

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
CAMPUS TECNOLÓGICO LOCAL SAN CARLOS**

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOESTIMULANTES EN EL  
CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE UN HÍBRIDO Y UNA  
VARIEDAD DE MAÍZ (*Zea mays*) EN SANTA CLARA DE SAN  
CARLOS, ALAJUELA COSTA RICA**

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía  
como requisito parcial para optar al grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

**LUIS ROBERTO GUZMÁN GÓMEZ**

**San Carlos, Costa Rica**



Carrera de Ingeniería en Agronomía  
Campus Tecnológico Local  
San Carlos  
2019 - 2023

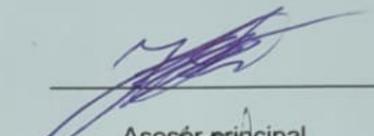
**2020**

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOESTIMULANTES EN EL  
CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE UN HÍBRIDO Y UNA  
VARIEDAD DE MAÍZ (*Zea mays*) EN SANTA CLARA DE SAN  
CARLOS, ALAJUELA COSTA RICA**

**LUIS ROBERTO GUZMÁN GÓMEZ**

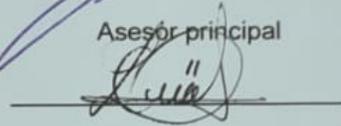
Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

Ing. Biot. Fabián Echeverría Beirute, PhD



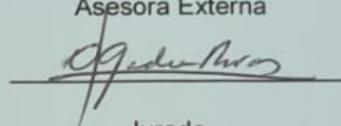
Asesor principal

Ing. Agr. Lisette Valverde Sánchez, Lic.



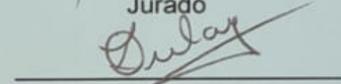
Asesora Externa

Ing Agr. Arnoldo Gadea Rivas, M. Sc



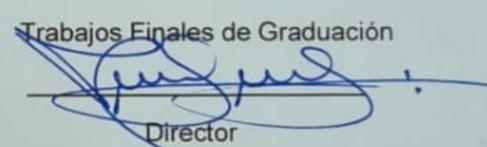
Jurado

Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez, MGA.



Coordinadora

Ing. Agr. Milton Villareal, PhD.



Trabajos Finales de Graduación

Director

Escuela de Agronomía

**San Carlos, Costa Rica**

**2020**

## **DEDICATORIA**

A las cuatro personas que se han encargado de velar por mi correcta educación y bienestar, mis padres Roberto Guzmán Rojas y Ana Lorena Gómez Rojas, así como mis abuelos Daniel Guzmán Aguilar y Ana Lía Rojas Diaz. Ellos han sido el pilar fundamental a lo largo de mi vida y quienes siempre han estado para mí en todo momento, brindándome su apoyo y amor incondicional.

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios todopoderoso por darme la vida y la oportunidad de desempeñarme de manera profesional en el campo de mi preferencia. Así como mi familia, quienes con su apoyo y amor eterno se han encargado de proporcionarme todo lo que he necesitado a lo largo de mi carrera.*

*Al Ing. Biot. Fabián Echeverría Beirute, PhD, por mantener siempre un apoyo incondicional a lo largo de la elaboración del proyecto. Siempre proponiendo alternativas para mejorar mi proceso de aprendizaje, así como motivarme a tomar nuevos retos y hacer las cosas de la mejor manera.*

*Al Ing. Agr. Arnoldo Gadea, quien brindó asesoramiento a lo largo del proceso de elaboración del proyecto, ayudando a realizar las labores de manera correcta y eficiente.*

*A la Ing. Agr. Ana Lisette Valverde, por su colaboración incondicional y buena voluntad de ayudarme en aspectos fundamentales del desarrollo de la investigación.*

*A mis compañeros y colegas José Pablo Jiménez, José Pablo Corella, David Salas y Jeremy Durán, quienes me brindaron su apoyo y colaboración durante diversas etapas del desarrollo de la investigación.*

*Un especial agradecimiento a la Escuela de Agronomía del Tecnológico de Costa Rica Campus Tecnológico Local San Carlos, por permitirme disponer del área de parcelas, así como insumos necesarios para el desarrollo del proyecto.*

