tejido con mayor porcentaje de minerales del grano de maíz es el germen puesto que su valor medio es de 78%, frente al endospermo que es menos de 1%. Los elementos químicos más abundantes en forma de minerales son el fósforo, potasio y magnesio, ubicados en el embrión por completo con un porcentaje entre 0.90 y 0.92%, esto depende de la variedad del maíz (Benítez-Cardoza, 2006; FAO, 1993).

2.5 Compuestos antioxidantes

Los antioxidantes son un grupo importante de nutrientes encontrados en ciertos alimentos, que a bajas concentraciones y con un sustrato oxidable, provocando que la oxidación del sustrato sea retrasada o prevenida, inhibiendo la tasa de oxidación. El organismo para mantener su salud depende de buenos sistemas de defensa antioxidantes que protegen al organismo de agentes oxidantes como radicales libres o especies reactivas frente a oxígeno que llegan a provocar procesos patológicos y envejecimiento prematuro (Mex-Álvarez *et al.*, 2013; de Teresa-Galván *et al.*, 2008). La función antioxidante es un proceso óxido-reducción. Al interactuar el oxidante con el

radical libre, este se reduce. Este proceso es cotidiano en el organismo humano, conocido como balance redox (Coronado *et al.*, 2015).

2.5.1 Estrés oxidativo

Es el resultado de las reacciones metabólicas que emplean O₂ provocando que el equilibrio pro-oxidante/antioxidante se perturbe en los sistemas vivos que tienen la capacidad de oxidar biomoléculas (lípidos, proteínas, ADN), inhibiendo su estructura y función normal (Sánchez-Valle *et al.*, 2013). En casi todo el metabolismo celular ocurren reacciones óxido-reducción. Cuando se transforman los nutrientes orgánicos se libera energía química almacenada en sus enlaces, siendo una reacción óxido-reducción la que sucede en el proceso de respiración celular que se sitúa en las mitocondrias, y en la cual se consume el oxígeno. También, ocurre la oxidación de moléculas orgánicas mediante reacciones secuenciales que no utilizan directamente al oxígeno (de Teresa-Galván *et al.*, 2008). Las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno no deben encasillarse como productoras solo de daño biomolecular, puesto que también dañan el sistema enzimático, teniendo afectación en el sistema de respuesta celular y en las señales moleculares llegando a modificar reacciones biosintéticas (Galina-Hidalgo, 2018).

2.5.2 Fenoles

Los compuestos fenólicos son un extenso grupo de componentes ampliamente distribuidos en los metabolismos secundarios de las plantas, que son imprescindibles en algunos casos para llevar a cabo distintos procesos como la pigmentación, el crecimiento, la reproducción y además en situaciones de tensión

biótico y abiótico son útiles como mecanismos de defensa. Además, se ven involucrados en la fisionomía de la planta influyendo en la absorción de nutrientes, fotosíntesis, síntesis de proteínas, actividad enzimática, componentes estructurales y alelopatía (Cabrera-Soto *et al.*, 2009; Tucuch-Haas *et al.*, 2017). La molécula de un fenol cuenta con un anillo bencénico puede ser con uno o más grupos hidroxilo. Son derivados de sales como 2-fenil-benzopirilo que por lo común se encuentran en forma de glucósidos con excepción algunos pocos de compuestos aminos (Corona-Terán *et al.*, 2017).

Los fenoles en cereales se dividen en dos grupos solubles e insolubles. El grupo de fenoles solubles (libres), glucosilados y esterificados, en capas periféricas del grano hay en mayor cantidad, a diferencia que en el endospermo hay una menor concentración. Su contenido de fenoles totales y poder antioxidantes en el maíz (*Z. mays*) es mayor que otros cereales como el arroz, trigo y avena (Cabrera-Soto, 2009). En el género *Phaseolus*, los metabolitos presentes en sus órganos reproductores ayudan a los procesos reproductivos además de la protección. Estos metabolitos incluyen a los pigmentos fenólicos (flavonoides, antocianinas y taninos), lectinas, inhibidores de tripsina y amilasa y ácidos fenólicos (Peñarrieta *et al.*, 2014).

2.5.3 Clasificación de fenoles

Los compuestos fenólicos (CF) tienen una estructura que posee al menos un anillo aromático unido a uno o más grupos hidroxilo. Estos se clasifican en fenoles simples, ácidos fenólicos (AF), flavonoides (FLA) y taninos (TAN). Se han identificados alrededor de 8,000 CF, la mayoría tienen una estructura de tres anillos, dos aromáticos

(anillos A y B) y uno heterociclo oxigenado (anillo C). Los CF más sencillos solo cuentan con un anillo aromático y conforme aumenta los sustituyentes, se incrementa la complejidad de la estructura (Mercado-Mercado *et al.*, 2013).

Fenoles simples

Los fenoles simples (Fig. 11.) tienen dos (1,2, 1,3 o 1,4) o tres (1,3,5 o 1,2,3) grupos hidroxilo en el anillo aromático. En alimentos su presencia está como fenol, cresol, timol y los derivados de resorcinol, que en su mayoría son anfifílicos, están presentes en varios cereales. Además de sus propiedades antioxidantes, hay pruebas de que, estos compuestos cuentan con actividad biológica sobresaliente, como los antibióticos, antiparasitarios y citotóxicos (Peñarrieta *et al.*, 2014; Martínez-Valverde *et al.*, 2000).

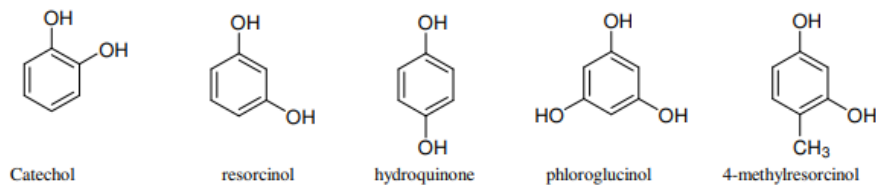


Figura 11. Estructuras químicas de compuestos fenólicos simples. (Peñarrieta, 2014) <chrome-extension://mhifbmdacfibbpaeoiofohoefqiehi/i/index.html>

Ácidos fenólicos

Los AF se dividen en dos grandes grupos: los ácidos hidroxibenzoicos y los ácidos hidroxicinámicos. Es importante recalcar que la presencia de más de un grupo hidroxilo y una mayor separación del grupo carbonilo al anillo aromático aumentan la capacidad antioxidante de estos compuestos (Peñarrieta *et al.*, 2014).

- Ácidos hidroxibenzoicos: La estructura de los ácidos hidroxibenzoicos (Fig. 12) tienen un grupo carboxílico (grupo ácido) y grupos hidroxilo (uno o más) en un anillo aromático. Están presentes en alimentos tales como frutas, verduras y cereales. Muchos estudios han informado de la actividad biológica, por ejemplo, el ácido protocatéuico presentó un efecto protector frente a lesiones de hígado en modelos animales (Peñarrieta *et al*, 2014).

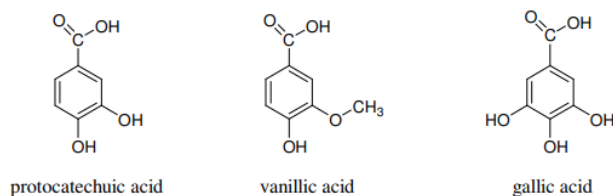


Figura 12. Ácidos Hidroxibenzoicos. (Peñarrieta, 2014)

<chrome-extension://mhjfbmdgcfjbbpaeoiofohoefqiehi/jai/index.html>

- Ácidos hidroxicinámicos: La característica principal de estas moléculas es que contiene un grupo $\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$ en lugar del grupo COOH presente en los ácidos hidroxibenzoicos. El doble enlace carbono ($\text{C}=\text{C}$) en la cadena aumenta la resonancia química, lo cual se puede describir como una distribución de electrones en los enlaces π que estabiliza los radicales libres (Fig. 13). Esto, a su vez, incrementa la capacidad antioxidante de la molécula (Peñarrieta *et al*, 2014).

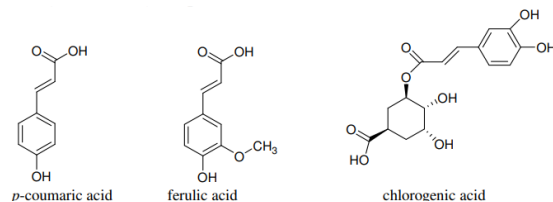


Figura 13. Ácidos hydroxycinnámicos. (Peñarrieta, 2014)

<chrome-extension://mhjfbmdgcfjbbpaeoiofohoefqiehi/jai/index.html>

Flavonoides

Son sustancias polifenólicas de bajo peso molecular que comparten una estructura básica con difenilpiranos, consiste en dos anillos de benceno unidos a través de un anillo heterocíclico de pirona o pirán (Fig. 14.). Esta estructura proporciona la base para una amplia variedad de compuestos, como flavonoles, flavonas, flavanonas, flavanololes, isoflavonoides, catequinas, calchonas, dihidrocalchonas, antocianidinas, leucoantocianidinas, flavandioli y proantocianidinas o taninos condensados (taninos no hidrolizables) (Martínez- Valverde *et al.*, 2000).

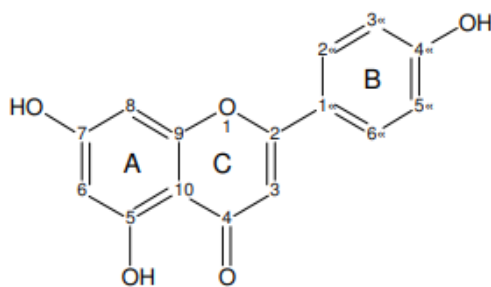


Figura 14. Estructura básica de un flavonoide (Peñarrieta, 2014)
mhjfbmdgcfibbpaeeojfohoefqieghai/index.html

Taninos

Los taninos son compuestos fenólicos que se disuelven en agua y tienen un peso molecular que oscila entre 500 y 3000 daltons. Estas sustancias contienen numerosos grupos hidroxilo, así como otros grupos funcionales (aproximadamente de 1 a 2 por cada 100 daltons), lo que les permite unirse a proteínas y otras macromoléculas (Martínez- Valverde *et al.*, 2000).

Existen dos grupos principales de taninos, los taninos hidrolizables y los taninos no hidrolizables o taninos condensados. Los taninos condensados se originan a partir de flavan-3-oles, tanto como monómeros individuales como en unidades estructurales

dentro de cadenas más largas. Estos taninos (Fig. 15) se forman mediante la unión de proantocianidinas y/o dímeros de catequina derivados de catequina, y pueden continuar agregándose para formar polímeros más grandes (Peñarrieta *et al.*, 2014; Martínez- Valverde *et al.*, 2000). Los taninos hidrolizables están presentes en fresas y otras plantas incluyen principalmente elagitaninos no conjugados, galotaninos y ácido elágico, así como formas conjugadas del ácido gálico (Peñarrieta *et al.*, 2014).

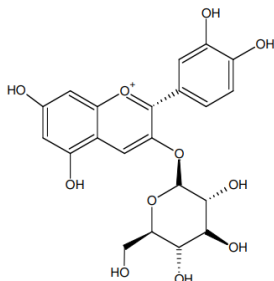


Figura 15. Antocianina 3-glucosido. (Peñarrieta, 2014)

<chrome-extension://mhjfbmdgcfjbbpaeojofohoefqiehjai/index.html>

2.6 Problemáticas socioeconómicas en cultivos mexicanos.

La agricultura en México va más allá de ser un sector productivo importante, ya que tiene un papel crucial en el desarrollo económico, social y ambiental del país. Aunque su contribución al PIB es de apenas el 3.7%, su impacto en el desarrollo es significativo. Es un sector relativamente pequeño en comparación con la economía total, siendo una fuente importante de empleo para aproximadamente el 13% de la población, que incluye a millones de agricultores, trabajadores asalariados y familiares no remunerados. Además, que cerca del 24% de la población total viva en zonas rurales subraya aún más la relevancia de la agricultura para el desarrollo territorial del país (Corona-Ramírez, 2016).

La mayoría de las unidades de producción (UP) agropecuarias, son dedicadas a actividades agrícolas (86%), equivalen a 3.2 millones de UP, principalmente manejadas por pequeños y medianos productores ubicados al inicio de la cadena productiva (Fig. 16). Aunque utilizan semillas criollas, el uso de agroquímicos es elevado en comparación con la tecnología utilizada. La productividad de estas UP es baja, en gran parte debido a su falta de acceso a servicios financieros, asistencia técnica, TIC's e innovaciones tecnológicas. Además, los productores de estas UP suelen ser personas de edad avanzada y con baja escolaridad (CEDARSA, 2020). En el pasado, la agricultura se basaba en una tecnología poco eficiente y empírica, mientras que en la actualidad se sigue utilizando principios de hace más de 50 años y se emplean dos tipos de tecnología: la misma que se usaba antes en las zonas de cultivo de temporal y una tecnología costosa, que consume mucha energía. Como resultado, los productos agrícolas mexicanos no son competitivos en comparación con los de otros países (Grageda-Cabrera, 2012).



Figura 16. Campesino en cultivos de Zapalote chico. (Manzo, 2020)

<https://aristequinoticias.com/next/image?url=https%3A%2F%2Feditorial.aristequinoticias.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F09%2Foaxaca-campesinos-zapotecas-maiz-zapalote-chico-hibrido-medio-ambie>

2.7 Factores bióticos y abióticos que afectan los cultivos mexicanos.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), considera que para el año 2050, el aumento en la población y los ingresos se reflejará en un aumento del 70% en la demanda mundial de productos agrícolas. Sin embargo, la falta de tierra y agua para la producción agrícola, junto con la escasez de estos recursos, aumenta la competencia entre las demandas urbanas e industriales. Además, la producción de alimentos básicos y productos no alimentarios, así como la ganadería, compiten por los recursos disponibles para la agricultura (CEDARSA, 2020).

En los últimos tiempos, se ha observado un aumento en la frecuencia, duración y magnitud de las sequías en diferentes partes del mundo, y los modelos climáticos indican que esta tendencia se intensificará en este siglo XXI. En México, donde la agricultura de riego y de temporal es un importante motor de empleo e ingresos económicos, las sequías representan un riesgo significativo para el sector agropecuario. La sequía agrícola se produce cuando hay una escasez constante y significativa de lluvia, lo que reduce la producción agrícola en comparación con lo que se considera normal o esperado para una determinada región (Ortega-Gaucin & Velasco, 2013).

Dentro de los problemas fitosanitarios que afectan el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), las plagas de insectos son una de las mayores preocupaciones debido a los graves daños que pueden causar en el rendimiento, ocasionando pérdidas de hasta un 30%. Estas plagas se presentan en todas las etapas del cultivo, desde su establecimiento hasta el almacenamiento del grano, y su incidencia está influenciada por factores como las condiciones ambientales, la fenología del cultivo y los hábitos alimentarios y

biológicos del insecto plaga (Hernández-Trejo *et al.*, 2020). En la agricultura, los desastres hidrometeorológicos como las heladas son una causa importante de pérdidas en el país debido a su distribución espacial, principalmente en los estados de Chihuahua, Durango, Puebla, Estado de México y Tlaxcala, donde se presentan durante más de 100 días al año. En el estado de Puebla, en el año 2011, se registraron heladas atípicas en 57 municipios, según lo informado por el Sistema de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP: 2011), lo que causó la pérdida de 111,810.30 hectáreas cultivadas con maíz (Ramírez-Huerta *et al.*, 2013).

2.8 Fitohormonas.

Consideradas como reguladores del crecimiento vegetal en diversas referencias, las fitohormonas, son compuestos derivados de las vías biosintéticas de las plantas que actúan localmente (lugar de síntesis) o llevado a cualquier parte del cuerpo de la planta para intervenir en respuestas de desarrollo fisiológico vegetal (Fahad *et al.*, 2014). Estas sustancias orgánicas naturales inciden en bajas concentraciones, en varios procesos fisiológicos, en su mayoría regulan las fases del crecimiento y desarrollo de las plantas, como la germinación, la división celular, la formación de órganos senescentes entre otras, así como la respuesta a diversos factores de estrés biótico y abiótico (Yu-Bai *et al.*, 2010).

Por lo general, un mismo tipo de fitohormona puede tener efectos sobre distintos aspectos del desarrollo de la planta, además es común que varias fitohormonas colaboren entre sí para regular un proceso de desarrollo específico (Zhao *et al.*, 2015). Es comúnmente aceptado que las hormonas vegetales se clasifican principalmente en varios grupos, que incluyen las auxinas, el etileno, las citoquininas (CK), las giberelinas

(GA), el ácido abscísico (ABA), el ácido salicílico (SA), los jasmonatos, los brasinoesteroides (BR) y las hormonas peptídicas (Yu Bai *et al.*, 2010, Borjas-Ventura *et al.*, 2020).

- Citoquininas (CK): dirigen varios aspectos del desarrollo vegetal, como la citocinesis, diferenciación celular, el crecimiento, la quiescencia y el transporte de asimilados o la senescencia, además intervienen en las respuestas al estrés abiótico (Ciura & Kruk, 2018).
- Auxinas: tienen la capacidad de dirigir e intervenir en procesos de división celular, elongación y diferenciación celular. Suele encontrarse altamente distribuida en la mayoría de las células y tejidos vegetales, por esta razón puede intervenir en procesos de diferenciación unicelular, pluricelular hasta tener acción en diversos tejidos vegetales (Alcántara-Cortes *et al.*, 2019).
- Giberelinas (GA): son un conjunto de compuestos diterpenoides tetracíclicos que tienen una función vital en diferentes procesos de las plantas, como el crecimiento del tallo, el desarrollo de las plantas, la germinación de las semillas, la expansión de las hojas y la regulación hormonal. Cuando hay una deficiencia de giberelinas, las plantas pueden sufrir enanismo. Además, estas hormonas también son esenciales en la respuesta de las plantas al estrés abiótico y en su adaptación (Ciura & Kruk, 2018).
- Acido abscísico (ABA): La hormona vegetal ABA es fundamental en diversos procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas, como la latencia de semillas y brotes, la regulación de la apertura y cierre de las estomas, el control del tamaño de diferentes partes de las plantas y la respuesta al estrés ambiental.

ABA y GA, tienen una relación opuesta en algunos procesos de desarrollo, como la latencia y la germinación de semillas, donde ABA promueve la producción de compuestos de almacenamiento y previene la germinación prematura de las semillas, mientras que GA tiene un efecto contrario (Mukherjee *et al.*, 2022).

- **Acido salicílico (SA):** Esta hormona vegetal tiene un efecto positivo en el crecimiento y la floración de las plantas, ya que estimula su desarrollo y prolonga la duración de la floración. También es capaz de inhibir la producción de etileno, una hormona vegetal que promueve la maduración y senescencia de los tejidos. Como ácido orgánico, puede activar enzimas importantes para el metabolismo de las plantas, como la amilasa y la nitrato reductasa. Cuando se combina con otras hormonas vegetales como las auxinas y las giberelinas, puede potenciar sus efectos beneficiosos en las plantas, logando así un efecto sinérgico (Alcántara-Cortes *et al.*, 2019).
- **Etileno:** Es una hormona vegetal gaseosa que tiene múltiples funciones en las plantas. Estas funciones incluyen la germinación de semillas, la floración, la maduración de frutas y la abscisión de hojas y frutos. Además, el etileno juega un papel importante en la respuesta de las plantas a situaciones de estrés biótico y abiótico. La concentración de etileno es un factor clave en la regulación del crecimiento y la senescencia de las hojas. Además, el etileno interactúa con otras hormonas vegetales de manera positiva o negativa para coordinar y equilibrar el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Mukherjee *et al.*, 2022, Ciura & Kruk, 2018).

Por lo general, se considera que las hormonas vegetales JA y ET están involucradas en la defensa de la planta, mientras que las hormonas Aux, CK, GA y BR están más relacionadas con el desarrollo de esta. Por su parte, la hormona ABA juega un papel clave en la regulación de las respuestas de las plantas al estrés abiótico. En este sentido, la manipulación genética de estas hormonas vegetales se perfila como una herramienta muy útil para que los biotecnólogos puedan mejorar la productividad de las plantas y su capacidad de resistir situaciones de estrés, lo cual es especialmente importante en un contexto de cambio climático y escasez de recursos (Ciura & Kruk, 2018).

2.8.1 Brasinoesteroides.

A comienzos de los años sesenta, ciertos investigadores pensaban que el rápido crecimiento y germinación del polen podría estar vinculado a la existencia de sustancias que promueven el crecimiento (Sáenz-Carbonell *et al.*, 2006). Durante un período de 30 años, Mitchell y sus colegas del USDA llevaron a cabo investigaciones con el objetivo de encontrar nuevas hormonas vegetales, examinando extractos orgánicos de polen de diversas especies. Finalmente, se aislaron los extractos promotores del crecimiento más efectivos a partir del polen de la planta *Brassica napus* L., fueron bautizados como "brassin". La aplicación en un bioensayo del segundo entrenudo del frijol tuvo un impacto notable en el alargamiento y la división celular. Además, se encontró que estos compuestos incrementaban los rendimientos cuando se rociaban sobre plántulas jóvenes de rábanos y papas (Clouse, 2011).

Después de un esfuerzo coordinado en diferentes laboratorios de EE. UU., se logró descubrir la verdadera naturaleza química de los "brassinos". Se extrajo de 227

kilogramos de polen de *B. napus* en una planta piloto, lo que produjo 4 miligramos de una sustancia identificada como una lactona esteroidal mediante cristalografía de rayos X y llamada brasinólido. Dos años después, el brasinólido y su isómero, 24-epi-brasinólido, fueron sintetizados químicamente. En la década de 1980, muchos investigadores se enfocaron en determinar los efectos fisiológicos de una amplia variedad de compuestos sintéticos en diversos sistemas biológicos (Sáenz-Carbonell *et al.*, 2006).

2.8.1.1 Estructura.

Se puede entender que BL es un derivado de 5 α -colestano que contiene múltiples grupos hidroxilo. Su estructura específica es (22R, 23R, 24S)-2 α , 3 α , 22, 23-tetrahidroxi-24-metil-B-homo-7-oxa-5 α -cholestan-6-one. Este esteroide promotor del crecimiento se encuentra en las plantas y tiene una estructura similar a las hormonas esteroides animales derivadas del colesterol, como los andrógenos, estrógenos y corticosteroides de vertebrados, así como a los ecdisteroides de insectos y crustáceos (Clouse, 2011).

Los brasinoesteroides son moléculas que tienen cuatro anillos y una cadena lateral. Estas moléculas se forman mediante la unión de bloques de cinco átomos de carbono llamados isoprenos. En las plantas, los brasinoesteroides más comunes son aquellos que tienen 28 átomos de carbono y diferentes grupos químicos en dos de sus anillos y en su cadena lateral. Las variaciones en la estructura de los brasinoesteroides naturales se deben a la presencia de oxígeno en el átomo de carbono 3 y en otros átomos de carbono adicionales en los anillos A y B, así como a las posiciones de los

átomos de carbono 22 y 23 en la cadena lateral (Fig. 17.) (Hernández-Silva & García-Martínez, 2016).

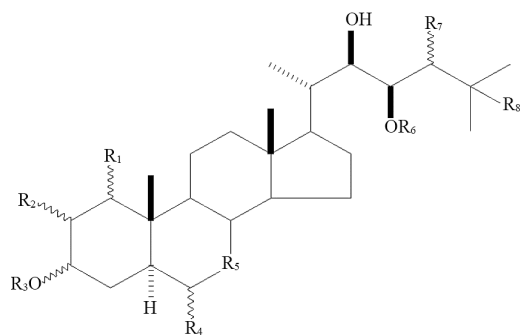


Figura 17. Estructura química de los brasinoesteroides naturales. (Hernández-Silva & García-Martínez, 2016) <https://www.scielo.org.mx/img/revistas/remexca/v7n2//2007-0934-remexca-7-02-00441-gf1.gif>

2.8.1.2 Biosíntesis de brasinoesteroides.

Los BR, se producen a partir de una transformación de esteroides vegetales comunes, de manera similar a las hormonas esteroideas en animales e insectos a partir del colesterol. Entre los BR naturales, ciertos análogos como la teasterona, el tifasterol y la castasterona se pueden considerar precursores biosintéticos de la brasinolida y se metabolizan a partir del campesterol, que es uno de los esteroides vegetales comunes que posee una estructura similar a la cadena lateral de la brasinolida (Sakurai & Fujikora, 1997).

La síntesis de brasinoesteroides (BR) consta de dos etapas principales. En la primera, trece reacciones convierten el escualeno en campesterol, mientras que, en la segunda, once reacciones adicionales transforman el campesterol en brasinolida (Fig. 18), (Hernández-Silva & García-Martínez, 2016). En la fase temprana de oxidación, el campesterol se convierte en 6e-hidroxicampestanol, que luego se transforma en 6-oxocampestanol. Se plantea la posibilidad de que el 6-oxocampestanol se hidroxile en

C22 para formar catasterona, que luego se hidroxila en C23 para producir teasterona, común en las plantas. La teasterona se convierte en tifasterol mediante una inversión del 3 β -hidroxilo a 3 α -hidroxilo (Yokota, 1997).

Es importante destacar que parte del tifasterol regresa a tasterona a través de la 3-dihidrotasterona-1 α . El tifasterol se transforma en castasterona mediante hidroxilación en C2 α , un brasinoesteroide con dos grupos hidroxilo vecinos. La oxidación del grupo 6-oxo produce la brasinolida, uno de los brasinoesteroides naturales más potentes. Se ha observado que la conversión de tasterona en castasterona ocurre en plantas intactas de *C. roseus*, tabaco y arroz (Fujikora & Sakurai, 1997). Antes de la oxidación de C6, se producen procesos que incluyen la incorporación de hidroxilos en la cadena lateral, la transformación en epímeros del 3-hidroxilo y la adición de un hidroxilo en el anillo A, generando 6-deoxocastasterona. Este compuesto luego se oxida en C6 para producir castasterona, conociéndola como "vía de oxidación tardía". Se investigó esta vía en células de *C. roseus* y al reexaminar los brasinoesteroides endógenos en las células, se identificó 6-deoxoteasterona, 6-deoxotifasterol y 6-deoxocastasterona como productos intermedios. El nivel de 6-deoxocastasterona endógena en las células era similar al de castasterona y brasinolida. (Sakurai & Fujikora, 1997). La vía de la oxidación tardía del C6 que constituye las reacciones paralelas a la de la oxidación temprana del C6. 6-Deoxocastasterona podría ser el intermediario de la vía de la oxidación tardía del C6 a partir del campestanol (Sakurai, 1999). El nivel de 6-deoxocastasterona en las células era similar al de castasterona y brasinolida. Al proporcionar sustratos deuterio-etiquetados, se demostró que la 6-deoxoteasterona se convierte en 6-deoxotifasterol y

luego en 6-deoxocastasterona. Además, se observó que la 3-dehidro-6-deoxoteasterona participa en la epimerización de la 6-deoxoteasterona a 6-deoxotifasterol, al igual que en la vía de oxidación temprana del C6. Las células oxidaron la 6-deoxocastasterona a castasterona y brasinólida, lo que indica la existencia de la "vía de oxidación tardía del C6" en la biosíntesis de brasinólida. (Sakurai & Fujikora, 1997)

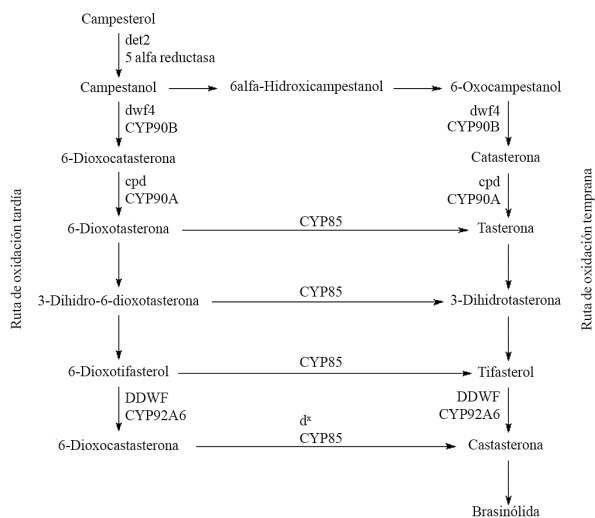


Figura 18. Ruta de la biosíntesis de brasinoesteroides. (Hernández-Silva, García-Martínez, 2016) <https://www.scielo.org.mx/img/revistas/remexca/v7n2/2007-0934-remexca-7-02-00441-gf4.gif>

2.8.1.3 Efectos fisiológicos.

Las plantas, como cualquier otro organismo multicelular, cuentan con diversos mecanismos para reconocer y responder a las señales externas del ambiente, incluyendo factores bióticos y abióticos, así como señales internas del organismo, como las hormonas (Hernández-Silva & García-Martínez, 2016). Uno de los efectos biológicos más estudiado de los brasinoesteroides en la planta es su capacidad para

estimular el crecimiento en una amplia gama de sistemas de estudio, incluyendo la planta completa, segmentos de diferentes órganos y tejidos vegetativos (explantes) (Salgado-Garciglia *et al.*, 2008). Los brasinoesteroides son polihormonas que tienen como función principal estimular la división y elongación celular, la diferenciación, embriogénesis, senescencia y la respuesta al estrés ambiental en las plantas. Además, juegan un papel importante en procesos fisiológicos como la germinación de semillas, el crecimiento de las raíces, la fertilidad, la floración, el crecimiento del tubo polínico, la fotosíntesis, la biosíntesis de etileno, la expresión génica y la activación de la bomba de protones. Debido a estos múltiples efectos en la planta, los brasinoesteroides se consideran reguladores con efectos pleiotrópicos (Ciura & Kurk, 2018).

Cuando se comparan los efectos de los análogos de BR con otras sustancias reguladoras del crecimiento vegetal, se destacan características únicas, como su actividad a concentraciones extremadamente bajas (0.1-0.001 mg/l), lo que representa un rango 100 veces menor que el de otros reguladores de crecimiento vegetal. Además, estimulan el enraizamiento, no causan deformaciones en las plantas y principalmente ejercen su efecto cuando las plantas están bajo condiciones de crecimiento adversas. Los estudios toxicológicos han demostrado que estos compuestos no son genotóxicos, ecotóxicos o antígenotóxicos mediante ensayos de micronúcleos en médula ósea de ratón (Salgado-Garciglia *et al.*, 2008).

2.8.1.4 Usos en la agricultura de los BR.

Debido a los efectos significativos de los BR en el crecimiento y desarrollo de las plantas, se ha reconocido su potencial económico en la agricultura desde los años 80's. La síntesis de los análogos de BR se presenta como un método para la preparación de

grandes cantidades de BR activos para su uso y evaluación en invernaderos y campos. Numerosas pruebas con 24-epibrasinolida en China, Japón y Rusia, mostraron que, a pesar de ser un compuesto exógeno, puede aumentar el rendimiento en diferentes especies de plantas, aunque los resultados varían en función al modo de aplicación, etapa de crecimiento y condiciones ambientales (Hernández-Silva & García-Martínez, 2016). La implicación de los BR en la adaptación de las plantas a condiciones ambientales estresantes se ha evidenciado mediante diversas investigaciones. En el caso del jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) sometido a estrés por metales, se observó que la pulverización foliar con un brasinoesteroide aumentó tanto el número de frutos como el rendimiento de frutos por planta. Además, se comprobó que esta técnica logró neutralizar los efectos tóxicos de los metales pesados en la planta (Ciura & Kurk, 2018).

Las BR de origen vegetal son una opción para proteger diferentes plantas, como el arroz, tomate, té, brócoli, pepino, fresa, y otras, de los daños que pueden ser causados por enfermedades vegetales y plagas de insectos. Además, al utilizar estos BR, se puede mejorar la capacidad natural de las plantas para reducir los residuos de plaguicidas comunes, tales como los organofosforados, organoclorados y carbamatos, logando una disminución entre un 30-70%. Esta medida es muy beneficiosa para proteger las plantas de las enfermedades vegetales y las plagas de insectos que puedan afectar su crecimiento y desarrollo (Liu *et al.*, 2017).

La aplicación externa de BR mejoró los efectos negativos del estrés salino en la germinación de las semillas, el crecimiento de las raíces y el posterior desarrollo del arroz al aumentar la actividad de la nitrato reductasa y la presencia de pigmentos. En

otro estudio se descubrió que la exposición previa de segmentos foliares de cebada a BR antes de la exposición a la salinidad fue efectiva para disminuir los daños causados por el estrés salino en las ultraestructuras celulares, tales como los núcleos y los cloroplastos (Fahad *et al.*, 2014). Se han reportado que pueden estimular el crecimiento de hongos. También se encontró que se puede mejorar la introducción y adaptación de nuevos cultivos en zonas que antes no eran adecuadas para ellos (Nishant-Bhanu, 2019).

Por parte del maíz se ha utilizado el análogo de nombre 24-epiBL en el maíz generó un aumento en la producción, siendo más notorio cuando se aplicó el producto antes de la aparición de la inflorescencia masculina. Los aumentos en los rendimientos variaron entre el 10% y el 20% en la mayoría de las evaluaciones (Núñez, 1999). En híbridos trilineales fértiles, se observaron diferencias altamente significativas al emplear el análogo "CIDEF-4". La dosis de 30 g/ha produjo un rendimiento de 8.083 t/ha, en comparación con el testigo que registró un valor de 3.858 t/ha (Torres-Ruiz *et al.*, 2007).

2.9 “El promotor de crecimiento vegetal esteroidal: 22-Oxocolestano”

Los esteroides del tipo 22-oxocolestano, específicamente el compuesto natural OSW-1 [1, 3 β ,17 α -dihidroxi22-oxocolest-5-en-16 β -il 2-O-(4-metoxibenzoil)- β -D-xilopiranosil-(1 \rightarrow 3)-2-O-acetil- α -L-arabinopiranosido], han atraído la atención de la comunidad científica desde su hallazgo. Este último es el componente principal de un grupo reducido de saponinas colestanas que se encuentran en los bulbos de *Ornithogalum saundersiae* Baker, una especie que pertenece a la familia de los espárragos, aunque previamente carecía de relevancia en la medicina popular

(Zeferino-Diaz et al, 2015). Los 22-oxocolestanos han demostrado un gran y diverso potencial biológico, por ejemplo, como antiinflamatorios, anticancerígenos, así como ser promotores del crecimiento vegetal, esto último puesto a prueba con la inclinación de las hojas del arroz y en el alargamiento del segundo nudo en plantas de judía han demostrado una capacidad parecida a la de los brasinoesteroides. Algunos de los compuestos recién descubiertos que estimulan el crecimiento presentaron resultados más efectivos en comparación con los obtenidos con la brasinólida y la homobrasinólida. (Balbuena-Hernández, 2022), (Zeferino-Diaz et al, 2017). Además de brindar un mejoramiento en plantas infectadas con virus, ya que presentaron una reducción en la gravedad de las lesiones en comparación con el grupo de control viral (Santos-Cabrera, 2019), .

La obtención de compuestos 22-oxocolestános son a partir de diosgenina con una reacción de acetólisis con Ac_2O y BF_3OEt_2 , que efectúa la apertura del anillo E, generando un intermediario llamado i. Luego, mediante un tratamiento ácido, se transforma en la estructura dihidropiránica (2). Posteriormente, el tratamiento con ácido acuoso de la estructura 2 provoca la apertura del anillo F, dando como resultado las estructuras 3. Las condiciones por emplear dependerán de cómo se planea utilizar las moléculas de 22-oxocolestano, ya sea como promotores de crecimiento vegetal u otros fines (Rodríguez-Martínez et al, 2019).

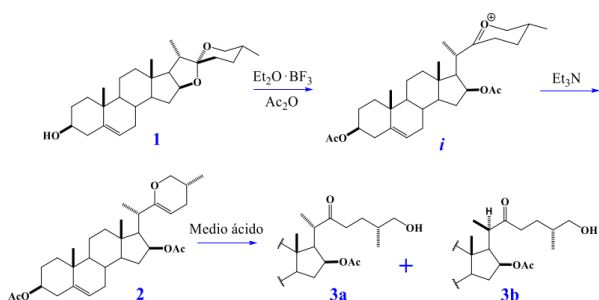


Figura 19: Síntesis para producir dos estructuras de 22-Oxocolestánicas con variaciones en C-20 a partir de diosgenina (Rodríguez-Martínez et al, 2019). <https://sqm.org.mx/wp-content/uploads/2021/04/CMC-SQM-QPNT-2019.pdf#page=90>

Los reportes mostrados por Zeferino-Díaz y asociados, 2015 en sus resultados de obtención muestran que la vía sintética es excelente para producir la cadena lateral de 22-oxocolestano deseada con un rendimiento global del 72-74%. Estos promotores de crecimiento otorgan una mayor actividad en los procesos de germinación y elongación, que otros promotores similares. Al estimular el crecimiento de las plantas y su actividad biológica, se asemeja a los brasinoesteroides, lo que sugiere que también pueden influir en el receptor BRI1. Sin embargo, investigaciones realizadas en entornos computacionales permiten anticipar interacciones con otros receptores, lo que abre la posibilidad de evaluar su influencia a través de receptores relacionados con otras fitohormonas y a la proteína vinculada al gen BRI1 (Balbuena-Hernández et al, 2022).

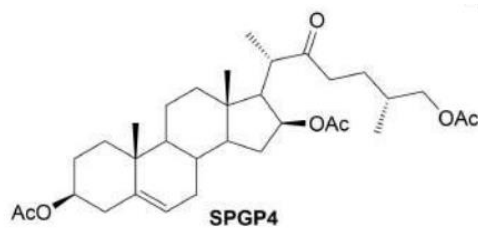


Figura 20: Estructura del promotor de crecimiento vegetal esteroide "SPGP4". (Balbuena-Hernández et al, 2022) doi.org/10.1002/cbdv.202201243

3 JUSTIFICACIÓN

Es bastante conocido que para mejorar e incrementar la producción agrícola, la aplicación de promotores de crecimiento vegetal permiten que varias especies desarrollen elongación y multiplicación celular, y, por tanto, generen una mayor cantidad de raíces secundarias, tallos de mayor diámetro y más altos, hojas más amplias y una mayor producción de granos. Al obtener los granos de la cosecha de maíz (*Z. mays*) tratados y sin tratar con promotores de crecimiento vegetal esterooidal (PCVE), se realizará un monitoreo de la calidad de la semilla en aspectos físicos, bromatológicos y químicos, para evaluar si hay un mayor rendimiento de cultivo.

4. HIPÓTESIS

La aplicación de los promotores de crecimiento vegetal esterooidal (PCVE) sobre los cultivos de maíz Zapalote chico proveniente del istmo de Tehuantepec, promoverá una mejora en el grano y un aumento en el rendimiento del cultivo, teniendo esto como consecuencia un fortalecimiento en la seguridad alimentaria.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

- ❖ Determinar el efecto del promotor de crecimiento vegetal esterooidal SPGP4 (PCVE) sobre la calidad de las semillas de maíz Zapalote chico.

5.2 Objetivo Específicos

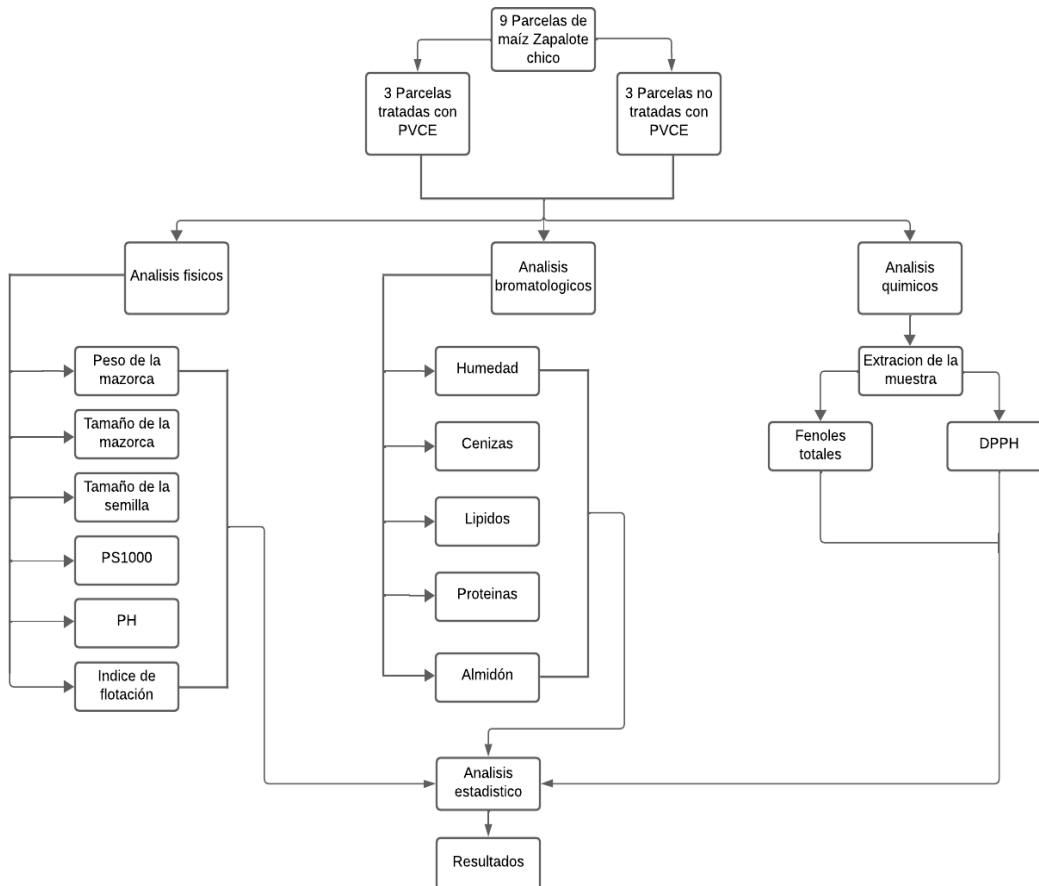
- ❖ Caracterizar físicamente las semillas de maíz (*Z. mays*) sin tratar y cosechadas con PCVE.
- ❖ Caracterizar bromatológicamente las semillas de maíz sin tratar y cosechadas con PCVE.
- ❖ Determinación de polifenoles totales y actividad de reducción de radicales libres en las semillas de maíz sin tratar y cosechadas con PCVE.