*A la empresa BioEco por brindarme de manera gratuita parte de los insumos necesarios para la ejecución del proyecto.*

*A todas las personas que formaron parte de mi etapa universitaria, tanto colegas estudiantes como profesores y funcionarios, que con su cariño y amistad hicieron de estos años una experiencia inolvidable.*

# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
ÍNDICE GENERAL .....	iii
ÍNDICE DE CUADROS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Justificación .....	2
1.2 Objetivo General .....	4
1.3 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Hipótesis del experimento .....	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Origen e importancia.....	5
2.2 Taxonomía del maíz .....	5
2.3 Descripción botánica de la planta .....	6
2.3.1 Raíz .....	7
2.3.2 Tallo.....	7
2.3.3 Hojas .....	7

2.3.4 Inflorescencia .....	8
2.3.5 Fruto .....	8
2.4 Fenología de la planta de maíz .....	8
2.5 Condiciones edafoclimáticas favorables .....	11
2.5.1 Suelo .....	11
2.5.2 Temperatura .....	11
2.5.3 Precipitación .....	12
2.5.4 Radiación solar .....	12
2.5.5 Viento .....	12
2.6 Manejo agronómico .....	13
2.6.1 Preparación del suelo .....	13
2.6.2 Siembra .....	13
2.6.3 Densidad y distancia de siembra .....	13
2.6.4 Fertilización .....	14
2.6.5 Principales plagas.....	15
2.6.6 Cosecha .....	17
2.6.7 Almacenamiento .....	17
2.7 Concepto de híbridos de maíz .....	17
2.8 Concepto de variedades de polinización abierta .....	18
2.9 Híbrido de maíz HR-245 .....	20
2.9 Variedad de maíz EJM-2 .....	20
2.10 Variables de interés agronómico .....	20

2.11 Definición, clasificación y funciones de los bioestimulantes .....	22
2.12 Tricho-Eco .....	24
2.13 Alga 18 .....	24
2.14 Gamba Bio.....	25
<b>3 MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
3.1 Ubicación .....	26
3.2 Periodo de estudio .....	26
3.3 Área experimental.....	27
3.4 Unidad de muestreo.....	27
3.5 Descripción de los tratamientos .....	28
3.6 Manejo agronómico implementado .....	28
3.6.1 Preparación de suelo .....	28
3.6.2 Densidad de siembra .....	29
3.6.3 Siembra .....	29
3.6.4 Control de malezas .....	29
3.6.5 Manejo fitosanitario.....	29
3.6.6 Fertilización .....	30
3.6.7 Cosecha .....	31
3.7 Método y aplicación de los tratamientos .....	32
3.8 Variables de respuesta .....	33
3.8.1 Variables de crecimiento morfológico .....	33
3.8.1.1 Altura de la planta.....	33

3.8.1.2	Peso seco de la raíz .....	33
3.8.1.3	Peso seco de la planta .....	34
3.8.1.4	Grosor de tallo .....	34
3.8.2	Variables de características de la mazorca .....	34
3.8.2.1	Cantidad de mazorcas .....	34
3.8.2.2	Longitud de mazorca con envoltura .....	35
3.8.2.3	Peso de mazorca con envoltura .....	35
3.8.2.4	Longitud de mazorca sin envoltura .....	35
3.8.2.5	Peso de mazorca sin envoltura .....	35
3.8.2.6	Número de hileras .....	35
3.8.2.7	Grosor de mazorca .....	36
3.8.3	Variables de rendimiento de grano .....	36
3.8.3.1	Peso de granos totales .....	36
3.8.14	Peso de cien granos .....	36
3.8.15	Rendimiento de grano seco .....	36
3.9	Método para la toma de datos .....	36
3.10	Modelo estadístico .....	37
3.11	Grados de libertad del error .....	37
3.12	Aspectos organizacionales .....	38
3.13	Recursos materiales .....	39
3.13.1	Material vegetal .....	39
3.13.2	Tratamientos .....	39