6 METODOLOGIA

6.1 Muestreo.

Las semillas fueron recolectadas a finales de octubre del 2022 en la región del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, en los alrededores de la localidad de Santo Domingo Ingenio. Se estableció un convenio con tres agricultores para la evaluación del compuesto SPGP4 en tres parcelas (P) con coordenadas P1: 19°24'41" N 94°44'48" W; P2: 16°35'15" N 94°45'49" W; P3: 16°34'22" N 94°47'02"W; cada parcela fue dividida en dos, una parte como control o sin compuesto (SC) y la otra tratada con compuesto (CC) en un tiempo de siembra y cosecha de abarco desde julio hasta octubre de 2022. Al estar listas las mazorcas para su cosecha, se eligieron 10 mazorcas al azar cada una tomada de un surco diferente de cada división de cada una de las parcelas para este estudio. El maíz de cada una de las tres parcelas fue etiquetado con P#SC para las parcelas control siendo tres y para las parcelas que fueron tratadas con el promotor de crecimiento (PVCE) "SPGP4" su numeración fue P#CC. Todas las semillas fueron analizadas físicamente mediante pruebas de medición de peso, tamaño de la semillas, peso de mil semillas, color de las semillas y su índice de flotación, así como su análisis bromatológico con pruebas de humedad, grasas, proteína, minerales y contenido de almidón y por último se realizó un análisis químico enfocado en antioxidantes, midiendo fenoles totales y capacidad antioxidante. Se realizó un análisis experimental donde todas las mazorcas fueron previamente limpiadas para trabajar por lo menos con un triplicado en el laboratorio de bromatología de la facultad de ciencias químicas perteneciente a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

6.2 Diseño experimental



6.3 Pruebas físicas.

Los análisis físicos realizados para examinar los aspectos físicos y las características fisiológicas de un grupo de semillas a partir de una muestra representativa. Para evaluar la calidad de las semillas en términos de su capacidad

fisiológica para lograr un rendimiento óptimo bajo condiciones ideales, en contraposición a su calidad genética (FAO, 2019).

6.3.1 Peso y tamaño de la mazorca.

Para el peso y tamaño de la mazorca se tomó al azar de cada parcela 10 mazorcas libre de hojas de la variedad Zapalote chico, para después ser pesadas una balanza de precisión Pioneer. Y los otros dos aspectos medidos fueron la longitud y el diámetro de la mazorca con un Vernier de precisión (Morales-Valenzuela, 2017; Sáenz-Morales, 2015).

6.3.2 Tamaño de la semilla.

Para el análisis de tamaño se tomaron 20 granos al azar y se midieron con un calibrador Vernier de precisión tres distintos aspectos: largo, ancho y grosor (García-Campos *et al*, 2020).

6.2.3 Peso de 1000 semillas.

Se contaron 100 granos de semilla de cada parcela, posteriormente se pesaron en una balanza de precisión contenidas en un recipiente de volumen conocido para obtener el peso de estos granos, y el resultado en granos se multiplicó por 10 para obtener el peso de mil semillas (García-Campos *et al*, 2020; Intriago-Défaz & Torres-Orellana, 2018).

6.2.4 Peso Hectolitro.

El PH se determinó utilizando a las semillas del maíz libre de impurezas, en un vaso de precipitado de 0.5 L se taro en la balanza de precisión para después dejar caer con ayuda de un embudo las semillas colocado a 20 cm de altura del recipiente, hasta que desborde donde posteriormente se pasa una espátula sobre las semillas, en forma de zigzag para quitar el exceso, hasta que las semillas queden exactamente a la altura de los 500 ml obtener el peso, El vaso precipitado (previamente tarado y que ahora contiene las semillas) se pesó, el peso se obtuvo dividiendo entre 0.5 y multiplico por 100 para obtener el resultado en kg/hL (Palacios-Rojas, 2018; Galicia, 2012).

6.2.5 Índice de flotación.

El Índice de flotación se calculó mediante la selección al azar de 100 granos de maíz sanos en un matraz Erlenmeyer de 600 ml que contiene 300 ml de una disolución de nitrato de sodio con una densidad de 1,250 g/ml (± 0.001 g/ml), medida con un picnómetro. Se mantuvo la temperatura entre 22°C y 23°C, se agitó tres veces hacia la derecha y tres veces hacia la izquierda utilizando un agitador de vidrio. Posteriormente, se dejó a la disolución en reposo durante 30 segundos para que los granos flotaran o se asentaran en el fondo, se realizó la cuenta de los granos que flotaron (Galicia, 2012; NMX-FF-034/1-SCFI-2002). El cálculo se realizó con el porcentaje de granos que flotaron en la mezcla y con base a la escala de valores de IF (Índice de Flotación), entre 0 y 12% se tratan de maíces duros, el 38 a 62% son granos intermedios y de 63 al 87% son granos suaves y pasando del 87% son muy suaves (García-Jiménez *et al.*, 2016).

6.2.6 Colorimetría.

El color se evaluó mediante un colorímetro obteniendo parámetros de color como L^* , a^* y b^* , este análisis se realizó por triplicado, en cada repetición se utilizaron un promedio de 15 semillas hasta llenar el tubo medidor. Los valores reportados son: L (luminosidad) que nos dice si la muestra se encuentra en un rango oscuro a $0 \leq L \leq 50$ o si es claro en $51 \leq L \leq 100$. Con los valores a^* y b^* se calculó el ángulo de tono (Hue) así como el índice de saturación de color (croma), descrito por McGuire en 1992 (García-Campos *et al.*, 2020; Salinas-Moreno *et al.*, 2013).

6.3. Pruebas bromatológicas

Este análisis se realizó como un esquema de análisis químico mediante el cual se determina la composición de un alimento en términos de sus principales grupos de nutrientes: Humedad, cenizas, grasa y proteína crudas además de almidón (Tejada de Hernández, 1976).

6.3.1 Determinación de humedad

Se pesaron 30 granos de semilla para después moler la muestra y se colocó en seis crisoles a peso constante, 5 granos pesados en una balanza de precisión Pioneer en cada crisol, el primer paso fue secar las muestras a 103°C por un tiempo de 17 horas en una estufa a presión atmosférica. La pérdida de humedad fue evaluada por diferencia de peso (Burbano-Orjuela, 1991; Galicia, 2012; García-Campos, 2020).

6.3.2 Determinación de cenizas

Esta determinación se llevó a cabo por el método de incineración. Se pesaron 3 g de muestra molida los cuales se colocaron en un crisol, se realizó una carbonización con un mechero Bunsen en el interior de una campana de extracción de humos, posteriormente se colocaron los crisoles en una mufla durante 4 horas a 550°C. Después, de pasado el tiempo de incineración en la mufla, se pasaron los crisoles a temperatura ambiente a un desecador por una hora y se pesaron (García-Campos *et al.*, 2020; Palacios-Rojas, 2018).

6.3.3 Determinación de lípidos

La extracción de lípidos se hizo mediante la técnica de extracción Soxhlet. Se utilizaron cartuchos de celulosa a peso constante para después colocar 2 g de muestra seca. Al montar el equipo se adicionaron 125 ml de hexano (disolvente) a cada matraz de destilación, el tiempo del proceso de extracción puede variar desde 4-6 horas a velocidad de condensación de 5 a 6 gotas por segundo. Las muestras se secaron a 130 °C después de la extracción por 30 minutos y se registró su peso (García-Campos *et al.*, 2020; Galicia, 2012; Murillo, 1994).

6.3.4 Determinación de proteínas.

Se pesaron 0.5 granos de muestra seca colocándola en un matraz Kjeldahl agregando una pastilla catalizadora (sulfato de cobre y sulfato de potasio), adicionando 12 ml de ácido sulfúrico al 98%. Los matraces Kjeldahl fueron colocados en una parrilla de digestión con tubo de desprendimiento, el cual estaba conectado a un matraz con una solución NaOH para neutralizar los gases. La digestión tuvo una duración

aproximada de 3-4 horas hasta observar la presencia de un color verde esmeralda (García-Campos *et al.*, 2020).

Posteriormente las muestras se destilaron en un equipo microKjeldahl. En la destilación se colocaron 20 ml de una disolución de ácido bórico al 4% en un matraz Erlenmeyer de boca ancha de 125 ml con tres gotas de indicador Weslow. En la boquilla se insertó el tubo de digestión con la muestra diluida y las sales disueltas en un volumen no mayor de 5 ml de agua destilada. Se adicionaron 40 ml aproximadamente de NaOH al 40%. La destilación se detiene hasta alcanzar volumen de destilado del doble del volumen de ácido bórico (Iturbe, 2011; Murillo, 1994). La titulación se realizó con una disolución 0.1 N de HCl, hasta que se obtuvo un cambio de color del indicador de verde-amarillo a rosa mexicano. Para realizar los cálculos se consideran concentración y el volumen de HCl gastado en la valoración, con ello se pudo calcular el número de moles de átomos de nitrógeno en la muestra y luego el % de proteína en la muestra cómo se indica en la siguiente fórmula de la figura 21 (Murillo, 1994).

$$\% N = \frac{\text{ml ácido} \times N \text{ del ácido} \times \text{Meq}_N(0.014) \times 100}{\text{peso de la muestra (en gramos)}}$$
$$\text{Proteína cruda} = \% N \times 6.25$$

Figura 21: Fórmula para obtener el porcentaje de proteína en la muestra de maíz. (Murillo, 1994)
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/75f4d317-84b1-4e66-bc1e-9fe07dd8d714/content>

6.3.5 Determinación de almidón

Esta determinación está basada en el ISO-6493-2000. El análisis para la determinación de almidón con base a la norma anterior se realiza en dos etapas.

6.3.5.1 Determinación de la rotación óptica total

Se tomaron 2.5 g de la muestra molida, esta fue depositada en un matraz volumétrico de 100 ml, y posteriormente se adicionaron 25 ml de HCl 0,31 mol/l, se agitó para obtener una suspensión homogénea. Además, se compensó el consumo de HCl de concentración conocida. El matraz se sumergió por 15 minutos cubriendo completamente el contenido en un baño maría de agua hirviendo, se agitó vigorosamente los 3 primeros minutos para evitar la coagulación y obtener una distribución uniforme del calor. Al terminar el plazo de tiempo, se agregó inmediatamente agua destilada que no supere los 10°C, la mezcla se enfrió en un baño maría de agua fría a una temperatura de 20 °C. Luego se agregaron 5 ml de la solución de Hexacianoferrato (II) de potasio y agitándolo durante 1 min, tras ello, añadimos 5 ml de una disolución de Acetato de Zinc, y nuevamente agitar por 1 min. Al terminar se diluyó hasta la señal de enrase de matraz volumétrico de 100 ml con agua, se filtró y se determinó la rotación óptica del filtrado con un polarímetro de la marca Erma Inc.

6.3.5.2 Determinación de la rotación óptica de sustancias en etanol

Se pesaron 5 g de la muestra pulverizada para transferirlos en un matraz volumétrico de 100 ml. Se le agregó 40 ml de etanol (40%) y agitó hasta obtener una suspensión homogénea, luego se adicionaron otros 40 ml de etanol. Además, se realizó la compensación de consumo de ácido de la porción de la muestra a través de HCl 0.31 M. La muestra se agitó vigorosamente y se dejó reposar durante una 1 hora a temperatura ambiente, cada 10 min se agitó fuertemente. Se diluyó hasta la marca de enrase y se filtró. En seguida se transfirieron 50 ml del filtrado en otro matraz volumétrico de 100 ml, se agregaron 2 ml HCl 7.71 M y se sumergió en un baño de

agua hirviendo durante 15 min. Al retirarlo del baño inmediatamente se añadió agua destilada (<10°C) se continuó con la adición de 5 ml de la disolución de Hexacianoferrato (II) de potasio 0.25 M para luego agitarlo por 1 min, subsecuentemente, añadimos 5 ml de disolución de Acetato de Zinc 1 M, para nuevamente agitar por 1 min. Finalmente, se lleva hasta la marca de enrase con agua destilada, se homogenizó y se filtró, para luego determinar la rotación óptica del filtrado claro con un polarímetro Erna Inc.

Estos resultados obtenidos sobre la rotación óptica del maíz fueron colocados en la fórmula de la figura 22 para obtener el porcentaje de almidón presente en el maíz, también para ello se utilizó los datos de la determinación de humedad para obtener el valor w1:

$$w = \frac{2000}{\alpha_D^{20}} \times \left[\frac{2,5\alpha_1}{m_1} - \frac{5\alpha_2}{m_2} \right] \times \frac{100}{w_1}$$

$$\alpha_D^{20} = 184.6$$

Figura 22: Fórmula para obtener el porcentaje de almidón en la muestra de maíz. (ISO-6493-2000.)
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/12866/06fffe8e565e4969808a82b973bea718/ISO-6493-2000.pdf>

6.4 Pruebas químicas

Los análisis químicos en esta investigación fue la determinación de fenoles totales y la actividad antioxidante. Para ambos análisis debe realizarse primero un proceso de extracción Los métodos utilizados para obtener los diferentes extractos fueron, maceración pasiva y extracción Soxhlet, para la posteriormente determinación que

corresponda determinó la concentración de polifenoles totales y actividad antioxidante (Rivas-Pérez *et al.*, 2017).

6.4.1 Extracción de la muestra

Se molieron 2 g de semillas de maíz de cada parcela para ser depositados en cartuchos de celulosa, seguimos con el proceso de extracción mediante el método Soxhlet, este se mantuvo una temperatura entre 70°C durante 4 horas. Al terminar los cartuchos fueron secados en una estufa a presión atmosférica con una temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ durante un lapso de 30 minutos (Rivas-Pérez *et al.*, 2017). En un matraz volumétrico de 100 ml se agregaron 30 ml de etanol frío al 70% y se agitó durante 60 minutos, se filtró la mezcla y solo se recuperó el líquido sobrenadante. Los extractos fueron almacenados a una temperatura de -4°C hasta que fueron utilizados para la determinación de fenoles totales y la determinación de la actividad antioxidante (Kwami-Adom *et al.*, 2003).

6.4.2 Determinación de fenoles totales

El método utilizado fue una modificación del presentado por Gorriti-Gutiérrez y asociados en 2009, con ello se prepararon disoluciones de diferentes concentraciones de ácido gálico (20, 40, 80, 120, 160 y 200 ppm) para construir una curva de calibración con un r^2 de 0,9994. El procedimiento consistió en mezclar un 1 ml de la muestra con 1 ml del reactivo de Folin-Ciocalteu 0.1M y se dejó reposar durante 3 minutos. Luego se mezcló con 1 ml de carbonato de sodio al 0.05% y se dejó reposar la solución resultante en la oscuridad a temperatura ambiente durante 30 minutos. Se leyeron las absorbancias de las muestras a 765 nm en un espectrofotómetro. Todas las muestras

se analizaron por triplicado y se expresaron los fenoles totales como equivalentes en miligramos de ácido gálico (GAE) por gramo de muestra.

6.4.3 Determinación de la actividad antioxidante mediante el método de eliminación de radicales (DPPH)

La forma en que se evaluó el efecto antioxidante de las muestras fue mediante la medición de su capacidad para reducir el radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) utilizando la técnica de Zhapan-Revilla y asociados en 2021 con modificaciones. Se preparó una disolución de DPPH disolviendo 0.004 g en 100 ml de etanol puro y se diluyó con más etanol puro hasta que la absorción se acercara a los 0.800 nm. El espectrofotómetro se ajustó a 517 nm utilizando etanol absoluto como blanco. Con cada muestra, se realizaron tres lecturas. Para llevar a cabo la reacción, se colocaron 1 ml de cada una de las muestras y 1 ml de solución de DPPH en tubos oscuros. El blanco 1 consistió en DPPH al 0,004% m/v en etanol absoluto y con el blanco 2 se agregó 1 ml de muestra con 1 ml de etanol. La reacción se llevó a cabo durante 30 minutos antes de medir la absorbancia en el espectrofotómetro (Lizarazo *et al.*, 2015). Para determinar el porcentaje de eliminación de radicales libres (% SRL), se relacionó la disminución en la absorbancia de las muestras (Aam) con la disminución en la absorbancia del control (Ac). Esto se puede expresar mediante la ecuación (Duarte-Almeida *et al.*, 2006):

$$\% \text{ SRL} = \frac{Ac - Aam}{Ac} \times 100$$

Figura 23. Ecuación de % de eliminación de radicales libres. (Duarte-Almeida, 2006)

7 RESULTADOS

En este capítulo analizaremos los resultados de las distintas determinaciones de las características de la mazorca y de los granos de maíz de Zapalote chico. Para los análisis físicos de cada una de las parcelas se midieron peso y tamaño de la mazorca, tamaño del grano, peso de 1000 semillas, peso de hectolitro, índice de flotación y colorimetría. Los análisis proximales realizados fueron humedad, cenizas, lípidos, proteínas y almidón. Y por último un análisis químico de fenoles totales y actividad antioxidante de las semillas. Todas las determinaciones fueron realizadas por lo menos por triplicado dividiéndose en parcelas sin compuesto (P#SC) y parcelas con compuesto (P#CC), con el objetivo de evaluar si hubo una mejora en el grano y un aumento en el rendimiento del cultivo, el análisis estadístico de los datos obtenidos en los resultados fue analizado mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de <0.05 para establecer diferencia entre las medias. Se debe destacar que todos los datos utilizados en este análisis se encontraban en distribuciones normales. Este análisis fue realizado a través de un código realizado en el lenguaje de programación Python con ayuda de bibliotecas estadísticas de SciPy.

7.1 Análisis físicos

7.1.2 Peso y tamaño de la mazorca

En general, se observó que no hubo diferencias significativas entre el peso promedio de la mazorca de las parcelas con compuesto (CC) ($90.68 \text{ g} \pm 12.97$) y las parcelas sin compuesto (SC) ($80.39 \text{ g} \pm 20.75$) (Tablas 1).

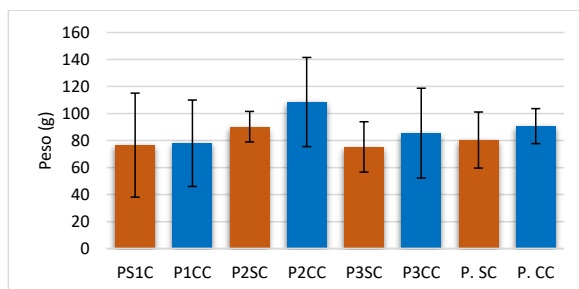
Tabla 1. Promedios con desviación estándar del peso de las mazorcas del maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 1	Promedio
P. M.	CC	78.02±29.30	108.53±35.07	85.50±33.39	90.68±12.97
	SC	75.41±38.5	90.28±12.6	75.30±18.16	80.39±7.03

Nota: el valor de P para el análisis estadístico es de 0.05, diferencia significativa.*

En la parcela P1 (Tabla 1), el peso de la mazorca sin compuesto (P1SC) fue de 75.41 ± 38.5 granos y con compuesto (P1CC) con 78.02 ± 29.30 granos. En la Parcela P1, se observa que la mazorca con compuesto (P1CC) presenta un peso ligeramente mayor en comparación con la mazorca sin compuesto (P1SC). Aunque la diferencia es mínima. Con la parcela P3 (Tabla 1), el peso del maíz sin compuesto (P3SC) fue de 75.30 ± 18.65 g y con SPGP4 resultó un peso de 85.50 ± 33.39 g, siendo que las mazorcas con compuesto (P3CC) presentan un peso ligeramente mayor en comparación con la mazorca sin compuesto. Se observa que la mazorca con compuesto (P2CC) presenta un peso significativamente mayor en comparación con la mazorca sin compuesto (P2SC). En la parcela P2 los pesos obtenidos fueron sin compuesto (P2SC) de 90.28 ± 12.6 g y con compuesto (P2CC) fue de 108.53 ± 35.07 granos (Tabla 1).