3.13.3 Materiales para las labores de manejo .....	39
3.13.4 Material para medición de las variables .....	39
3.13.5 Material de laboratorio .....	40
3.14 Análisis económico .....	40
4 RESULTADOS y DISCUSIÓN .....	41
4.1 Crecimiento morfológico .....	41
4.2 Características de la mazorca .....	51
4.3 Rendimiento de grano .....	55
4.4 Análisis económico .....	61
5 CONCLUSIONES .....	65
6 RECOMENDACIONES .....	67
7 BIBLIOGRAFÍA .....	68
8 ANEXOS .....	77

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Clasificación taxonómica del cultivo de maíz. ....	6
<b>Cuadro 2.</b> Cantidad de macronutrientes por aplicar y fraccionamiento según fertilidad del suelo en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> ). ....	15
<b>Cuadro 3.</b> Principales plagas insectiles que afectan el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> ). .....	16
<b>Cuadro 4.</b> Descripción de los tratamientos a utilizar durante el periodo del experimento en campo utilizada en un experimento de aplicación de bioestimulantes en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.). Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. ....	28
<b>Cuadro 5.</b> Programa de manejo fitosanitario a la parcela experimental utilizado en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.). Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. ....	30
<b>Cuadro 6.</b> Cantidades totales de macronutrientes aplicados en el programa de fertilización de un experimento de aplicación de productos bioestimulantes en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.). Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. ....	30
<b>Cuadro 7.</b> Fraccionamiento del programa de fertilización implementado en la parcela experimental en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.). Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. ....	31
<b>Cuadro 8.</b> Dosis de productos utilizados para la elaboración del experimento de aplicación de productos bioestimulantes en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.). Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. ....	32
<b>Cuadro 9.</b> Grados de libertad del diseño experimental del proyecto de aplicación de productos bioestimulantes en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.). Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. ....	37
<b>Cuadro 10.</b> Cronograma de actividades para el periodo experimental del proyecto de aplicación de productos bioestimulantes en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.). Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. ....	38
<b>Cuadro 11.</b> Promedio de peso seco de raíz para la variedad de maíz amarillo EJN-2 y maíz blanco HR-245. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. ....	43

<b>Cuadro 12.</b> Promedio de peso seco de la planta para la variedad de maíz amarillo EJM-2 y maíz blanco HR-245. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.....	44
<b>Cuadro 13.</b> Cantidad promedio de mazorcas por planta reportadas para la variedad de maíz amarillo EJM-2 y el híbrido de maíz blanco HR-245. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.....	51
<b>Cuadro 14.</b> Promedio de peso de granos totales y peso de 100 granos reportados para la variedad de maíz amarillo EJM-2 y el híbrido de maíz blanco HR-245. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. ....	56
<b>Cuadro 15</b> Rendimiento promedio total reportado para la variedad de maíz amarillo EJM-2 y el híbrido de maíz blanco HR-245. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.....	58
<b>Cuadro 16.</b> Costos de producción de una hectárea de maíz. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.....	62
<b>Cuadro 17.</b> Comparación entre el costo total de producción de una hectárea de maíz en relación con las ganancias totales de venta en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. ....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Partes de la planta de maíz ( <i>Zea mays</i> L.). Modificado de McRobert et al (2013).....	6
<b>Figura 2.</b> Etapas fenológicas del cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.). Tomado de Fajardo (2015).....	9
<b>Figura 3.</b> Proceso de producción de semilla híbrida de maíz en el campo. Modificado de McRobert <i>et al</i> (2013). ....	18
<b>Figura 4.</b> Vista satelital de la región de Santa Clara de San Carlos, utilizada en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.). Alajuela, Costa Rica (Google maps, 2019).....	26
<b>Figura 5.</b> Planta de maíz como representación de unidad muestral en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. Tomado de Paliwal <i>et al</i> (2001). ....	27
<b>Figura 6.</b> Comportamiento de la altura de la variedad de maíz amarillo EJM-2 durante los distintos días después de la siembra en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. ....	41
<b>Figura 7</b> Comportamiento de la altura del híbrido de maíz blanco HR-245 durante los distintos días después de la siembra en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. ....	42
<b>Figura 8.</b> Promedio de peso seco de raíz para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJM-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. ....	44
<b>Figura 9.</b> Promedio de peso seco de la planta para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJM-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. ....	45
<b>Figura 10.</b> Grosor de tallo promedio para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJM-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. ....	50
<b>Figura 11.</b> Longitud promedio de mazorca con y sin envoltura para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJM-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.....	52

**Figura 12.** Peso promedio de mazorca con y sin envoltura para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJM-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica..... 53

**Figura 13.** Promedio de grosor de mazorca para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJM-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica..... 54

**Figura 14.** Promedio del número de hileras por mazorca para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJM-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica..... 55

**Figura 15.** Promedio de peso de granos totales para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJM-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica..... 56

**Figura 16.** Promedio de peso de 100 granos para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJM-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica..... 57

**Figura 17.** Promedio de rendimiento para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJM-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica..... 59

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Parcela experimental utilizada durante el desarrollo de la investigación. .....	77
<b>Anexo 2.</b> Croquis de la distribución de los tratamientos en el campo de la parcela experimental. ....	78
<b>Anexo 3.</b> Croquis representativo de parcelas útiles de los tratamientos en el campo de la parcela experimental. ....	79
<b>Anexo 4.</b> Análisis de varianza para la variable de peso seco de raíz a los 30 y 60 después de la siembra. ....	80
<b>Anexo 5.</b> Análisis de varianza para la variable de peso seco de la planta a los 30 y 60 después de la siembra. ....	81
<b>Anexo 6.</b> Análisis de varianza para la variable de grosor de tallo. ....	82
<b>Anexo 7.</b> Análisis de varianza para la variable de cantidad de mazorcas. ....	82
<b>Anexo 8.</b> Análisis de varianza para las variables de longitud y peso de mazorca (con y sin envoltura), grosor de mazorca y número de hileras. ....	83
<b>Anexo 9.</b> Análisis de varianza para las variables de peso de granos y peso de 100 granos. ....	84
<b>Anexo 10.</b> Análisis de varianza para la variable de rendimiento de grano. ....	85
<b>Anexo 11.</b> Análisis de correlación para las variables de altura, grosor de tallo, peso seco de la planta, peso seco de raíz, longitud, peso y grosor de mazorca, peso de granos y rendimiento de grano. ....	85

## RESUMEN

El cultivo de maíz (*Zea mays L.*) es de gran importancia a nivel mundial debido a sus diversas formas de utilización. Sin embargo, en Costa Rica este cultivo ha sido poco desarrollado, debido a un débil grado de tecnificación, alta inversión y rendimientos bajos. Los bioestimulantes son productos biológicos con capacidad de potenciar la fisiología de los cultivos, influyendo en sus procesos metabólicos con una mejora en su desarrollo y por ende en el rendimiento productivo. Con el objetivo de evaluar el efecto de tres bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento de dos variedades de maíz: un híbrido de maíz blanco (HR-245) y una variedad de maíz amarillo (EJN-2). Se realizó la presente investigación en la finca La Esmeralda del Tecnológico de Costa Rica, Campus Tecnológico Local San Carlos. Se utilizó un modelo estadístico de bloque generalizado donde se evaluaron 5 tratamientos con 6 repeticiones correspondientes a 3 productos bioestimulantes (Alga 18, Tricho-Eco y Gamba Bio) más la combinación de dos productos (Alga 18+Tricho-Eco) y un testigo. Las variables evaluadas fueron altura de la planta, peso seco de raíz y planta, grosor de tallo, características de la mazorca (longitud, peso, grosor y número de hileras), peso de granos totales, peso de 100 granos y rendimiento, además de un análisis económico para evaluar su rentabilidad. En forma general, se encontraron diferencias significativas en todas las variables del estudio a excepción de la altura de la planta, siendo los tratamientos Alga 18 y Alga 18+Tricho-Eco quienes mostraron mayor influencia en el peso seco de raíz y planta en etapas iniciales, así como en el grosor de tallo. De la misma forma, las características de la mazorca y peso de granos también se vieron incrementadas, obteniendo un aumento en los rendimientos que oscilan entre los 0,52 y 1,74 ton/ha ( $p$ -valor $<0,0001$ ) con respecto al testigo. En el análisis económico, se demostró que la aplicación de bioestimulantes logró incrementar las ganancias económicas (con la excepción de Tricho-Eco en el maíz amarillo) y que la aplicación de Alga 18 en ambas variedades obtuvo los valores más elevados al reportar un incremento entre los 574 910 y 610 665 mil colones por hectárea.