Gráfico 1. Peso de las mazorcas de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

No se encontró una diferencia significativa en el peso de la mazorca entre las parcelas sin compuesto (SC) y con compuesto (CC) en el análisis general. Sin embargo, al analizar cada parcela individualmente, se observaron variaciones ligeras en el peso de la mazorca con la aplicación del compuesto análogo de BR en las parcelas P2 y P3, en particular la parcela P2CC con una diferencia de 28 g respecto al promedio de PSC. Con lo anterior dicho, podemos argumentar que esta parcela quizá recibió mejores condiciones de siembra, ya que cada parcela es manejada por un productor diferente. Aun así, los promedios generales del control y tratamiento hay una diferencia del 10% entre promedios, siendo mayor el promedio de PCC (Gráfico 1).

El valor del promedio del largo de la mazorca SC arrojó el resultado de 9.84 ± 0.41 cm, y con valores de CC tenemos un promedio de 10.70 ± 0.17 cm. Al comparar las parcelas con y sin compuesto, se observa que las parcelas con compuesto (P1CC, P2CC y P3CC) presentan un largo promedio ligeramente mayor ($10.70 \text{ mm} \pm 0.17$) en comparación con las parcelas sin compuesto (P1SC, P2SC y P3SC) que tienen un promedio de $9.86 \text{ mm} \pm 0.39$ (Tabla 2).

Tabla 2. Promedios con desviación estándar del largo de las mazorcas de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

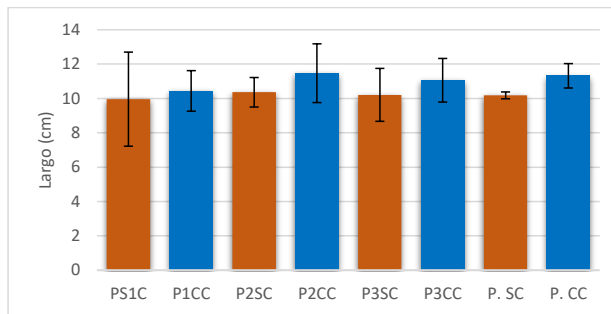
		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 1	Promedio
Largo	CC	10.44±1.18	11.47±1.71	11.06±1.27	11.32±0.71
	SC	9.96±2.63	10.36±0.86	10.21±1.54	10.18±0.20

Nota: el valor de P para el análisis estadístico es de 0.05, diferencia significativa.*

Con respecto a los promedios de los diferentes tamaños de la mazorca de las 3 parcelas de maíz Zapalote Chico (Tabla 2); se observa que aquellas que recibieron el tratamiento con compuesto (CC) presentaron un incremento en todas las medidas analizadas, en particular, en el largo de las mazorcas (Gráfico 2) lo que indica que el

compuesto orgánico tuvo un efecto positivo en el crecimiento de las plantas. Aunque en los análisis estadísticos muestra que no hubo una diferencia estadísticamente significativa.

Gráfico 2. Largo de las mazorcas de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

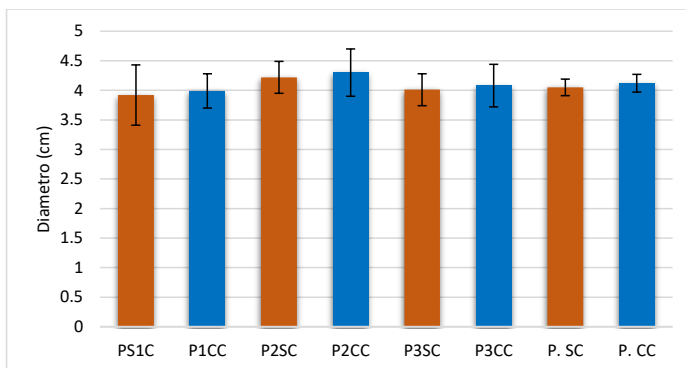
Las diferencias entre los valores promedio del diámetro de las mazorcas entre las parcelas CC (4.12 ± 0.15 cm) y las SC (4.05 ± 0.14 cm) no fueron estadísticamente significativas (Gráfico 3). Cabe destacar que de igual manera la parcela P2CC presentó un mayor crecimiento con respecto al resto de las parcelas con tratamiento y las parcelas SC.

Tabla 3. Promedios con desviación estándar del diámetro de las mazorcas del maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 1	Promedio
Diámetro	CC	3.99±0.29	4.30±0.4	4.08±0.36	4.12±0.15
	SC	3.92±0.51	4.22±0.27	4.01±0.27	4.05±0.14

Nota: el valor de P para el análisis estadístico es de 0.05, diferencia significativa.*

Gráfico 3. Diámetro de las mazorcas de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

7.1.3 Tamaño de la semilla.

La toma de promedios respecto al tamaño del grano de las parcelas no tratadas y tratadas están plasmados en la Tabla 4, 5 y 6. Comenzando con el valor del promedio de largo de la semilla SC arrojo el resultado de 9.84 ± 0.41 mm, y con valores de CC tenemos un promedio de 10.70 ± 0.17 mm. Al comparar las parcelas con y sin compuesto, se observa que las parcelas con compuesto (P1CC, P2CC y P3CC) presentan un largo promedio ligeramente mayor (10.70 mm \pm 0.17) en comparación con las parcelas sin compuesto (P1SC, P2SC y P3SC) que tienen un promedio de 9.86 mm \pm 0.39 (Tabla 4).

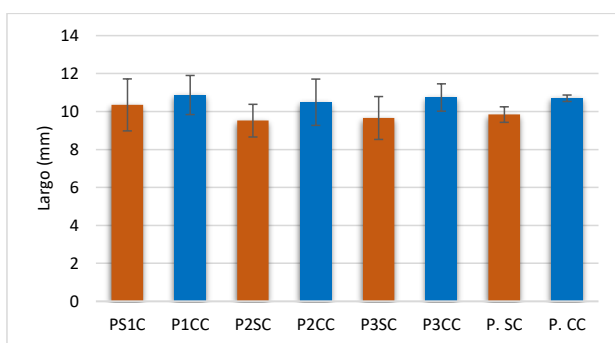
Tabla 4. Promedios con desviación estándar de medidas del largo del grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Promedio
Largo	SC	10.35 ± 1.37	9.52 ± 0.86	9.66 ± 1.13	9.84 ± 0.41
	CC	10.87 ± 1.03	$10.49 \pm 1.22^*$	$10.74 \pm 0.72^*$	$10.7 \pm 0.17^*$

Nota: el valor de P para el análisis estadístico es de 0.05, diferencia significativa.*

A nivel individual, la parcela en la que los granos de maíz tuvieron un mayor largo fue en la P1CC (10.87 mm), mientras que estos presentaron un largo menor en P2SC (9.52 mm). Con esto podemos ver que las parcelas tratadas con BR son las que a comparación a las de control tuvieron un largo en la semilla mayor (Gráfico 4).

Gráfico 4. Largo de los granos de maíz de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

Pero las parcelas que presentaron una diferencia significativa entre parcelas no tratadas contra parcelas con el compuesto SPGP4, fueron las parcelas P2CC y P3CC donde el compuesto mostro mayor acción y con ello el promedio general tuvo también una diferencia significativa.

Con relación al promedio del ancho de los granos de las parcelas, fueron menores en aquellas SC (8.46 mm) (rango de 6.0 a 10.2 mm), que en las que se aplicó el análogo de BR siendo las parcelas CC (9.38 mm) (7.3 a 10.5 mm), (Tabla 5).

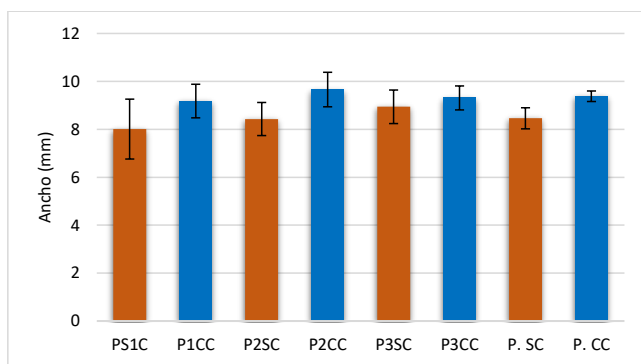
Tabla 5. Promedios con desviación estándar de medidas del ancho del grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Promedio
Ancho	SC	8.01 ± 1.25	8.43 ± 0.69	8.94 ± 0.7	8.46 ± 0.44
	CC	9.18 ± 0.7*	9.66 ± 0.72*	9.31 ± 0.5	9.38 ± 0.22*

Nota: el valor de P para el análisis estadístico es de 0.05, diferencia significativa.*

A nivel individual, la parcela que produjo granos con el mayor ancho fue P2CC, con un valor de 9.66 mm, mientras que los granos con el menor ancho se obtuvieron en la parcela P1SC, con un valor de 8.01 mm; y resultó importante que en las parcelas tratadas hubo un aumento mayor al 10 % (P1CC y P2CC) y del 9% (P3CC) con respecto a los controles, sin embargo, (Gráfico 5).

Gráfico 5. Ancho de los granos de maíz de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

Además, la parcela P2CC de tener el promedio de ancho mayor a todas las parcelas, es también tiene una diferencia estadística significativa con su contraparte, seguida de la parcela 1CC que también presentó esta diferencia a pesar de ser la que tiene el menor promedio de las parcelas con compuesto.

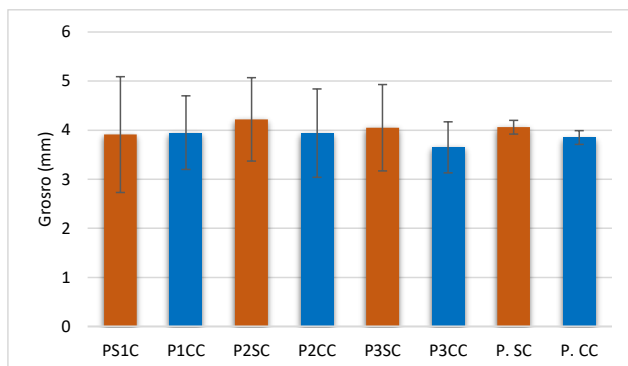
Al analizar el grosor de los granos de maíz en las parcelas tratadas con compuesto (CC) y las parcelas sin tratar (SC); se puede observar que las parcelas CC tienden a tener un promedio del grosor ligeramente más bajo que las parcelas SC, pero esta diferencia no es estadísticamente significativa (Tabla 6), (Gráfico 6).

Tabla 6. Promedios con desviación estándar de medidas del grosor del grano de maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Promedio
Grosor	SC	3.91 ± 1.18	4.22 ± 0.85	4.05 ± 0.88	4.06 ± 0.14
	CC	3.95 ± 0.75	3.94 ± 0.9	3.65 ± 0.52	3.85 ± 0.14

Nota: el valor de P para el análisis estadístico es de 0.05, diferencia significativa.*

Gráfico 6. Grosor de los granos de maíz de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

7.1.4 Peso de mil semillas

Al comparar los promedios generales de mil semillas entre las parcelas SC y CC, se observó que las parcela P2CC tuvo el mayor promedio (293.07 ± 5.34 g), seguida de la parcela P2SC (291.64 ± 2.66 g); mientras que, la parcela P1SC tuvo el menor promedio (259.93 ± 8.42 g), seguida de la parcela P3SC (269.55 ± 8.61 g) (Tabla 7).

Tabla 7. Promedios con desviación estándar de medidas del P1000S del maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

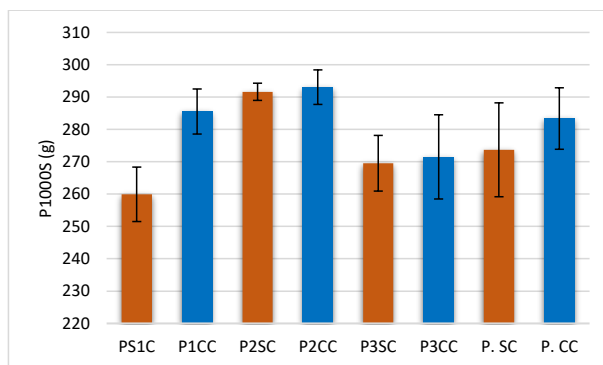
		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 1	Promedio
P1000S	SC	259.93 ± 8.42	291.64 ± 2.66	269.55 ± 8.61	273.7 ± 14.52
	CC	285.54 ± 6.97*	293.07 ± 5.34	271.51 ± 13.02	283.37 ± 9.51

Nota: el valor de P para el análisis estadístico es de 0.05, diferencia significativa.*

Sin embargo, si nos enfocamos en la comparación entre parcelas, podemos observar que la parcela P1CC tuvo un promedio mayor que su contraparte P1SC, con 285.54 ± 6.97 g contra 259.93 ± 8.42 g, respectivamente. De manera similar, la parcela P3CC tuvo un promedio mayor que su contraparte P3SC, con 271.51 ± 13.02 g a comparación de los 269.55 ± 8.61 g de la parcela 3 sin compuesto (Tabla 7).

En los promedios generales, podemos ver que no hay diferencias significativas, las parcelas CC tienen un mayor promedio de peso de 283.37 ± 9.51 g a diferencia de las SC que cuentan con un resultado de 272.60 ± 14.52 g, con el Gráfico 7 podemos darnos cuenta de que hay una tendencia mayor de pesos en las parcelas con PVCE, pero teniendo una mayor variabilidad de pesos (Gráfico 7). En la única parcela con una diferencia estadística significativa es la parcela P1CC con su equivalente sin tratamiento.

Gráfico 7. P1000S de los granos de maíz de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

7.1.5 Peso hectolitro

El peso del hectolitro (PH) de los granos de maíz de las parcelas tratadas con PCVE fue mayor en comparación con las parcelas sin tratamiento, puesto que, existen

diferencias entre los grupos ya que las PSC tuvieron un promedio de $73.79 \text{ kg/hL} \pm 1.55$ y las PCC un promedio de $74.94 \text{ kg/hL} \pm 1.60$. Al comparar todos los promedios individuales, se observa que las parcelas tratadas con SPGP4 presentaron un PH ligeramente mayor en comparación con las parcelas sin tratamiento (Tabla 8), pero no se encontró una diferencia significativa entre los promedios generales.

Comentado [ABCC1]: Estos valores no me parecen diferentes significativamente; por eso, reitero que sería importante aplicar los análisis estadísticos que sustenten más esto.

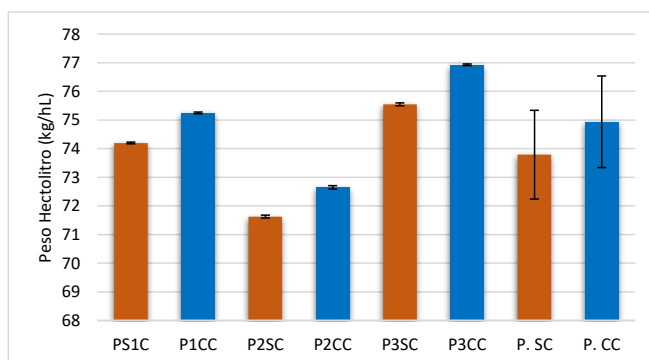
Tabla 8. Promedios con desviación estándar de medidas del P.H. del maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 1	Promedio
P.H.	SC	74.2 ± 0.03	71.63 ± 0.05	75.55 ± 0.05	73.79 ± 1.55
	CC	$75.25 \pm 0.03^*$	$72.65 \pm 0.06^*$	$76.93 \pm 0.03^*$	74.94 ± 1.6

Nota: el valor de P para el análisis estadístico es de 0.05, diferencia significativa.*

En el Gráfico 8 podemos observar las diferencias estadísticas entre las distintas parcelas donde claramente las parcelas que fueron tratadas con PVCE obtuvieron un mayor PH, siendo que casi todas tuvieron un mismo porcentaje de aumento con casi un 2% de aumento, pero siendo más cerca a este porcentaje en la parcela 3.

Gráfico 8. PH de los granos de maíz de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

7.1.6 Índice de flotación

Los resultados se clasificaron según la escala de IF: entre 0 y 12% son maíces duros, 38 a 62% son intermedios, 63 al 87% son suaves y más del 87% son muy suaves. Las parcelas sin tratamiento de PCVE (Tabla 9) obtuvieron valores promedios variados que van de 72.67 en la PSC1, 84.33 para la parcela P2SC y por último la parcela 3SC con 90%.

La Tabla 9 muestra los resultados del índice de flotación de los granos de maíz obtenidos para las parcelas con y sin compuesto. Se puede observar que los granos en las parcelas con compuesto (P1CC, P2CC y P3CC) presentan valores de índice de flotación más altos en comparación con las parcelas sin compuesto (P1SC, P2SC y P3SC).

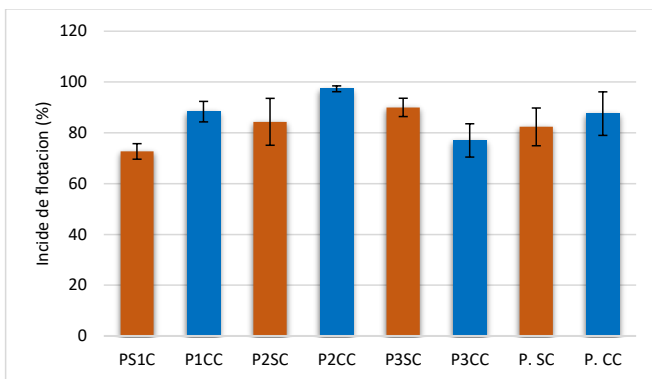
Tabla 9. Promedios con desviación estándar de medidas del I de F. del maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Promedio
I. de F.	SC	72.67 ± 3.06	84.33 ± 9.23	90 ± 7.43*	82.33 ± 7.43
	CC	88.33 ± 4.04*	97.33 ± 1.15	77 ± 6.56	87.55 ± 8.57

Nota: el valor de P para el análisis estadístico es de 0.05, diferencia significativa.*

Además, se puede ver que la diferencia en los valores de índice de flotación entre las parcelas con y sin compuesto es mayor en la Parcela 1, con una diferencia de 15.67 puntos porcentuales entre P1CC y P1SC siendo mayor en la parcela tratada con PCVE, mientras que la menor diferencia se observa en la Parcela 2, con solo 13 puntos porcentuales de diferencia, pero de igual manera la parcela tratada tuvo mayor índice (Gráfico 9).

Gráfico 9. Índice de flotación de los granos de maíz de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

Con las diferencias entre los valores de índice de flotación de los granos de maíz en las parcelas con y sin compuesto. Se puede observar claramente que las semillas con compuesto tienen valores de índice de flotación más altos que las parcelas sin compuesto, pero hay una excepción en la parcela 3 donde la parcela SC presenta un mayor índice de flotación con un porcentaje del 90% a diferencia de la con compuesto que cuenta con el 77%.

7.1.7 Colorimetría

Los resultados de la colorimetría se dividieron en tres factores luminosidad, color e intensidad. Al analizar las parcelas de maíz tratadas y no tratadas con BR, se observa que en general las semillas de maíz de las parcelas tratadas con el compuesto (P1CC, P2CC y P3CC) obtuvieron valores de luminosidad ligeramente más bajos en comparación con las parcelas sin el compuesto (P1SC, P2SC y P3SC). En promedio, los granos de maíz tratados con compuesto presentaron una luminosidad de 68.18 ± 2.90 con un rango de valores que van 54.69 a 83.38, mientras que las parcelas sin

compuesto presentaron una luminosidad de 68.60 ± 4.27 . Al examinar las parcelas individualmente, se destaca que la parcela con los granos con el valor más bajo de luminosidad fue la P3SC, con un valor de 62.50 (Tabla 10).