Palabras clave: bioestimulante, rendimiento, maíz, híbrido, variedad, tratamiento.

## ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is of great importance worldwide due to its various forms of use. However, in Costa Rica this crop has been underdeveloped, due to a weak degree of technification, high investment and low yields. Biostimulants are biological products that modify crop's physiology, influencing their metabolic processes with an improvement in their development and therefore in productive performance. With the objective of evaluating the effect of three biostimulants on the growth and yield of two varieties of corn: a hybrid of white corn (HR-245) and a variety of yellow corn (EJN-2). The present investigation was carried out at the La Esmeralda farm of the Costa Rica Technological Campus San Carlos Local Technology. A generalized block statistical model was used where 5 treatments with 6 repetitions corresponding to 3 biostimulant products (Alga 18, Tricho-Eco and Gamba Bio) plus the combination of two products (Alga 18 + Tricho-Eco) and a control were evaluated. The variables evaluated were plant height, root dry weight and plant, stem thickness, characteristics of the cob (length, weight, thickness and number of rows), weight of total grain weight of 100 grains and performance, and an economic analysis to evaluate its profitability. In general, significant differences were found in all study variables except for plant height, with the Alga 18 and Alga 18 + Tricho-Eco treatments being the ones that showed the greatest influence on the dry weight of roots and plants in the initial stages, as well as the stem thickness. In the same way, the characteristics of the ear and grain weight were also increased, obtaining an increase in yields that oscillate between 0.52 and 1.74 ton / ha ( $p$ -value  $<0.0001$ ) with respect to to the witness. In the economic analysis, it was shown that the application of biostimulants managed to increase the economic gains (with the exception of Tricho-Eco in yellow corn) and that the application of Alga 18 in both varieties obtained the highest values by reporting an increase between the 574 910 and 610 665 thousand colones per hectare.

Key words: biostimulant, yield, corn, hybrid, variety, treatment

# 1 INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) posee gran importancia en Costa Rica debido a las diversas formas en que es utilizado. El maíz puede ser aprovechado como materia prima para la agroindustria, así como para consumo fresco y procesado tanto en la dieta humana como animal. La producción de forraje del maíz es frecuentemente utilizada para elaboración de ensilados o también fuente de alimento directa para el ganado, mientras que las mazorcas son la principal parte de la planta que es aprovechable en consumo fresco humano o para la elaboración de otros productos o bienes como concentrados, harinas, productos enlatados, bebidas, combustibles, entre otros (Bonilla 2009a).

En el país existen aproximadamente 15 770 hectáreas dedicadas al cultivo de maíz, donde el cantón de Buenos Aires de Puntarenas cuenta con la mayor área de cultivo (2 033 ha) seguido de Pérez Zeledón (1 245 ha) y Upala (1 160 ha), el resto del área está distribuido en pequeños y medianos productores ubicados en diversas partes del país (INEC 2014). Sin embargo, se menciona que Costa Rica posee alrededor de 482 mil hectáreas con condiciones edafoclimáticas aceptables para la producción de maíz, con la región Chorotega y la Huetar Norte como las zonas que poseen mayor proporción de terreno idóneo para desarrollar el cultivo (Bonilla 2009a).

En la actualidad, las plantaciones de maíz en la región presentan considerables irregularidades en los rendimientos de grano como consecuencia de un pobre desarrollo de la planta, esto se debe a diferentes factores como las condiciones climáticas adversas, diversidad genética, uso de semilla de mala calidad, deficiente manejo agronómico, baja tecnificación del cultivo, entre otras (Bonilla 2009a). Por lo tanto, se deben implementar nuevas estrategias capaces de elevar el potencial de la planta para desarrollarse de manera óptima, trayendo consigo beneficios en su rendimiento. Con lo anterior se busca garantizar la rentabilidad del sistema productivo, obteniendo mayores ganancias y un uso eficiente del área de cultivo (Badillo, 2016).

Acevedo et al (2011) mencionan que la implementación de nuevas prácticas para mejorar la condición del cultivo en el campo permite conocer y utilizar estrategias de bajo costo con resultados rápidos y efectivos, siendo el pequeño y mediano productor el sector más beneficiado con dicha actividad. El primer paso para dicho cambio radica en concientizar al productor para modificar sus prácticas convencionales de manejo agronómico e implementar alternativas que contribuyan a elevar sus rendimientos, aunque estos impliquen algún tipo de inversión extra.

El maíz es un cultivo que presenta una alta capacidad de respuesta a la fertilización, reportando incrementos en su biomasa y rendimientos ante la aplicación complementaria de determinados macro y micronutrientes. Se han realizado múltiples estudios comparando distintas dosis de fertilizantes en búsqueda de los mejores rendimientos. Sin embargo, existe toda una gama de productos capaces de optimizar las condiciones en el suelo y la planta, ayudando a mejorar la movilización y la absorción de los nutrientes (Ferraris & Courelot 2008).

Los bioestimulantes son productos de origen biológico con la capacidad de mejorar el potencial de la fisiológico de diversas plantas. Los bioestimulantes influyen en procesos metabólicos como la fotosíntesis, respiración celular, absorción radical y mejoran el desarrollo y producción de muchos cultivos. Dichos productos se encuentran en el mercado en distintas presentaciones y tipos, estos dentro de su composición contienen compuestos como fito-hormonas, vitaminas, minerales, aminoácidos, fenoles y polisacáridos. Lo anterior genera a su vez efectos benéficos en el cultivo, los cuales van desde potenciar el crecimiento y desarrollo, favorecer la resistencia al estrés biótico y abiótico hasta mejorar la biología del suelo (Ramírez 2015).

## **1.1 Justificación**

En Costa Rica la producción del cultivo de maíz ha sido una actividad poco desarrollada, observando un bajo grado de tecnificación y una alta inversión en insumos que logren mantener una producción rentable. El productor posee poco conocimiento sobre nuevas tecnologías o productos capaces de incrementar la

producción, limitándose a utilizar los mismos programas de fertilización granulada y manejo agronómico convencional.

En la actualidad, la mayor parte del maíz que se utiliza en el país es importado de los Estados Unidos con un 85% de las importaciones, principalmente para la elaboración de concentrados para alimentación animal, además de algunos países como Brasil donde se importa producto fresco para consumo humano (Chacón 2017). Debido a lo anterior, la producción nacional presenta retos importantes en la producción, donde se debe buscar la manera de producir maíz con las características adecuadas de calidad, además de un mayor aprovechamiento de los insumos y un menor costo de producción.

La aplicación de productos bioestimulantes es una práctica que ha tomado un avance acelerado en sector agrícola durante los últimos años, con lo que se ha demostrado que estos productos generan efectos benéficos en el desarrollo y rendimiento de diversos cultivos (Ramírez 2015). Por otra parte, a nivel nacional, se han realizado pocos estudios sobre el efecto de la aplicación de los bioestimulantes en el cultivo de maíz, por lo que aún se desconocen los efectos que puedan tener en la planta.

Los bioestimulantes son sustancias capaces de potenciar el metabolismo de la planta, interviniendo en procesos fisiológicos como la asimilación de nutrientes, mayor capacidad fotosintética y retraso en la senescencia del follaje, con los que se obtienen plantas con mayor capacidad productiva y resistencia a condiciones adversas. Diversos productos bioestimulantes también inducen la formación de compuestos capaces de mejorar el vigor del cultivo, se obtiene una mayor formación radical, tallos de mayor tamaño y grosor, mayor número de hojas y mayor área foliar, entre otros. Dichos efectos se observan desde las etapas iniciales del cultivo y contribuyen a un óptimo desarrollo y producción.

Las prácticas complementarias a la fertilización convencional en el maíz, como es el caso del uso de bioestimulantes, podrían obtener un incremento en la producción a nivel general y una mejora en la condición fisiológica de la planta. Lo

anterior genera como consecuencia una potencial mejora en la calidad del producto cosechado y en los rendimientos.