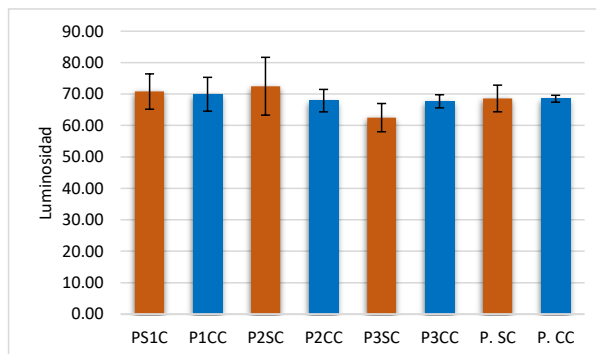
Tabla 10. Promedios con desviación estándar de medidas de la luminosidad del color del maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Promedio
Luminosidad	SC	70.80 ± 5.62	72.5 ± 9.19	62.50 ± 4.49	68.60 ± 4.24
	CC	69.95 ± 5.38	67.91 ± 3.57	$67.7 \pm 2.09^*$	68.52 ± 2.09

Nota: el valor de P para el análisis estadístico es de 0.05, diferencia significativa.*

Pero sin embargo por otro lado, la parcela con el valor más alto de luminosidad fue la P2SC, con un valor de 72.50, siendo que pertenece a las parcelas sin compuesto (Gráfico 10).

Gráfico 10. Luminosidad de los granos de maíz de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

En promedio los granos de maíz de las parcelas tratadas con PVCE presentaron una intensidad de color ligeramente mayor (11.08 ± 0.45) que las parcelas sin tratamiento (10.43 ± 0.24) (Tabla 11).

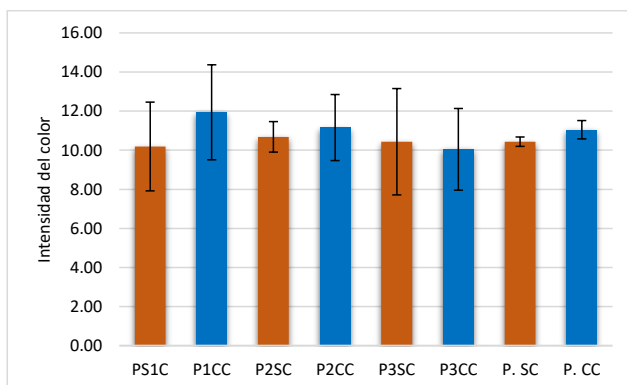
Tabla 11. Promedios con desviación estándar de medidas de la intensidad del color del maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Promedio
Intensidad	SC	10.19 ± 2.27	10.68 ± 0.78	10.43 ± 2.72	10.44 ± 0.24
	CC	11.94 ± 2.43	11.16 ± 1.69	10.04 ± 2.09	11.05 ± 0.47

Nota: el valor de P para el análisis estadístico es de 0.05, diferencia significativa.*

Sin embargo, la variabilidad de los datos también es mayor en las parcelas tratadas, lo que indica que hay una mayor dispersión en los valores de intensidad del color en esas parcelas, puesto que la parcela con mayor intensidad fue la P1CC con un valor de 11.94 y la más baja la parcela P3CC con 10.04 (Gráfico 11).

Gráfico 11. Intensidad de los granos de maíz de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

En la tabla 12 se muestran los valores obtenidos de las distintas parcelas de los granos de maíz con y sin compuesto donde los resultados arrojaron como promedio en el ángulo de color de SC fueron $92.90^\circ \pm 0.77$ y CC con un $94.70^\circ \pm 0.98$, el tono en todas las semillas de las parcelas tratadas con BR fue mayor a las parcelas control, ya que los valores obtenidos con promotores de crecimiento fueron de $93.78^\circ \pm 4.44$, $95.52^\circ \pm 2.29$, 94.69 ± 3.0 de P1, P2 y P3 respectivamente, a diferencia de los control

que fueron menores, $93.06^\circ \pm 3.70$, $92.88^\circ \pm 2.66$, 92.18 ± 1.70 de las parcelas 1, 2 y 3 en orden de aparición.

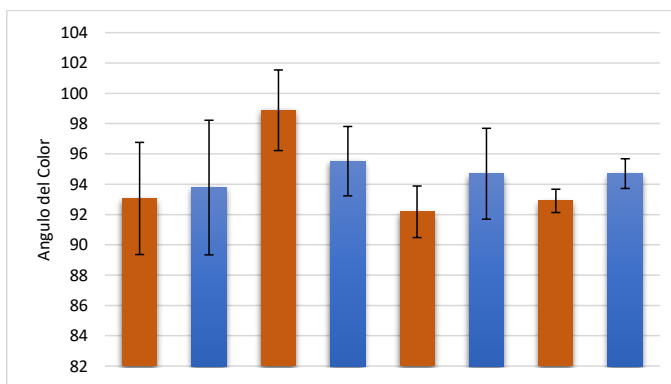
Tabla 12. Promedios con desviación estándar de medidas del ángulo de color del maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Promedio
Color	SC	$93.06^\circ \pm 3.70$	$92.88^\circ \pm 2.66$	92.18 ± 1.70	$92.90^\circ \pm 0.77$
	CC	$93.78^\circ \pm 4.44$	$95.52^\circ \pm 2.29^*$	$94.69^\circ \pm 3.0^*$	$94.70^\circ \pm 0.98^*$

Nota: el valor de P para el análisis estadístico es de 0.05, diferencia significativa.*

Cabe mencionar que en la parcela 1 existe una leve diferencia en el tono, aunque sigue siendo mayor en granos de la parcela con compuesto, la parcela CC tiene un valor de $93.78^\circ \pm 4.44$ así como $93.06^\circ \pm 3.70$ solo con una diferencia de 0.72° , siendo que en las otras fue mayor esta diferencia; es pertinente resaltar que la desviación estándar en las parcelas con compuestos es más amplia que en las no tratadas (Gráfico 12).

Gráfico 12. Angulo de color de los granos de maíz de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

7.2 Análisis Bromatológico

7.2.1 Humedad

Conforme a los análisis bromatológicos comenzando con la humedad presente en el grano, en las parcelas no tratadas presentaron un valor mayor de humedad en granos de las parcelas con tratamiento. Por ejemplo, los granos de la parcela P2CC presenta un valor de humedad de 17.72 ± 0.11 %, mientras que los granos de la parcela P2SC tiene un valor de 17.98 ± 0.66 % es que ligeramente más alto, pero la parcela 3, en el caso P3SC sus semillas cuenta con un promedio muy alto a comparación con su contra parte, la parcela P3CC, puesto que sus resultados son 17.18 ± 0.16 y 14.16 ± 0.71 respectivamente, teniendo una diferencia significativamente alta (Tabla 13).

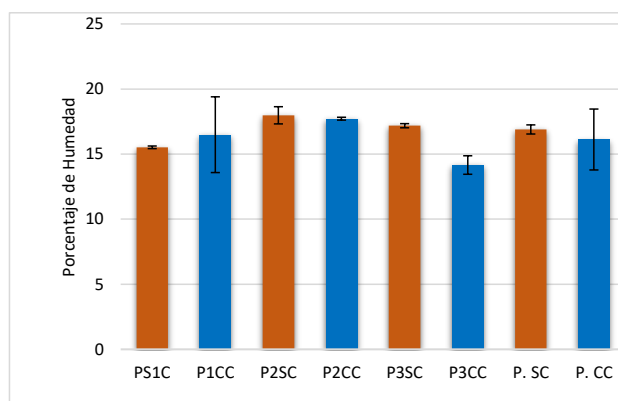
Tabla 13. Promedios con desviación estándar de porcentaje de humedad del maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Promedio
Humedad	SC	15.52 ± 0.10	17.98 ± 0.66	$17.18 \pm 0.16^*$	16.89 ± 0.35
	CC	16.49 ± 3.22	17.72 ± 0.11	14.16 ± 0.71	16.12 ± 2.34

Nota: el valor de P para el análisis estadístico es de 0.05, diferencia significativa.*

Los valores más bajos de humedad en las parcelas tratadas pueden ser el resultado del compuesto. Sin embargo, no todos los resultados muestran una diferencia significativa entre las parcelas tratadas y no tratadas. De hecho, en la parcela P1, las semillas de la parcela tratada con compuesto (P1CC) presenta un valor relativamente más alto de humedad ($16.49\% \pm 3.22$) en comparación con su contraparte sin tratamiento (P1SC) ($15.52\% \pm 0.10$) (Tabla 13; Gráfico 13).

Gráfico 13. Porcentaje de humedad en los granos de maíz de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

7.2.2 Cenizas

Por parte de las cenizas, los granos de las parcelas con compuesto obtuvieron en general valores de cenizas ligeramente mayores (1.67%) que los granos de las parcelas sin compuesto (1.56%) (Tabla 14).

Tabla 14. Promedios con desviación estándar del porcentaje de humedad en el maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

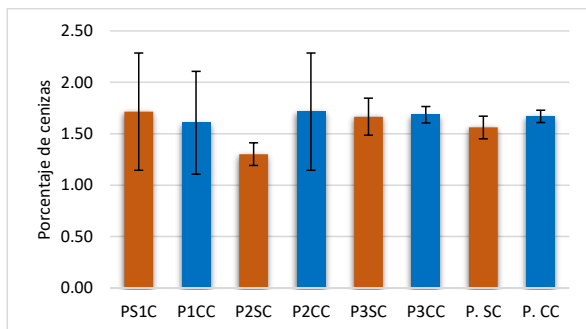
		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Promedio
Cenizas	SC	1.71 ± 0.57	1.30 ± 0.11	1.67 ± 0.18	1.56 ± 0.11
	CC	1.61 ± 0.5	1.71 ± 0.57	1.68 ± 0.08	1.67 ± 0.06

Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

En adición, se observó que los granos de maíz de dos parcelas con tratamiento (P2CC y P3CC), tuvieron mayores contenidos de cenizas (1.71% y 1.68%, cada una), con relación a sus respectivas parcelas sin compuesto (P2SC y P3SC), en particular la P2CC; mientras que la parcela con el contenido de cenizas más bajo (1.30%) fue una

sin compuesto (P2SC). Con ello comprobando que los mejores resultados los obtuvieron las parcelas tratadas (Tabla 14; Gráfico 14).

Gráfico 14. Porcentaje de cenizas en los granos de maíz de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

7.2.3 Lípidos

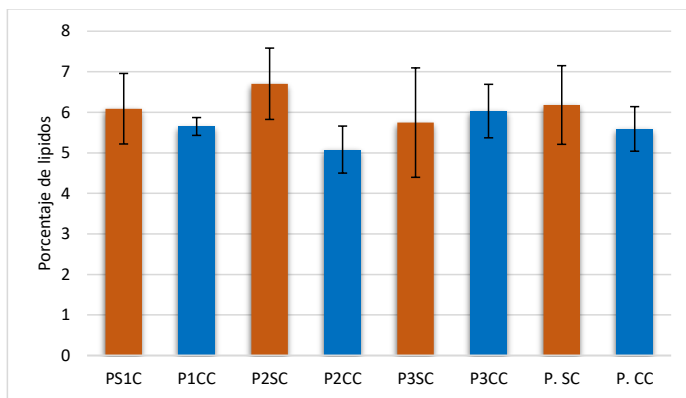
En cuanto al contenido de lípidos, se observó una variación en los niveles de grasas entre las semillas de las parcelas evaluadas individualmente; los cuales fueron menores en la mayoría de las parcelas con tratamiento. Lo anterior, debido a que los valores de lípidos obtenidos en las semillas de la P1CC presentaron un valor ligeramente más bajo de contenido de lípidos (5.65%) que las de la P1SC (6.09%). Al igual, los granos de la P2CC mostraron un valor menor (5.08%) que los de la P2SC (6.70%). Sin embargo, cabe destacar que las semillas de la P3CC tuvieron un contenido de lípidos mayor (6.03%) que la P3SC (5.75%) (Tabla 15; Gráfico 15).

Tabla 15. Promedios con desviación estándar del porcentaje de lípidos en el maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Promedio
Lípidos	SC	6.09 ± 0.87	6.70 ± 0.88*	5.75 ± 1.35	6.18 ± 0.97
	CC	5.65 ± 0.22	5.08 ± 0.58	6.03 ± 0.66	5.59 ± 0.55

Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

Gráfico 15. Porcentaje de lípidos en los granos de maíz de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

En general, se puede observar que en algunas parcelas hay diferencias significativas en los valores de contenido de lípidos en los granos de maíz entre las parcelas tratadas y no tratadas. Sin embargo, en otras parcelas, no se observa una diferencia significativa o incluso se encuentran valores más altos en las parcelas tratadas (P3CC) (Gráfico 15).

7.2.4 Proteínas

El contenido de proteína en las muestras evaluadas osciló entre 7.34% y 12.75%; y este fue mayor en todas las parcelas con tratamiento (Tabla 16). En particular, en la parcela P1, la sección tratada con compuesto (P1CC) presentaron granos con un contenido promedio de proteínas significativamente mayor (10.08 ± 1.17) en comparación con la sección sin tratamiento (P1SC) (7.34 ± 1.97). Esta diferencia indica que el tratamiento con PVCE tiene un efecto positivo en el contenido de proteínas en esta parcela en las semillas recolectadas. En la parcela P2, aunque la diferencia no fue tan pronunciada, se observó que la sección tratada (P2CC) mostró un contenido

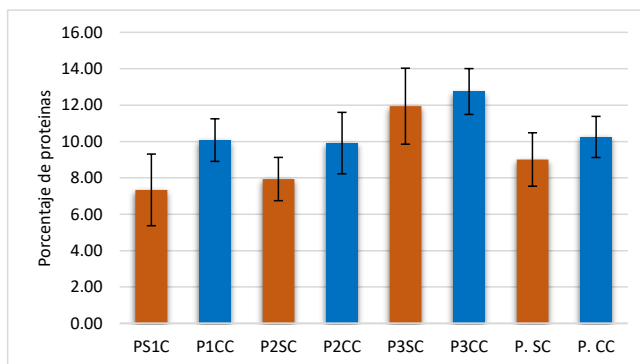
promedio superior de proteínas (9.91 ± 1.69) en comparación con la sección sin tratamiento siendo estadísticamente significativo (P2SC) (7.94 ± 1.19) (Tabla 16).

Tabla 16. Promedios con desviación estándar del porcentaje de proteínas en el maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Promedio
Proteínas	SC	7.34 ± 1.97	7.94 ± 1.19	11.94 ± 2.09	9.01 ± 1.47
	CC	$10.08 \pm 1.17^*$	$9.91 \pm 1.69^*$	12.75 ± 1.26	10.25 ± 1.13

Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

Gráfico 16. Porcentaje de proteínas en los granos de maíz de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

En la P3, no se encontró una diferencia significativa en el contenido de proteínas de las semillas entre la sección tratada (P3CC) (12.75 ± 1.26) y la sección sin tratamiento (P3SC) (11.94 ± 2.09). Esto indica que, en esta parcela en particular, el tratamiento con PVCE no tuvo un efecto notable en el contenido de proteínas, pero sigue siendo mayor el promedio con PVCE (Gráfico 16).

7.4.5 Almidón

El contenido de almidón en los granos de maíz Zapalote chico de todas las parcelas se mantuvo en un rango reducido que osciló entre 74.36% y 78.55%. La variabilidad entre las parcelas fue relativamente baja, ya que ninguna presentó una diferencia mayor a 3.5% en relación con el promedio general de almidón (Tabla 17).

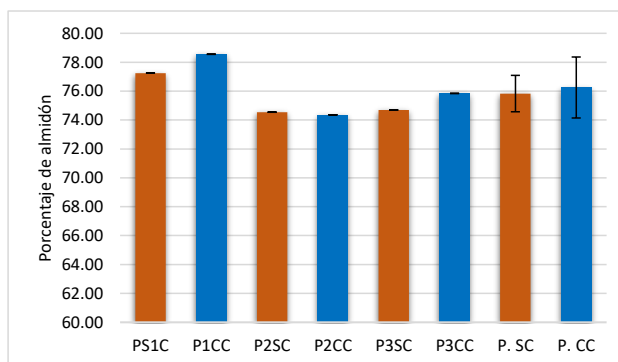
En la Tabla 31 los resultados de las semillas mostraron que en la parcela P1, la sección P1CC presentó un contenido de almidón ligeramente mayor (78.55%) en comparación con la P1SC (77.25). Para la parcela P2, tanto la parcela sin compuesto (P2SC) como la parcela con compuesto (P2CC) presentaron valores similares de contenido de almidón en las semillas analizadas (74.54% y 74.36%, respectivamente (Gráfico 17).

Tabla 17. Promedios con desviación estándar del porcentaje de almidón en el maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Promedio
Almidón	SC	77.25 ± 0.005	74.54 ± 0.005	74.69 ± 0.006	75.83 ± 1.26
	CC	78.55 ± 0.006*	74.36 ± 0.006	75.84 ± 0.006*	76.25 ± 2.11

Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

Gráfico 17. Porcentaje de almidón en los granos de maíz de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

En última parcela P3, los resultados mostraron que los granos de la parcela P3SC registraron un contenido de almidón de 74.69%, mientras que la parcela P3CC mostró un contenido ligeramente superior de 75.84%. Aunque la diferencia en el contenido de almidón entre los granos de maíz de ambas parcelas no fue estadísticamente significativa (Gráfico 16).

Los resultados obtenidos en este ensayo indican que el tratamiento con PCVE no tuvo un impacto significativo en el contenido de almidón en los granos de las parcelas de maíz estudiadas. Sin embargo, se observaron algunas diferencias leves entre las secciones tratadas y no tratadas; esto sugiere que el tratamiento con el compuesto puede tener cierta influencia en el incremento del contenido de almidón en la parcela de maíz.

7.3 Análisis químico

7.3.1 Fenoles totales

Los fenoles totales se reportan con un valor promedio de 4.22 ± 0.23 mg AG/g en semillas de maíz de las parcelas sin compuesto y 4.23 ± 0.18 mg AG/g en los granos de las parcelas con compuesto, según se observa en la tabla de datos. En general, se observa que no hay una diferencia significativa en los fenoles totales entre los granos de las parcelas sin compuesto y con compuesto (Tabla 18).

Tabla 18. Promedios con desviación estándar de fenoles totales en el maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

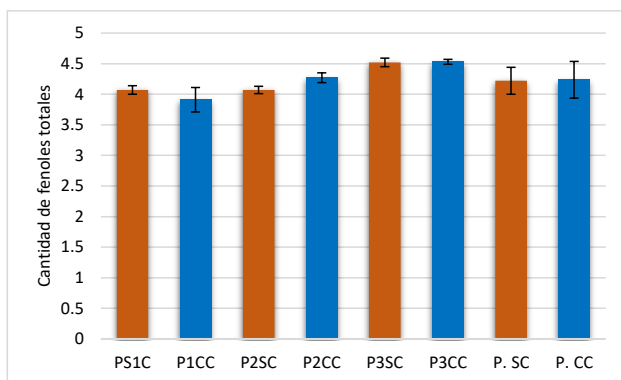
		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Promedio
Fenoles totales	SC	4.07 ± 0.07	4.07 ± 0.06	4.52 ± 0.07	4.22 ± 0.22
	CC	3.91 ± 0.2	4.27 ± 0.08*	4.53 ± 0.04	4.24 ± 0.3

Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

El análisis de los datos revela que los granos de las parcelas con compuesto (CC) presentan niveles ligeramente más altos de fenoles totales en comparación con los de las parcelas sin tratamiento (SC). Para evaluar de manera más precisa las diferencias entre los grupos, se realizó un análisis individual. La comparación indica que en estas parcelas tratadas con compuesto (P2CC y P3CC) presentan un nivel ligeramente mayor de fenoles totales con un valor de 4.27 ± 0.08 y 4.53 ± 0.04 mg AG/g en sus semillas respectivamente en comparación con la parcela sin tratamiento (P2SC y P3SC) con 4.07 y 4.51 en el orden dado, pero la única parcela que tiene una diferencia significativa por parte de los fenoles totales fue la parcela 2CC (Gráfico 18).

Esta diferencia nuevamente sugiere que los PCVE pueden tener un efecto positivo en los niveles de fenoles totales presentes en los granos de maíz. Pero hay una excepción en las parcelas, y esta es la P1SC con un resultado de 4.06 mg AG/g que presenta un nivel ligeramente mayor de fenoles totales en sus granos de maíz en comparación con la parcela con tratamiento (P1CC) 3.901. Sin embargo, es importante destacar que la diferencia es mínima (Gráfico 18).

Gráfico 18. Cantidad de fenoles totales en los granos de maíz de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

7.3.2 DPPH

Con la actividad antioxidante no se observó una diferencia significativa en la capacidad de neutralización de radicales DPPH entre las semillas de las parcelas sin compuesto y con compuesto. El análisis de los datos reveló que los granos de las parcelas CC (42.61%) y SC (42.53%) presentan niveles similares de capacidad de neutralización de radicales de DPPH. Para analizar de manera más detallada las diferencias entre los grupos, debemos analizar individualmente entre parcelas. La comparación indica que las parcelas tratadas con BR (P2CC y P3CC) presentan niveles ligeramente más altos de capacidad de neutralización de radicales DPPH, con valores de 42.65% y 45.88%, respectivamente, en comparación con las semillas de las parcelas sin compuesto (P2SC y P3SC) con valores de 41.29% y 44.50%, en el mismo orden mencionado (Tabla 19).

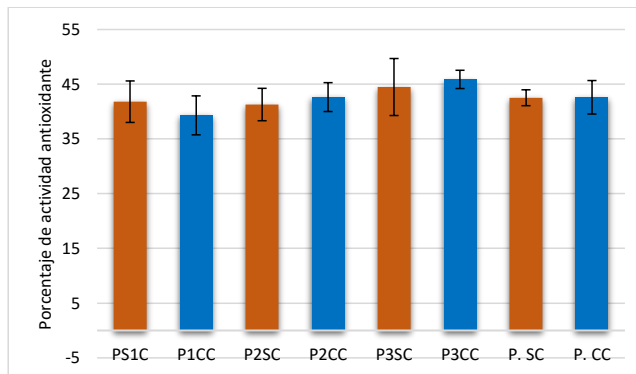
Tabla 19. Promedios con desviación estándar del porcentaje de actividad antioxidante del maíz de Zapalote chico tratado y no tratado con PVCE.

		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Promedio
Actividad antioxidante (%)	SC	41.81 ± 3.79	41.29 ± 2.96	44.49 ± 5.21	42.53 ± 1.45
	CC	39.31 ± 3.56	42.65 ± 2.64	45.88 ± 1.67	42.61 ± 3.06

Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

Estas diferencias sugieren que el compuesto PVCE puede tener un efecto positivo en la capacidad de neutralización de radicales DPPH en las semillas de maíz. Sin embargo, es importante destacar que las diferencias son mínimas y la tendencia general no es estadísticamente significativa. Una excepción en las parcelas es la Parcela P1SC, que muestra en sus granos de maíz un nivel ligeramente mayor de capacidad de neutralización de radicales DPPH con un valor de 41.81% en comparación con la parcela P1CC con un valor de 39.31%. No obstante, nuevamente se debe tener en cuenta que la diferencia es mínima y no alcanza significancia estadística (Gráfico 19).

Gráfico 19. Porcentaje de actividad antioxidante en los granos de maíz de Zapalote chico.



Nota: Las últimas dos barras son el promedio de las parcelas SC y CC respectivamente.

8 DISCUSIÓN

En este capítulo analizaremos los resultados obtenidos de los análisis físicos, químicos y bromatológicos realizados a cada una de las muestras de maíz Zapalote chico, con el objetivo de evaluar si hubo una mejora en el grano y un aumento en el rendimiento del cultivo.

8.1 Análisis físicos

En general, se observó que no hubo diferencias significativas entre el peso promedio de la mazorca de las parcelas con compuesto (CC) ($90.68 \text{ g} \pm 12.97$) y las parcelas sin compuesto (SC) ($80.39 \text{ g} \pm 20.75$) (Tablas 1 y 2).

El incremento del peso promedio que se logró obtener en las mazorcas de zapalote chico de las parcelas CC ($90.68 \text{ g} \pm 12.97$) (en un rango de valores de 34.76 a 171.77 g); resultó ser relativamente cercano al de variedades de maíz blanco como el Chuco y Cariaco que se caracterizan por ser de mayor tamaño; ya que para estas variedades González-Rodríguez *et al.* (2018) reportan un peso de 100.45 g; además, de ser cercano al peso de la variedad blanco blandito (98.9 g) que menciona Gaucho-Abarca (2014).

El estudio presentado por Cabrera-Toledo *et al.* (2019) muestra resultados del largo y ancho de mazorcas de poblaciones sobresalientes de Zapalote chico con una media de 11.32 y 3.99 cm siendo valores similares en nuestras muestras Zapalote chico tratadas y no tratadas. Pero, fueron menores en comparación con la investigación de López-Romero *et al.* (2005), debido a que sus variedades sin tratamiento tienen un promedio de 12.4 cm de largo. Pero, los datos del aumento de tamaño de la mazorca

con respecto al tratamiento exógeno de BR son similares a los obtenidos por Torres-Ruiz *et al.* (2007) con variedades híbridas fértiles y androestériles de maíz; ya que el aumento respecto a los controles fue de casi de un 1 cm, siendo un aumento similar al que tuvieron las parcelas que recibieron tratamiento con PVCE en comparación a las mazorcas control puesto que también aumentó más de un 1 cm, siendo un porcentaje del 10%.

Con estos promedios se puede observar que el largo y anchura de las semillas en los maíces CC, fueron relativamente mayores que los valores de los controles (SC); pero el promedio del grosor en las semillas es todo lo contrario, al ser menor esta característica en las semillas CC en comparación a las que no recibieron ningún tratamiento. Los valores presentados por Mauricio-Sánchez *et al.*, (2004) analizando maíces de Zapalote chico sin tratamiento de análogos de BR, sus promedios de largo, anchura y grosor fueron de 10.7 mm, 9.3 mm y 4.6 mm, siendo similares a los mostrados en los resultados CC obtenidos en los rubros de largo y ancho, pero mayores en el grosor. Asimismo, Cabrera-Toledo (2014) con variedades sobresalientes de Zapalote chico sin tratamientos de BR, mencionan valores de largo, ancho y espesor de 10.31, 8.88 y 4.86 mm; por lo que, con respecto a este trabajo los resultados obtenidos fueron relativamente mayores en el largo y anchura, pero menores en el grosor; estos ligeros aumentos se pueden deber al tratamiento con BR. Lo anterior coincide con el trabajo de Jiang *et al.* (2013) quienes usaron un mutante deficiente en BR del género *Arabidopsis*, que al inicio presentó un tamaño reducido de la semilla, pero con el tratamiento con BR aumentó claramente el peso de la semilla, el área y la proporción de longitud y anchura. Por lo que, los autores sugieren que los BR

regulan el tamaño de la semilla al coordinar el crecimiento del embrión y el integumento a través de mecanismos independientes que dependen del BR producido en cada tejido.

Con los promedios generales de los P100S (Peso de mil Semillas) se detectó que hay un aumento de la media en las semillas que recibieron el tratamiento con el análogo de BR, puesto que hay una diferencia significativamente alta de peso con más del 10% de aumento a comparación del control. Siendo que estos resultados son mayores a los presentados por Cabrera-Toledo (2014), ya que el promedio que obtuvo fue de 268.3 g; sin embargo, fueron menores a los presentados por Salinas-Moreno *et al.* (2013), ya que su valor fue de 296 g, pero aunado a esto podemos ver que si utilizamos los análogos de BR podemos aumentar el P100S de las variedades sobresalientes sin tratamiento. Según la investigación de Almanares *et al.* (1999), quienes observaron que análogos de BR tuvieron un efecto significativo en todas las variables analizadas en el cultivo de maíz; debido a que lograron un aumento en el rendimiento de aproximadamente entre un 10% a 20% al aplicar una dosis de 10 mg/ha de un análogo de BR. Este incremento los autores lo atribuyeron principalmente al aumento en el peso de 1000 gramos y al número de granos por mazorca.

El PH se trata de un indicador de la dureza del grano y de la composición del endospermo (Agama-Acevedo *et al.*, 2011). Al respecto, valores presentados por Salinas-Moreno *et al.* (2013) y Cabrera Toledo *et al.* (2019), en super variedades de Zapalote chico, tuvieron una media de 76.4 y 75.6 kg/hl en el orden dado. Estos resultados son relativamente más cercanos a los que se obtuvieron en este estudio en los granos CC con 74.94 ± 1.6 . Asimismo, el promedio de las parcelas con compuesto

cumple con la Norma de calidad para maíz nixtamalizado (NMX-FF-034/1-2002), ya que se considera que el grano debe tener una densidad mínima de 74 kg/hl. Con respecto a los datos presentados por Salinas-Moreno y Aguilar-Modesto (2010) sobre los valores de PH son similares a los granos de dureza intermedia con un valor de 75 kg/hl.

En el IF los promedios generales resultantes obtenidos de SC y CC fueron de 82% y 87% respectivamente; entonces, se considerarían suaves, ya que en esta categoría la NOM (NMX-FF-034/1-2002) incluye a aquellos granos con valores en un rango de 63-87%. Estos resultados son similares a los obtenidos por Salinas-Moreno *et al.* (2013) y Cabrera-Toledo *et al.* (2019) con variedades de Zapalote chico, debido a que sus porcentajes son de 73 y 87% conforme al orden presentado. La dureza del grano es un factor importante que indica la calidad del maíz utilizado para la producción de productos nixtamalizados. Esta característica se evalúa de forma indirecta mediante la medición de los valores de PH e IF, presentan una correlación inversa entre sí (Salinas-Moreno *et al.*, 2013); sin embargo, en el presente estudio ambos aumentaron sin ninguna relación inversa. Con base a la Norma NMX-FF-034/1-2002, las variedades de maíz de Zapalote chico investigadas, tienen una dureza suave siendo que su cocción es bastante rápida con un tiempo de 25 minutos a una temperatura de 91°C.

Todas estas pruebas físicas muestran que las semillas tratadas con BR obtuvieron relativamente mejores resultados en el aspecto físico. Debido a que el peso de los granos fue mayor cuando se utilizó un análogo de BR (Brasinolida) en comparación con el control. Este aumento en el peso de los granos puede atribuirse a la influencia en los genes responsables de la giberelina y las auxinas, las cuales tienen

efectos en la división y elongación de las células del endospermo. Además, el uso de los análogos también mejora la eficiencia de la translocación de nutrientes, lo que contribuye al incremento en el peso de los granos (Habeb & Al-Hilfy, 2018). Según la investigación de Texeira y Adam (2002), el uso de BR en el cultivo de maíz presenta un incremento de aproximadamente un 7% en el peso de la mazorca; y en el presente estudio fue mayor, ya que el aumento promedio del peso de la mazorca fue superior al 10%.

Los promedios generales de la luminosidad entre PSC y PCC fueron prácticamente similares (68.94 ± 4.35 y 68.18 ± 2.20 , respectivamente). Estos valores obtenidos fueron más altos que los presentados por Espinoza-Trujillo *et al.* (2006), quienes reportan un promedio de luminosidad de 50.6 ± 5.1 en variedades mexicanas de maíz blanco en México; pero fueron cercanos a los datos presentados por Serna-Méndez (2022), que reportó una luminosidad de 70.74. Estos valores elevados son explicados por Rodríguez-Salinas (2019), quien menciona existe una fuerte correlación negativa entre el contenido de antocianinas y los valores de luminosidad (L), saturación de color (C) y tono (h) en el grano. Esto indica que a medida que los valores de L, C y h disminuyen, el contenido de antocianinas tiende a aumentar. En otras palabras, hay una relación inversa entre el color y el contenido de antocianinas: a medida que el color se vuelve más oscuro, intenso y con un tono más pronunciado, se observa un mayor contenido de antocianinas.

La intensidad del color en los granos nos dice que esta variable croma (C) se relaciona con el índice de saturación del color, que con valores elevados en colores puros y valores bajos en colores mate o de menor pureza de color (Salinas-Moreno *et*

al, 2011). Siendo que los valores obtenidos fueron mayores en las parcelas tratadas con BR con un valor de 11.05 a diferencia de las parcelas control con un promedio de 10.43, siendo una diferencia no mayor a 0.61, estos valores son cercanos a los obtenidos por Rodríguez-Salinas *et al*, (2019) con un 12.41, pero siendo un poco alejado a los presentados por Espinoza-Trujillo *et al* (2006) siendo 15.2, siendo que nuestros valores fueron más cercanos a los presentados por Moreira *et al* (2015) puesto sus resultado son de 10.47, ya con nuestros resultados con los anteriores investigadores son más cercanos a cromas de semillas anaranjadas y amarillas. Al respecto, se ha observado que la intensidad del color se relaciona más con el índice de saturación del color, que con valores elevados en colores puros y valores bajos en colores mate o de menor pureza de color (Salinas-Moreno *et al.*, 2011).

En la tabla 12 En promedio el ángulo de color de las parcelas SC fue de $92.90^{\circ} \pm 0.77$ y CC de $94.70^{\circ} \pm 0.98$; el tono en todas las semillas de las parcelas tratadas con BR fue mayor a las parcelas control, ya que los valores obtenidos con promotores de crecimiento fueron de $93.78^{\circ} \pm 4.44$, $95.52^{\circ} \pm 2.29$, 94.69 ± 3.0 de P1, P2 y P3 respectivamente, a diferencia de los control que fueron menores, $93.06^{\circ} \pm 3.70$, $92.88^{\circ} \pm 2.66$, 92.18 ± 1.70 de las parcelas 1, 2 y 3 en orden de aparición Cabe mencionar que en la parcela 1 existe una leve diferencia en el tono, aunque sigue siendo mayor en granos de la parcela con compuesto, la parcela CC tiene un valor de $93.78^{\circ} \pm 4.44$ así como $93.06^{\circ} \pm 3.70$ solo con una diferencia de 0.72° , siendo que en las otras fue mayor esta diferencia; es pertinente resaltar que la desviación estándar en las parcelas con compuestos es más amplia que en las no tratadas (Tabla 12).

Tomando en cuenta el aspecto del color de los granos, en general se observó un tono blanco a simple vista, y al analizarlo conforme al ángulo de color obtenido por el colorímetro los valores de CC y SC fueron de 94.70° y 92.57. Los valores obtenidos fueron cercanos a los reportados por Espinoza-Trujillo *et al.* (2006) y Rodríguez-Salinas *et al.* (2019) (95.4° y 85.71°, respectivamente), y en esos trabajos se registran a estos ángulos como valores de granos blancos. Los valores de h° (tono del color) reflejan la percepción visual, revelando que el maíz blanco tiende hacia tonalidades naranjas. En comparación, las poblaciones de maíz con pigmentaciones distintas presentan ángulos tonales más bajos y menor luminosidad (L*), respecto al maíz blanco con un valor de 68.52 ± 2.09 (nuestra variedad analizada). Las poblaciones rojas (39.19), morada (53.83) y variegada (49.12) indican una menor transmisión de luz en contraste con el maíz blanco, que permite un mayor paso de luz (Serna-Méndez, 2022).

8.2 Análisis bromatológicos

Los datos obtenidos conforme a la humedad de las distintas parcelas tratadas y no tratadas presentaron promedios generales de 16.89% y 16.12%, respectivamente; a diferencia del trabajo de Cabrera-Toledo *et al.* (2019), quienes en los granos de Zapalote chico reportan un contenido de humedad entre 11.4 y 12.8%. Como se puede notar los resultados de humedad son mayores a los promedios estándar, esto puede ser por el pronto uso del maíz después de la cosecha; ya que la FAO menciona que cuando se cosecha el maíz, este contiene un nivel de humedad de alrededor del 20-25%, lo cual es demasiado alto para almacenarlo adecuadamente. Con ello para disminuir la humedad de los granos, se debe realizar un secado natural al aire libre o un secado artificial. Este factor de humedad relativamente alto es de suma importancia

dado que la humedad del grano es un factor crucial, ya que si su nivel supera el 15.5% durante el almacenamiento, existe el riesgo de que se desarrollen hongos y se generen pérdidas significativas (Méndez-Montealvo *et al.*, 2005); por esta razón se debió hacer un mejor secado previo de las mazorcas antes de su análisis.

Los promedios generales de cenizas de las parcelas (SC 1.56% y CC 1.67%) son ligeramente más altos a los presentados por la FAO; debido a que esta organización menciona que la concentración de cenizas en el grano de maíz es aproximadamente de 1.3%. Al respecto, en otros estudios como los realizados por Méndez-Montealvo *et al.* (2005), obtuvieron valores entre 1.1 a 1.7% para maíces híbridos mexicanos; asimismo, Cázares-Sánchez *et al.* (2015), con variedades de poblaciones nativas de Yucatán, reportaron promedios de ceniza que fluctuaron entre 1.13 y 1.84 %. Por lo que, los valores del presente trabajo se encuentran dentro de los rangos de valores mostrados en estos análisis. También, con estos resultados podemos observar que la variedad sin tratamiento de Zapalote chico cuenta con un promedio alto o similar en comparación al de otras variedades, y que este promedio se ve aumentado en las muestras tratadas con BR, con una diferencia de 0.108%.

El contenido de extracto etéreo o grasas de las muestras analizadas cuenta con un promedio de 6.18% respecto a SC y con un 5.59% CC; estos porcentajes son mayores respecto a los resultados obtenidos por Salinas Moreno *et al.* (2013), quienes reportan valores entre 4.7% y 5.3%, para variedades de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales del mismo estado de Oaxaca. Al compararlos con variedades híbridas mexicanas estudiadas por Méndez-Montealvo *et*

al. (2005), entran en el rango de valores donde la tasa de variación osciló entre el 4.0% y el 7.0%.

Con base a Wang y White (2019), existen pequeñas diferencias en el porcentaje de aceite presente en el maíz, que generalmente se encuentran en un rango de 4.0% a 4.9%. Sin embargo, no existen relaciones o conexiones entre el contenido de aceite y las fluctuaciones en la temperatura, las precipitaciones o la humedad. Estas variaciones tampoco se correlacionan con las tasas de fertilización. Pero, como se puede observar hay una disminución de grasas en los maíces tratados con los BR; esto sucede de manera similar en el trabajo presentado por Sosa-Montes *et al.* (2021), en donde trabajaron con 3 genotipos de canola (*Brassica napus* L.) producidos con y sin aplicación de BR, teniendo una diferencia mayor de lípidos (0.9%) en los que no recibieron un tratamiento con BR; lo anterior, coincide con la presente investigación, teniendo mayor cantidad de grasas las semillas no tratadas, pero con una diferencia menor (0.59%) entre los promedios generales de las semillas SC y CC. En contraste, en la investigación de Zhang *et al.* (2022), el tratamiento con BR tuvo un aumento en la cantidad de grasas en el grano de maíz; de igual manera en el análisis realizado por Vidya y Ram (1998), encontraron que el uso de análogos de BR en cacahuates (*Arachis hypogaea* L.) incrementó el contenido de grasa en los granos. Al respecto, en esta investigación solo la parcela 3 tratada con PVCE (CC3) presentó un mayor contenido de lípidos que la respectiva parcela sin BR (SC3).

Asimismo, se encontró que los promedios resultantes en proteínas de las parcelas fueron mayores en aquellas CC (10.91 % \pm 1.13) y menores en las parcelas SC (9.07 % \pm 1.47); también, las parcelas tratadas con PVCE tuvieron un rango menor

de valores, por lo cual, fueron más estables. Estos resultados entran y rebasan los parámetros reportados por la FAO, la cual indica que, en variedades convencionales la cantidad de proteínas presente en el grano puede variar entre el 8 a 11% de su peso total, y la mayor parte de estas proteínas se encuentran en el endospermo. En adición, los valores que se encontraron fueron muy similares a los presentados por Salinas-Moreno *et al.* (2013), ya que reportaron valores que oscilaron entre 9.5 a 10.4% en variedades de maíz azul de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. En un estudio con variedades de diversos lugares de México, presentado por Méndez-Montalvo *et al.* (2005), la concentración de proteínas osciló entre 8.3 a 11.3%; las variedades más cercanas a las que se investigaron en este estudio son las estudiadas por Cázares-Sánchez *et al.* (2014), las cuales son nativas de Yucatán, y presentaron valores de 9.35 a 12.50%.

El tipo de grano ejerce un mayor efecto sobre la cantidad total de proteína que la característica conocida como QPM (Maíz de alta calidad de proteína). No obstante, se observa que ciertos materiales con endospermo harinoso exhiben un contenido de proteína considerablemente alto. Por consiguiente, se deduce que la composición genética de la variedad de maíz resulta más relevante en lo que respecta a este componente (Méndez-Montalvo *et al.*, 2005). Otro factor que influye en el contenido de proteína son los tratamientos “fitoquímicos” realizados al maíz, que han dado resultados de 9.52 a 9.78%, a diferencia de semillas control utilizadas para la siembra que presentaron un valor del 7.35% (Hernández-Reyes *et al.* 2019). Lo anterior, se complementa con la investigación realizada por Zhang *et al.* (2022), donde hubo un aumento de proteína en los granos de maíz gracias al tratamiento con BR; así como,

por el estudio de Sosa-Montes *et al.* (2021), que, con tres variedades de canola tratadas con BR, mostraron que el principal factor que contribuyó al aumento de contenido de proteínas fue la aplicación de un análogo de BR, el cual resultó en un aumento del 2.1% en general. Este incremento fue principalmente atribuido a un genotipo, que experimentó un aumento del 4.6%. La interacción entre los genotipos y los brasinoesteroides fue altamente significativa con relación a la variable proteína cruda.

Con el tratamiento de BR en las semillas de maíz Zapalote chico tuvimos un aumento en el promedio general de proteínas con un incremento del 16% en comparación de las semillas control, siendo que este análogo de brasinoesteroides tuvo una influencia benéfica en el aumento proteico. En general, se puede deducir que las parcelas tratadas con el compuesto PVCE tienden a mostrar un mayor contenido de proteínas en los granos de maíz en comparación con las parcelas sin tratamiento.

El contenido de almidón general presentó una variación en el maíz SC de 74.54 a 77.25% y en la variedad tratada de 74.36 a 78.55%; estos valores son similares, pero son mayores a los presentados por la FAO, con aproximadamente el 72-73% del peso total del grano. La investigación presentada por Méndez-Montalvo *et al.* (2005) con híbridos y variedades de maíz sin tratamiento de BR, reporta un rango de 69.1 a 86% y en esta se menciona que las variedades de maíz que contengan un mayor porcentaje de almidón contribuyen a las propiedades reológicas de los productos, por tanto, se puede obtener una masa con mejores características reológicas; esto, a su vez, resultaría en tortillas con una textura de mayor calidad.

Se ha observado una notable tendencia en el maíz, donde a medida que disminuye la cantidad de almidón en el endospermo, aumenta la concentración de proteínas. Este fenómeno está relacionado con el tipo de endospermo presente en el maíz. En particular, los endospermos de tipo vítreo presentan una mayor cantidad de proteínas en comparación con los endospermos de tipo harinoso, los cuales contienen una mayor proporción de almidón (Agama-Acevedo *et al.*, 2013). Pero, Zhang *et al.*, (2022) mencionan que el tratamiento con BR aumenta el contenido de almidón en los granos. Sugiriendo que SPGP4 funciona para mejorar el rendimiento del grano y la calidad del maíz. Siendo la misma situación en casi todas las parcelas con un incremento mayor a 1.5% comparándolo con el control. Además, de que hubo un aumento proteico en las semillas tratadas con PVCE a diferencia de lo mencionado por Agama-Acevedo.

8.3 Análisis químicos

La cantidad de fenoles totales presentes en las semillas de maíz tratadas y no tratadas fue relativamente similar en los promedios generales, siendo más alto en semillas CC con una leve diferencia de 0.017 mg AG/g de extracto seco, siendo estadísticamente no significativo. Lo anterior, fue relativamente similar a los resultados obtenidos por Serna-del Cerro (2011), puesto que los tratamientos con BR han llevado a una leve reducción en los niveles de fenoles totales en las lechugas tratadas en comparación con las lechugas del grupo de control, pero con las escarolas, los diferentes tratamientos han provocado un aumento tanto de la actividad antioxidante total como de los fenoles totales; mientras que Briceño-de Lara (2014) encontró niveles más altos de fenoles solubles totales que se obtuvieron en los tratamientos combinados

con dos distintas combinaciones de fitohormonas con un aumento del 50.5% y 20.5% en comparación con el tratamiento único. Se ha observado que el uso de PVCE aumentan la actividad de enzimas involucradas en el metabolismo secundario, como la fenilalanina amoníal (1er enzima en la biosíntesis de flavonoides) y la 3-O-glucosiltransferasa de flavonoides. Estas enzimas desempeñan un papel en la modulación del metabolismo de los fenilpropanoides. En consecuencia, el uso de BR promueve la síntesis de compuestos fenólicos (Babalik, 2021).

En la actividad antioxidante en las semillas de maíz tratadas y no tratadas con BR tuvieron una similar actividad antioxidante, pero siendo levemente mayor la actividad antioxidante en las semillas con compuesto, esto se debe a la aplicación exógena del análogo de BR; como lo menciona Raghu y Ram-Ro (2016), quienes observaron que la aplicación de brasinoesteroides generó un aumento en la capacidad de barrido del radical DPPH en la planta del género *Tinospora*. Puesto que a medida que se incrementa la concentración de brasinoesteroides, se observó una mejora en la capacidad de barrido del radical DPPH. Esto se debe a que los BR estimulan enzimas antioxidantes y promueven la síntesis de compuestos fenólicos y flavonoides. Además, ayudan a las plantas a desarrollar resistencia al estrés al eliminar ROS (Rattan *et al.*, 2020).

Los porcentajes generales de %ERL obtenidos fueron de 42.611 en PCC y 42.530 con PSC; estos valores son similares a los obtenidos por López-Martínez y García-Galindo (2009), quienes en la variedad analizada de maíz blanco obtuvieron valores entre 38 a 45% de capacidad antirradical; y fueron mayores en la actividad antirradical con respecto al tratamiento de BR reportado por Rattan *et al.* (2020) con un valor de

38%, así como, por los presentados por Mex-Álvarez *et al*, (2013) que obtuvo un 39.5%.

Todas estas mejoras ya sean altas o bajas en los aspectos analizados de la mazorca y semillas de maíz, es gracias a los mecanismos de acción en la utilización de BR. Esto mismo menciona Nuñez (1999), que los hallazgos respaldan la efectividad de los análogos de BR como estimuladores del crecimiento y el rendimiento agrícola. Sin embargo, Sasse (1997) plantea que los efectos de los BR en el campo pueden ser de corta duración o inconsistentes. Por lo tanto, se sugiere la aplicación de compuestos de mayor persistencia que puedan transformarse en brasinoesteroides activos dentro de las plantas, con el fin de obtener resultados más consistentes y prolongados.

9 CONCLUSIONES

- El tratamiento con el PCVE tuvo un efecto benéfico en la mejora física, en las semillas tratadas presentaron un aumento de tamaño en el largo y anchura, así como en peso con respecto al control, siendo por ende un aumento de en el peso de hectolitro.
- El tratamiento con el PCVE provoco la disminución de la dureza del grano y un aumento del peso hectolitro, dándole mejores características para el uso en el nixtamal.
- El PCVE otorgo una mayor cantidad de minerales, almidón y proteínas al grano, respecto al control, dándole mejores características nutrimentales y organolépticas.
- El tratamiento con PCVE posee una mayor intensidad de color
- El maíz tratado con PCVE presentó una mayor actividad antioxidante, así como en la cantidad de fenoles totales.
- El uso de PCVE (SPGP4) en las plantaciones de maíz Zapalote chico pueden otorgar mejores características físicas y aumentos proteicos, lo que podía traducirse en un aumento en la producción de granos, por lo tanto, en las ganancias económicas con cada cosecha.

10 RECOMENDACIONES

- Los maíces tratados con el análogo SPGP4 pueden ser una muy buena opción para la producción de alimentos de cualquier índole ya que brinda una alta cantidad de proteínas, aumentos de minerales y almidón además que en otros análisis nos dice que aumenta la cantidad de grasas, siendo un cereal óptimo para su uso comercial.
- Realizar evaluaciones en otros cultivos de diversas variedades de maíz en México con el uso del análogo SPGP4.
- Realizar otros análisis específicos como determinar la calidad de la proteína, micronutrientes y minerales específicos presentes en la semilla, así como monitorear el contenido en vitaminas y carotenoides.
- Realizar un análisis de las características nutrimentales y organolépticas del nixtamal, así como de la masa para monitorear los subproductos de estas semillas.
- Continuar con la evaluación de las cosechas tratadas con el promotor SPGP4 en futuras siembras, para saber si hay un mayor aumento en características bromatológicas, físicas y químicas y ver un efecto de otras variables como el suelo, riego etc.

11 BIBLIOGRAFIA

- Acosta, R. (2009). Reseña "El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. Cultivos Tropicales, 30(2), 113–120. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v30n2/ctr160209.pdf>
- Agama-Acevedo, E., Juárez-García, E., Evangelista-Lozano, S., Rosales-Reynoso, O. L., y Bello-Pérez, L. A. (2013). Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis. *Agrociencia*, 47(1), 01-12. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952013000100001
- Akira, S., & Shozo, F. (1997). Studies on biosynthesis of brassinosteroids. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 61(5), 757-762. <https://doi.org/10.1271/bbb.61.757>
- Alcántara-Cortés, J. S., Acero Godoy, J., Alcántara Cortés, J. D., & Sánchez Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32), 109-129. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-24702019000200109&script=sci_arttext
- Almenares, J. C., Cuñarro, R., Ravelo, R., Fitó, E., Moreno, I., y Núñez, M. (1999). Influencia de diferentes dosis y momentos de aplicación del Biobras-16 en el cultivo del maíz (*Zea mays*). *Cultivos tropicales*, 20(3), 77-81. <https://ediciones.inca.edu.cu/files/anteriores/1999/3/CT20314.pdf>
- B. Vidya Vardhini, & Ram, S. (1998). Effect of brassinosteroids on growth, metabolite content and yield of *arachis hypogaea*. 48(6), *Phytochemistry* 927–930. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(97\)00710-3](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(97)00710-3)
- Babalik, Z. (2021). Increasing of phenolic compounds by brassinosteroid applications in immobilized cell suspension cultures of *Vitis vinifera* L. cv. Cinsault. *Journal of Agricultural Sciences*, 27(3), 298-303. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ankutbd/article/674860>
- Balbuena-Hernández, L., Miranda-Arámbula, M., Merino-Montiel, P., Carrasco-Carballo, A., & Sandoval-Ramírez, J. (2023). 22-Oxocholestanes SPGP4 and

- SPGP8: in Silico and in Vitro Study as Activators of Plant Growth Promotion. *Chemistry & biodiversity*, 20(5).
<https://doi.org/10.1002/cbdv.202201243>
- Bai, Y., Du, F., Bai, Y., & Liu, H. (2010). Determination strategies of phytohormones: recent advances. *Anal. Methods*, 2010(2), 1867–1873.
<https://doi.org/10.1039/c0ay00471e>
 - Benítez-Cardoza, C., (2006). El maíz: origen, composición química y morfología. *Materiales Avanzados*, 2006, Núm. 7, 15-20.
<https://www.iim.unam.mx/revista/pdf/numero07.pdf#page=19>
 - Borjas-Ventura, R., Julca-Otiniano, A., & Alvarado-Huamán, L. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 150-164.
<https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080200150>
 - Briceño de Lara, Z. C. (2014). Aproximación proteómica y metabolómica de la producción de metabolitos secundarios en líneas celulares elicidadas de *Solanum Lycopersicum*. Proyecto de investigación. Digitum.
<http://hdl.handle.net/10201/39266>
 - Burbano-Orjuela, E. A. (1991). Alternativas para estimar el contenido de humedad del grano de frijol en el campo (*Phaseolus vulgaris* L.). CIAT. http://ciat-library.ciar.org/articulos_ciat/digital/CIAT_COLOMBIA_000209_Alternativas_para_estimar_el_contenido_de_humedad_del_grano_de_frijol_en_el_.pdf
 - Cabrera-Soto, M. L., Salinas-Moreno, Y., Velázquez-Cárdelas, G. A., & Espinosa Trujillo, E. (2009). Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. *Agrociencia*, 43(8), 827-839. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30215547005>
 - Cabrera-Toledo, J. M., Carballo, A. C., Contreras, J. A. M., de los Santos, G. G., Huerta, H. V., & González, M. C. (2019). Valoración de granos de maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote Chico. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6(1), 1-17.
<https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/download/126/113>

- Cázares-Sánchez, E., Chávez-Servia, J. L., Salinas-Moreno, Y., Castillo-González, F., & Ramírez-Vallejo, P. (2015). Variación en la composición del grano entre poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) nativas de Yucatán, México. *Agrociencia*, 49(1), 15-30. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952015000100002&script=sci_arttext
- Cázares-Sánchez, E., Chávez-Servia, J. L., Salinas-Moreno, Y., Castillo-González, F., & Ramírez-Vallejo, P. (2015). Variación en la composición del grano entre poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) nativas de Yucatán, México. *Agrociencia*, 49(1), 15-30. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952015000100002&script=sci_arttext
- CEDRSSA (2020) Situación del sector agropecuario en México. Cámara de Diputados. http://www.cedrssa.gob.mx/post_situacionin_del_n-sector_agopecuario-n- en mn-xico.htm
- CEDRSSA. (2020) Impacto de los productos agrícolas básicos. Cámara de Diputados. http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/8Impacto_Productos_Agicolas_basicos.pdf
- Ciura, J., & Kruk, J. (2018). Phytohormones as targets for improving plant productivity and stress tolerance. *Journal of Plant Physiology*. 229, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.06.013>
- CONABIO. (2020). *Zapalote Chico | Biodiversidad Mexicana*. Biodiversidad Mexicana. https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/gupo-tropicalesp/Zapalote_Ch
- Coronado, M., Vega y León, S., Gutiérrez, R., Vázquez, M., & Radilla, C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista chilena de nutrición*, 42(2), 206-212. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182015000200014>
- Corona-Ramírez, I. (2016) El desarrollo de la agricultura y el impacto que tendría en las finanzas públicas de México. CEFP. https://cefp.gob.mx/formulario/Trabajo_12a.pdf

- Corona-Terán, J., López-Orona, C. A., Romero-Gómez, S. J., & Martínez-Campos, A. R. (2017). Caracterización física, contenido de fenoles y capacidad antioxidante de maíces nativos (*Zea mays* L.) del Estado de México. *ITEA Información Técnica Económica Agraria*, 113(1), 5-19. <http://doi.org/10.12706/itea.2017.001>
- De los Santos Ramos, M., Romero Rosales, T., & Bobadilla Soto, E. E. (2017). Dinámica de la producción de maíz y frijol en México de 1980 a 2014. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 439. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.23608>
- de Teresa Galván, C., Barrilao, R. G., García, M. C., Ochoa, J., & Wilhelmi, J. O. (2008). Antioxidantes y ejercicio físico: funciones de la melatonina. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 1(2), 61-72. <https://www.redalyc.org/pdf/3233/323327655004.pdf>
- Duarte-Almeida, J. M., Santos, R. J. D., Genovese, M. I., & Lajolo, F. M. (2006). Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema beta-caroteno/ácido linoléico e método de seqüestro de radicais DPPH•. *Food Science and Technology*, 26, 446-452. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000200031>
- Espinosa-Trujillo, E., del Carmen Mendoza-Castillo, M., & Castillo-González, F. (2006). Diversidad fenotípica entre poblaciones de maíz con diferentes gados de pigmentación. *Revista Fitotécnica Mexicana*, 29 (Especial 2), 19-19. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61009804>
- Fahad, S., Hussain, S., Bano, A., Saud, S., Hassan, S., Shan, D., Faheem Ahmed Khan, Fahad Shahbaz Khan, Chen, Y., Li, V. C., Muhammad Naveed Tabassum, Chun, M., Afzal, M., Jan, A., Naqib, M., & Huang, J. C. (2014). Potential role of phytohormones and plant growth-promoting rhizobacteria in abiotic stresses: consequences for changing environment. *Environmental Science and Pollution Research*. 22(7), 4907–4921. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3754-2>
- FAO (1993) Composición química y valor nutritivo del maíz. Fao.org. <https://www.fao.org/3/t0395s/t0395s03.htm>

- FAO (1993) El maíz en la nutrición humana. Fao.org. <https://www.fao.org/3/t0395s/T0395S02.htm>
- FAO (1993) Tecnología postcosecha: la preelaboración. FAO.org. <https://www.fao.org/3/T0395S/T0395S05.htm#:~:text=El%20sistema%20mecanizado%20no%20s%20lo,18%20al%2024%20por%20ciento.>
- Fuentes-López, L. (2012) Comparación de cualidades nutricionales de once variedades de maíz. [Tesis profesional, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro] Repositorio UAAAN. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/494/62151s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fujioka, S., & Sakurai, A. (1997). Biosynthesis and metabolism of brassinosteroids. *Physoiogia Plantar* 100(3), 710–715. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb03078.x>
- Galicia, L., Miranda, A., Gutiérrez, M.G.; Custodio, O., Rosales, A.; Ruiz, N.; Surles, R., Palacios, N. (2012) Laboratorio de calidad nutricional de maíz y análisis de tejido vegetal: Protocolos de laboratorio. CIMMYT. <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1349/97125.pdf>
- Galina-Hidalgo, M. Á. (2018). Estrés oxidativo y antioxidantes. *Avances en investigación Agropecuaria*, 22(1), 29-46. <https://www.redalyc.org/journal/837/83757421004/83757421004.pdf>
- García-Campos, A. U., Cruz-Monterrosa, R. G., Rayas-Amor, A. A., Jiménez-Guzmán, J., Fabela-Morón, M. F., de la Paz Salgado-Cruz, M., ... & Díaz-Ramírez, M. (2020). Caracterización físico-química de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México. *Agro Productividad*, 13(7). <https://revista-agoproductividad.org/index.php/agoproductividad/article/view/1728>
- García-Jiménez, A., Vázquez Ch. L. (2016). Secado de maíz, propiedades del grano: resumen. *Investigación Y Desarrollo En Ciencia Y Tecnología*. 1(2), 73–77. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/1/14.pdf>
- García-Lara, S., Chuck-Hernández, C., & Serna-Saldívar, S. O. (2019). Development and Structure of the Corn Kernel. *Corn: Chemistry and Technology*. 147–163. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811971-6.00006-1>

- Gaucho-Abarca, E. F. (2014) CARACTERIZACIÓN AGRO-MORFOLOGICA DEL MAÍZ (*Zea mays* L.) DE LA LOCALIDAD SAN JOSÉ DE CHAZO. CORE.org. <https://core.ac.uk/download/pdf/234574936.pdf>
- Golik, S., Larran, S., Gerard, G. y Fleitas, M. C. (2020) Maíz: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química. Simón M.R. y Golik S. I. Cereales de verano. Editorial de la Universidad de La Plata, https://www.researchgate.net/profile/Maria-Simon-8/publication/346045854_cereales_de_verano_2018/links/5fb83e7f299bf104cf6556e4/cereales-de-verano-2018.pdf#page=10
- González-Jacome, A. (2017) Maíz y alimentación. Historia breve de un largo viaje. Revista de Geografía Agrícola. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2017.59.007>
- González-Rodríguez, J. C., Torres-Rodríguez, J. A., Reyes-Pérez, J. J., González-Gómez, L. G., Jiménez-Pizarro, M., Boicet-Fabre, T. & Ramírez-Arrebato, M. Á. (2018). Respuesta agronómica de dos variedades de maíz blanco (*Zea mays*, L.) a la aplicación de QuitoMax, Azofert y Ecomic. *Biotecnía*, 20(1), 3-7. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=672971085001>
- Gorriti-Gutiérrez, A., Acevedo, J. A., Ballarte, L. N., Teixeira, B. J., Llajarun, H. P., Aquisé I. S., & Jacobo, F. Q. (2009). Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays* L.): Método de extracción. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8(6), 509-518. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85617461006>
- Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J., & Vera-Nuñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1261-1274. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342012000600015&script=sci_arttext
- Grande-Tovar, C. D., & Orozco Colonia, B. S. (2013). Producción y procesamiento del maíz en Colombia. *Revista Guillermo de Ockham*, 11(1), 97-110. <https://doi.org/10.21500/22563202.604>

- Guacho Abarca, E. F. (2014). Caracterización agro-morfológica del maíz (*Zea mays* L.) de la localidad San José de Chazo (Tesis profesional, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/3455>
- Gustavo Eduardo Gudesblat, & Russinova, E. (2011). Plants grow on brassinosteroids. 14(5), 530–537. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2011.05.004>
- Habeeb, A. J., & Al-Hilfy, I. H. (2018). Role of brassinolide and spraying stages in *Zea mays* plant. *Innovaciencia*, 6(2), 1-8. <https://doi.org/10.15649//2346075X.474>
- Hernández, C., Rodríguez, Y., Niño, Z., & Pérez, S. (2009). Efecto del Almacenamiento de Granos de Maíz (*Zea mays*) sobre la Calidad del Aceite Extraído. *Hernández Información Tecnológica*, 20(4), 21–30. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4085it.08>
- Hernández Silva, Eduardo, & García-Martínez, Ignacio. (2016). Brasinoesteroides en la agricultura. I. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(2), 441-450. Recuperado en 13 de julio de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000200441&lng=es&tlng=es.
- Hernández-Reyes, B. M., Rodríguez-Palacio, M. C., Castilla-Hernández, P., Sánchez-Robles, J., Vela-Correa, G., & Schettino-Bermúdez, B. (2019). Uso potencial de cianobacterias como biofertilizante para el cultivo de maíz azul en la Ciudad de México. *Revista latinoamericana de biotecnología ambiental y algal*, 10(1), 13-27. https://www.researchgate.net/profile/Monica-Cristina-Rodriguez-Palacio/publication/333458447_Uso_potencial_de_cianobacterias_como_biofertilizante_para_el_cultivo_de_maiz_azul_en_la_Ciudad_de_Mexico/links/5cef2367a6fdcc8475f64e85/Uso-potencial-de-cianobacterias-como-biofertilizante-para-el-cultivo-de-maiz-azul-en-la-Ciudad-de-Mexico.pdf
- Hernández-Silva, E., & García-Martínez, I. (2016). Brasinoesteroides en la agricultura. II. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(2), 451-462. Recuperado en 13 de julio de 2023, de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000200451&lng=es&tlng=es

- Hernández-Trejo, A., Estrada Drouaillet, B., Rodríguez-Herrera, R., García Giron, J. M., Patiño-Arellano, S. A., & Osorio-Hernández, E. (2019). Importancia del control biológico de plagas en maíz (*Zea mays* L.). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(4), 803-813. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1665>
- Hopkins, C. G., Smith, L. C., & East, E. M. (1974). The Structure of the Corn Kernel and the Composition of Its Different Parts. 33–63. <https://doi.org/10.2135/1974.seventygenerations.c2>
- International Organization for Standardization (1997) Native starch - Determination of starch content - Ewers polarimetric method (10520:1997(E)). <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/18589/9792df51c705402eb683844ace7a91db/ISO-10520-1997.pdf>
- Intriago-Defaz, I., & Torres, J. R. (2018). *Efecto de la densidad y arreglo de siembra en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz (Zea mays L.)* (Doctoral dissertation, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano). <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6323>
- Isla-Jiménez, C. (1994) El abasto de maíz en Tlalpujahua: pósito y alhóndiga. *Dimensión Antropológica*. 1(2), <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/dimension/article/view/10606/11378>
- Iturbe, F., Sandoval, J. (2023). *Análisis de Alimentos. Fundamentos y Técnicas*. UNAM, https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/14545/mod_resource/content/1/Análisis%20de%20alimentos%20fundamentos%20y%20técnicas.pdf
- Jiang, W. B., Huang, H. Y., Hu, Y. W., Zhu, S. W., Wang, Z. Y., & Lin, W. H. (2013). Brassinosteroid regulates seed size and shape in *Arabidopsis*. *Plant physiology*, 162(4), 1965-1977. <https://doi.org/10.1104/pp.113.217703>
- Kwami-Adom, K., Sorrells, M. E., & Liu, R. (2003). *Phytochemical Profiles and Antioxidant Activity of Wheat Varieties*. 51(26), 7825–7834. <https://doi.org/10.1021/jf030404l>

- Liu, J., Zhang, D., Sun, X., Ding, T., Lei, B., & Zhang, C. (2017). Structure-activity relationship of brassinosteroids and their agricultural practical usages. *Steroids*, 124, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.steroids.2017.05.005>
- Lizarazo, J., Muñoz, D., & Díaz, L. (2015). Estudio fitoquímico y actividad antioxidante de la madera de Piper eriopodon (piperaceae). *Revista Ciencia: Desarrollo e Innovación*, 1(1). <https://revistas.udca.edu.co/index.php/rcdi/article/view/505>
- López Romero, Gustavo, Santacruz Varela, Amalio, Muñoz Orozco, Abel, Castillo González, Fernando, Córdova Téllez, Leobigildo, & Vaquera Huerta, Humberto. (2010). Perfil isoenzimático de maíces nativos del istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. I. Caracterización de grupos. *Revista fitotecnia mexicana*, 33(1), 1-10. De http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802010000100003&lng=es&tlng=es
- López-Martínez, L. X., & García-Galindo, H. S. (2010). Actividad antioxidante de extractos metanólicos y acuosos de distintas variedades de maíz mexicano. *Nova scientia*, 2(3), 51-65. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-07052010000100005&script=sci_abstract&tlng=pt
- López-Romero, G., Santacruz-Varela, A., Muñoz-Orozco, A., Castillo-González, F., Córdova-Téllez, L., & Vaquera-Huerta, H. (2023). Caracterización morfológica de poblaciones nativas de Maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia*, 30(5), 284–290. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000500008
- López-Romero, G., Santacruz-Varela, A., Muñoz-Orozco, A., Castillo-González, F., Córdova-Téllez, L., & Vaquera-Huerta, H. (2005). Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia*, 30(5), 284-290. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-18442005000500008&script=sci_arttext

- Mansilla, P. S. (2018). Evaluación del valor nutricional de maíces especiales (*Zea mays* L.): Selección para calidad agroalimentaria. Conicet.gov.ar. <http://hdl.handle.net/11336/89302>
- Manuel, J., Toledo, C., Carballo Carballo, A., Apolinar, J., Contreras, M., García De Los Santos, G., Vaquera Huerta, H., & Cabrera González, M. (2019). Valoración de granos de maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6(1), 1–17. https://rmae.voaxaca.tecnm.mx/wp-content/uploads/2020/11/1-RMAE_2019-13-Maiz-To-edit.pdf
- Marín, G. (2010). Historia verdadera del México profundo. Toltecatoytl. <http://toltecatoytl.org/libros/Hist.%20verdadera%20del%20Mex.%20profun%20-%20Guillermo%20Marin.pdf>
- Martínez-Valverde, I., Periago, M. J., & Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 50(1), 5-18. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222000000100001
- Mauricio-Sánchez, R. A., de Dios Figueroa-Cárdenas, J., Taba, S., de la Luz Reyes-Vega, M., Rincón-Sánchez, F., & Mendoza-Galván, A. (2004). Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(3), 213-213. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61027301>
- Méndez-Montalvo, G. J., Solorza-Feria, J., Velásquez del Valle, M., Gómez-Montiel, N., Paredes-López, O. & Bello-Pérez, L. A. 2005. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Revista Agociencia*, 39(3): 267–274. <https://www.agociencia-colpos.org/index.php/agociencia/article/download/390/390>
- Mercado-Mercado, G., Rosa Carrillo, L. D. L., Wall-Medrano, A., López Díaz, J. A., & Álvarez-Parrilla, E. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición hospitalaria*, 28(1), 36-46. <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2013.28.1.6298>

- Mex-Alvarez, R. M. J., Bolívar-Fernández, N. J., Garma-Quen, P. M., Tut-Heredia, J., & Romero-Guillén, K. I. (2013). Actividad antioxidante de cinco variedades de maíz cultivadas en Campeche, México. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 12(6), 558-571. <https://www.redalyc.org/pdf/856/85629226001.pdf>
- Morales F. & CIMMYT (2020) La historia de la Revolución Mexicana a través del maíz. Divulgación-CIMMYT. <https://idp.cimmyt.org/la-historia-de-la-revolucion-mexicana-a-traves-del-maiz/>
- Morales-Valenzuela, G., & Padilla-Vega, J. (2017). Variedades locales de maíz en comunidades CH'oles de Tacotalpa, Tabasco. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 3(7), 49-56. https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol3num7/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V3_N7.pdf#page=56
- Moreira, R., Chenlo, F., Arufe, S., & Rubinos, S. N. (2015). Physicochemical characterization of white, yellow and purple maize flours and rheological characterization of their doughs. *Journal of food science and technology*, 52, 7954-7963. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-015-1953-6>
- Mukherjee, A., Gaurav, A. K., Singh, S., Yadav, S., Bhowmick, S., Abeysinghe, S., & Verma, J. P. (2022). The bioactive potential of phytohormones: a review. *Biotechnology Reports*, 35, e00748. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2022.e00748>
- Murillo, B. (1994). Manual de laboratorio nutrición animal. Zamora. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/75f4d317-84b1-4e66-bc1e-9fe07dd8d714/content>
- Nishant-Bhanu, A. (2019). Brassinosteroids: Relevance in biological activities of plants and agriculture. *J. Plant Sci. Res*, 35, 1-15. https://www.researchgate.net/profile/Akhouri-Bhanu/publication/332142834_Brassinosteroids_Relevance_in_Biological_Activities_of_Plants_and_Agriculture/links/5ca3178ca6fdccab2f67d4c3/Brassinosteroids-Relevance-in-Biological-Activities-of-Plants-and-Agriculture.pdf

- Núñez, M. (1999). Reseña bibliográfica. Aplicaciones prácticas de los brasinosteroides y sus análogos en la agricultura. *Cultivos tropicales*, 20(3), 63-72. <https://ediciones.inca.edu.cu/files/anteriores/1999/3/CT20311.pdf>
- O'Leary, M. & CIMMYT (2016) Maíz: De México para el mundo. Divulgación-CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/uncategorized/maiz-de-mexico-para-el-mundo/>
- Ortega-Enríquez, E. (2014) El maíz: Un aporte prehispánico a la cocina mexicana contemporánea. *Revista Conexión de Hospitalidad y Gastronomía*. 2(3), 25-32. <http://aliatuniversidades.com.mx/conexxion/wp-content/uploads/2016/pdf/gas3.pdf#page=27>
- Ortega-Gaucin, D., & Velasco, I. (2013). Aspectos Socioeconómicos y ambientales de las Sequías en México. *Aqua-lac*, 5(2), 78-90. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2013-v5-2-08>
- Palacios-Rojas, N. (2018). Calidad nutricional e industrial de Maíz: Laboratorio de Calidad Nutricional de Maíz "Evangelina Villegas". CIMMYT. <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/19667/59829.pdf>
- Peñarrieta, J. M., Tejada, L., Mollinedo, P., Vila, J. L., & Bravo, J. A. (2014). Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos. *Revista Boliviana de Química*, 31(2), 68-81. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426339682006>
- Raghu, K., & Rao, R. (2016). Effect of brassinosteroids on antioxidants content and radical scavenging activity of *Tinospora cordifolia* (Willd.) Miers ex Hook. F & Thoms. *J. Med. Plants Stud*, 4(5), 117-121. <https://www.plantsjournal.com/archives/2016/vol4issue5/PartB/4-4-14-439.pdf>
- Ramírez-Huerta, M., Juárez, J. P., Ramírez Valverde, B., & Ramírez Valverde, G. (2013). Impacto de los siniestros por helada en la agricultura mexicana y su relación con la pobreza rural: Caso del estado de Puebla. *Juyyaania*, 1(1), 67-86. https://www.researchgate.net/profile/Jose-Sanchez-242/publication/355077392_Impacto_de_los_siniestros_por_helada_en_la_agicultura_mexicana_relacion_pobreza_rural_caso_Puebla/links/615c67995a481543a8824800/Impacto-de-los-siniestros-por-helada-en-la-agicultura-mexicana-relacion-pobreza-rural-caso-Puebla.pdf

- Ramírez-Romero E., Mazola-Alvarez, C. Javier Ramírez Mancera, & Mota, G. A. (2023). El Museo del Maíz: Historia de Nuestro Pueblo. "PATRIMONIO": Economía Cultural Y Educación Para La Paz, 1(17), 329–360. <http://mecedupaz.unam.mx/index.php/mecedupaz/article/view/75318/66785>
- Rattan, A., Kapoor, D., Kapoor, N., Bhardwaj, R., & Sharma, A. (2020). Brassinosteroids regulate functional components of antioxidative defense system in salt stressed maize seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39, 1465-1475. 10.1007/s00344-020-10097-
- Rivas-Pérez, B. N., Leal-Ganadillo, I. A., Loaiza-Cuauro, L. F., Morillo, Y. E., & Colina-Chirinos, J. C. (2017). Phenolic Compounds and antioxidant activity in extracts of four Oregano species. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 40(3), 134-142. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0254-07702017000300002&script=sci_abstract&tlng=en
- Rodríguez-Martínez J., Sandoval-Ramírez J., Hilario-Martínez J., Carrasco-Carballo A. (2019). Síntesis y actividad biológica de 22-oxocolestanos epimerizados en C-20. *Trabajos estudiantiles y profesionales de Química de Productos Naturales (QPNT)*. Pag: 90-93. <https://sqm.org.mx/wp-content/uploads/2021/04/CMC-SQM-QPNT-2019.pdf#page=90>
- Rodríguez-Salinas, P. A., Zavala-García, F., Urías-Orona, V., Muy-Rangel, D., Heredia, J. B., & Nino-Medina, G. (2020). Chromatic, nutritional and nutraceutical properties of pigmented native maize (*Zea mays* L.) genotypes from the northeast of Mexico. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45, 95-112. <https://doi.org/10.1007/s13369-019-04086-0>
- Rojas-Rabiela, T. & Gutiérrez-Ruvalcaba, I. (2016) Letras y huellas del maíz: del siglo XVI a 1914. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología: Red de Etnoecología y Patrimonio Biocultural. <https://patrimoniobiocultural.com/archivos/publicaciones/libros/LETRAS-Y-HUELLAS-DEL-MAIZ.pdf>
- Sáenz-Carbonell, L., Lara, I. C., & Paredes, F. R. (2016). Los brasinoesteroides. *Revista Ciencia*, 80-86.

https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/57_4/pdf/brasinoesteroide_s.pdf

- Sáenz-Morales. C. P. (2015) Potencial Agronómico y Variación Económica de Híbridos de Maíz Cristalino Duro (*Zea mays* L.) en Tres Zonas Agroecológicas del Litoral Ecuatoria. (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ). <https://repositorio.uteg.edu.ec/server/api/core/bitstreams/af6cf10a-c42a-43e3-a3af-f94d26c52f5e/content>
- Sakurai, A. (1999). Brassinosteroid biosynthesis. *Plant Physiol. Biochem.* 37(5), 351–361. [https://doi.org/10.1016/s0981-9428\(99\)80041-2](https://doi.org/10.1016/s0981-9428(99)80041-2)
- Salgado-Garciglia, R., Rodríguez, M. A. C., & del Río, R. E. (2013). Uso de brasinoesteroides y sus análogos en la agricultura. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico-Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 10(1), 18-27. <http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Brasinoesteroidesy%C3%A1logosenlaagricultura.pdf>
- Salinas-Moreno, Y., Aragón Cuevas, F., Ybarra Moncada, C., Aguilar Villarreal, J., Altunar López, B., & Sosa Montes, E. (2013). Caracterización física y composición química de razas de maíz de gano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(1), 23-31. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802013000100003&script=sci_arttext
- Salinas-Moreno, Y., Cruz Chávez, F. J., Díaz Ortiz, S. A., & Castillo González, F. (2012). Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(1), 33-41. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802012000100006&script=sci_arttext
- Salinas-Moreno, Y., & Aguilar-Modesto, L. (2010). Efecto de la dureza del gano de maíz (*Zea mays* L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 2(1), 5-11. <https://revistas.chapingo.mx/inagbi/revista/articulos/r.inagbi.2010.08.009.pdf>

- Salinas-Moreno, Y., Aragón-Cuevas, F., Ybarra-Moncada, C., Aguilar-Villarreal, J., Altunar-López, B., & Sosa-Montes, E. (2013). Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(1), 23-31. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802013000100003&script=sci_arttext
- Sánchez-Ortega, I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología)*. Serie Botánica, 7(2), 151–171. <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/ae41001e-474e-4d61-b12f-90f071ff82b1/content>
- Sánchez-Rodríguez, G. (2016) Historia, usos y futuro del mayor invento mesoamericano: el maíz. *Revista virtual especializada en Gastronomía*. http://web.uaemex.mx/Culinaria/doce_ne/pdf_culinaria_doce/historia_maiz_culinaria_uamex.pdf
- Sánchez-Valle, V., & Méndez-Sánchez, N. (2013). Estrés oxidativo, antioxidantes y enfermedad. *Médica Sur*, 20(3), 161-168. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenl.cgi?IDARTICULO=79284>
- Santos-Cabrera A. (2019) Papel de compuestos promotores de crecimiento vegetal sobre plantas infectadas con virus [Tesis profesional, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla] Repositorio Institucional Buap. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/c286a970-a289-4b5d-97bf-4b48bc185da1/content>
- Sasse, J. M. (1997). Recent progress in brassinosteroid research. *Physiologia Plantarum*, 100(3), 696-701. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb03076.x>
- Secretaría de Economía. (2004) Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - cereales – parte i: maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado - especificaciones y métodos. de prueba. (NMX-FF-034/1-SCFI-2002). https://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/NMX-FF-034-1-SCFI-2002_MAIZ_blanco.pdf
- Serna Méndez, T. C. (2022). Caracterización química y funcional del maíz pigmentado y su aplicación en el desarrollo de un alimento tipo snack (Doctoral

- dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
<http://eprints.uanl.mx/24919/1/1080328748.pdf>
- Serna-Del Cerro, M. (2011). Efectos de los brasinosteroides sobre la producción y calidad de lechugas, escarolas y pimientos y sobre la germinación y crecimiento de lechugas y escarolas en condiciones salinas (Tesis doctoral, Universidad Miguel Hernández).
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=136403>
 - Serratos-Hernández, J. (2009). El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. *Greenpeace*.
https://www.researchgate.net/publication/303571504_El_origen_y_la_diversidad_del_maiz_en_el_continente_americano
 - Sosa-Montes, E., Sosa-Montes, E., Pro-Martínez, A., Irizar-Garza, M. B., Mendoza-Pedroza, S. I., Sánchez-Olguín, J., & Alejos-de la Fuente, J. I. (2021). Caracterización química de tres genotipos de canola (*Brassica napus* L.) producidos con y sin aplicación de brasinoesteroides. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *44*(4-A), 723-723.
<https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/904>
 - Texeira, M.A. & Adam, G. (2002). Fitohormonas brasinoesteroides: estructura, bioactividad y aplicaciones. *Revista Brasileña de Fisiología Vegetal*, *14*, 143-181.
<https://doi.org/10.1590/S1677-04202002000300001>
 - Torres-Ruiz, B. L., Espinosa-Calderón, A., Mendoza-Rodríguez, M., Rodríguez-de la O, J. L., Irizar-Garza, M. B., & Castellanos-Ruiz, J. S. (2007). Efecto de brasinoesteroides en híbridos de maíz androestériles y fértiles. *Agronomía Mesoamericana*, *18*(2), 155-162. De
<https://www.redalyc.org/pdf/437/43718201.pdf>
 - Tucuch-Haas, C., Alcántar-González, G., Salinas-Moreno, Y., Trejo-Téllez, L. I., & Larqué-Saavedra, A. (2017). Aspersión foliar de ácido salicílico incrementa la concentración de fenoles en el grano de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *40*(2), 235-238.
<https://www.revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/160>

- Urango, L. A. (2018). Componentes del maíz en la nutrición humana. Fondo Editorial Biogénesis, 185-209. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/article/download/336229/20791758/>
- Vázquez-García, V., Martínez-Reyes, S., Pérez-Olvera, M. A., Clemente-Rueda, J. (2014). De zapalote chico, chahuiteros y totoperas. Género, etnia y maíz en el istmo de Tehuantepec, México. *Leisa-Revista Agroecológica* 36(1). <https://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-36-numero-1/4111-de-zapalote-chico-chahuiteros-y-totoperas-genero-etnia-y-maiz-en-el-istmo-de-tehuantepec-mexico>
- Wang, T., & White, P. J. (2019). *Lipids of the Kernel*. Corn: Chemistry and Technology. 337–368. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811971-6.00013-9>
- Yokota, T. (1997). The structure, biosynthesis and function of brassinosteroids. *Trends in plant science*. 2(4), 137–143. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(97\)01017-0](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(97)01017-0)
- Zeferino-Díaz R., Hilario-Martínez J., Rodríguez-Acosta M., Sandoval-Ramírez J., Fernández-Herrera M. (2015). 22-Oxocholestanes as plant growth promoters, *Steroids*, 98, 126–131. <https://doi.org/10.1016/j.steroids.2015.03.005>
- Zhang, H., Zhao, D., Tang, Z., Zhang, Y., Zhang, K., Dong, J., & Wang, F. (2022). Exogenous brassinosteroids promotes root growth, enhances stress tolerance, and increases yield in maize. *Plant Signaling & Behavior*, 17(1), 2095139. <https://doi.org/10.1080/15592324.2022.2095139>
- Zhao, L., Xu, Y., Lai, X. H., Shan, C., Deng, Z., & Ji, Y. (2015). Screening and characterization of endophytic *Bacillus* and *Paenibacillus* strains from medicinal plant *Lonicera japonica* for use as potential plant growth promoters. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46, 977-989. <https://doi.org/10.1590/S1517-838246420140024>
- Zhapan-Revilla, M. X., Morales, K. L., Pita, M. D. L. Á. B., Veiga, D., & Herrera, A. M. (2021). Potencial antioxidante de hojas de guanábana (*Annona muricata* L.) para sistemas productivos de banano. *Revista Científica*

Agroecosistemas, 9(1),

<https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/444>

35-40.