## **1.2 Objetivo General**

- Evaluar el efecto de tres bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento de una variedad y un híbrido de maíz (*Zea mays*) en Santa Clara de San Carlos, Alajuela, Cota Rica.

## **1.3 Objetivos Específicos**

- Cuantificar el efecto de cada bioestimulante sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz.
- Determinar el efecto de los bioestimulantes en plantas de maíz provenientes de semilla híbrida y de variedades de polinización abierta.
- Estimar la rentabilidad del sistema de producción ante la aplicación de los productos bioestimulantes en el cultivo maíz.

## **1.4 Hipótesis del experimento**

La aplicación de productos bioestimulantes en el cultivo de maíz contribuye a la obtención de plantas con mayor vigorosidad e incrementan el rendimiento productivo.

## **2 REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Origen e importancia**

El maíz (*Zea mays*) es originario de América y producido en una gran variedad de países alrededor del continente. En la actualidad, los Estados Unidos es uno de los principales productores, este cultivo representa una base para la seguridad alimentaria y ocupa el tercer lugar en consumo a nivel mundial (FAO 2009). Es un alimento alto en fibra por lo que ayuda en procesos digestivos, también posee vitaminas del complejo B como tiamina, biotina y ácido fólico (Badillo 2016).

El maíz es uno de los cereales con una mayor cantidad de usos. Se utiliza como alimento humano, donde es consumido como mazorca y grano, también es utilizado en alimentación animal como forraje o aprovechado a nivel industrial en diferentes formas. Aproximadamente un 66% del total de maíz cosechado en el mundo se destina para alimentación animal, mientras que el 20% es consumido en alimentación humana. El resto es utilizado en procesos industriales, producción de semilla y otros (Fajardo 2015).

Por otro lado, la mazorca posee un alto contenido de almidón, pero es relativamente bajo en su contenido proteico. Otras variedades como el maíz amarillo son más nutritivas en estas características, además de ser fuente importante de vitamina A (Bonilla 2009a). Además, es comúnmente utilizado como forraje por su contenido de fibra cruda de aproximadamente 18% y un 70% de nutrientes digestibles en base seca. Su utilización como ensilaje presenta un alto contenido energético, principalmente al contenido de almidón y azúcares solubles en su materia seca, sin embargo, no se recomienda como alimento único para el ganado ya que no es una adecuada fuente proteica (6-12% de proteína cruda).

### **2.2 Taxonomía del maíz**

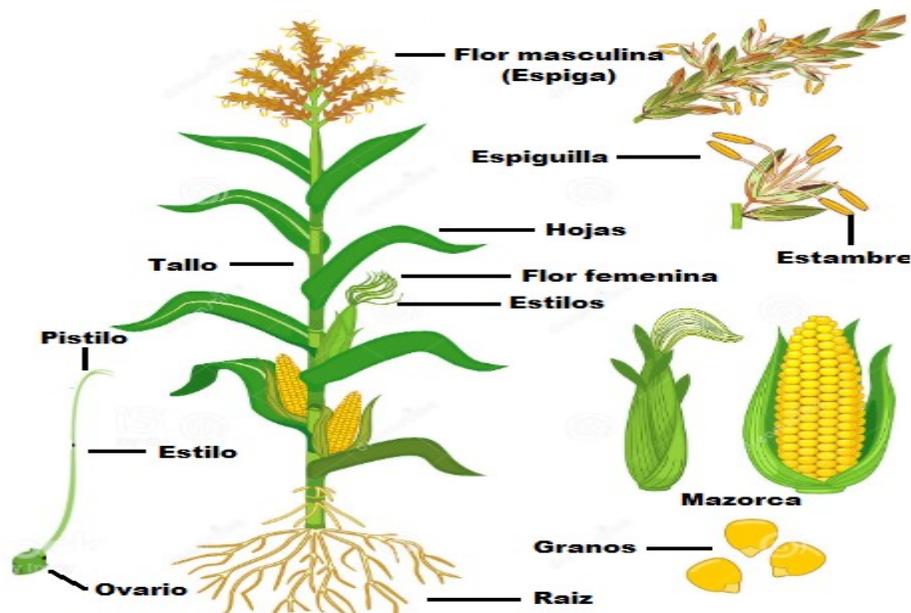
Bonilla (2009a) indica la siguiente clasificación taxonómica para el cultivo de maíz:

**Cuadro 1.** Clasificación taxonómica del cultivo de maíz.

Reino	Plantae
División	Magnoliophycota
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>Mays</i>

### 2.3 Descripción botánica de la planta

El maíz es una planta anual y monoica de porte robusto y con un rápido desarrollo vegetativo, el cual puede alcanzar hasta 5 metros de altura, teniendo un promedio aproximado de 2 a 2,50 metros (Ortigoza et al 2019). Durante las etapas de su ciclo fenológico, desde la emergencia de la semilla se van presentando las diferentes partes que conforman la planta de maíz, donde se desarrollan inicialmente las raíces y hojas, hasta llegar a la etapa de floración y llenado de la mazorca (Figura 1).



**Figura 1.** Partes de la planta de maíz (*Zea mays* L.). Modificado de McRobert *et al* (2013).

### **2.3.1 Raíz**

El sistema radical de la planta de maíz es fasciculada y robusta, cuyas funciones son el anclaje de la planta y la absorción de nutrientes, estas se ven favorecidas por la presencia de raíces adventicias (Ortigoza *et al* 2019). Las raíces adventicias se originan en los nudos ubicados debajo de la superficie del suelo, los cuales pueden alcanzar los 2 m de profundidad, mientras que existe otro tipo de raíz que cumple una función de soporte a la planta durante su crecimiento, disminuyendo el problema de acame (Fajardo 2015).

### **2.3.2 Tallo**

El tallo de la planta de maíz está formado por una serie de nudos y entrenudos, los cuales varían en cantidad y longitud. Los primeros nudos en la base del tallo poseen entrenudos cortos de los que salen las raíces principales y algunos brotes. Los entrenudos son cilíndricos, estos se constituyen de paredes gruesas y haces vasculares, que tienen como función principal la conducción de agua y nutrientes del suelo (Ortigoza *et al* 2019).

### **2.3.3 Hojas**

Puede llegar a tener entre 15 y 30 hojas, las cuales crecen en la parte superior de los nudos del tallo, rodeándolos por una estructura cilíndrica llamada vaina, mientras que el cuello de la hoja es la zona de transición entre la vaina y la lámina. La superficie foliar tiene características tanto en su parte superior como inferior, siendo la primera adaptada para la absorción de energía solar, mientras que la segunda, llamada glabra, posee numerosos estomas. En la superficie de la hoja, en la unión del limbo con la vaina, existe una estructura que envuelve el tallo denominada lígula, cuya función es restringir la entrada de agua y reducir las pérdidas por evaporación (Fajardo 2015).

### **2.3.4 Inflorescencia**

El maíz al ser una planta monoica posee tanto flores masculinas como flores femeninas separadas, pero en la misma planta. La flor masculina tiene forma de panícula y se encuentra en la parte más alta de la planta, mientras que la flor femenina está por lo general en una altura media (Ortigoza *et al* 2019).

Las espigas del maíz pueden liberar polen hasta por seis días consecutivos durante todas las horas del día, teniendo la máxima liberación a los tres días de la dehiscencia de las espiguillas. Los estigmas tienen su mayor crecimiento a las 72 horas de iniciada la antesis, el cual no se ve afectado con la temperatura y la humedad relativa, pero si ejerce un efecto en la cantidad de polen liberado (Fajardo 2015).

La mazorca está compuesta por el raquis (tusa), en el cual se encuentra un par de glumas externas, dos yemas, dos paleas y dos flores, una estéril y otra fértil, por lo que el número de hileras de la mazorca corresponde a un número par. Si es fecundada dará lugar a granos de color variado dependiendo de la variedad cultivada. Los granos se organizan en hileras que pueden variar entre ocho y treinta, cada una con un número aproximado de treinta a sesenta granos. Toda la inflorescencia femenina está protegida por las brácteas, y cada planta puede tener una cosecha de una a tres mazorcas (Fajardo 2015).

### **2.3.5 Fruto**

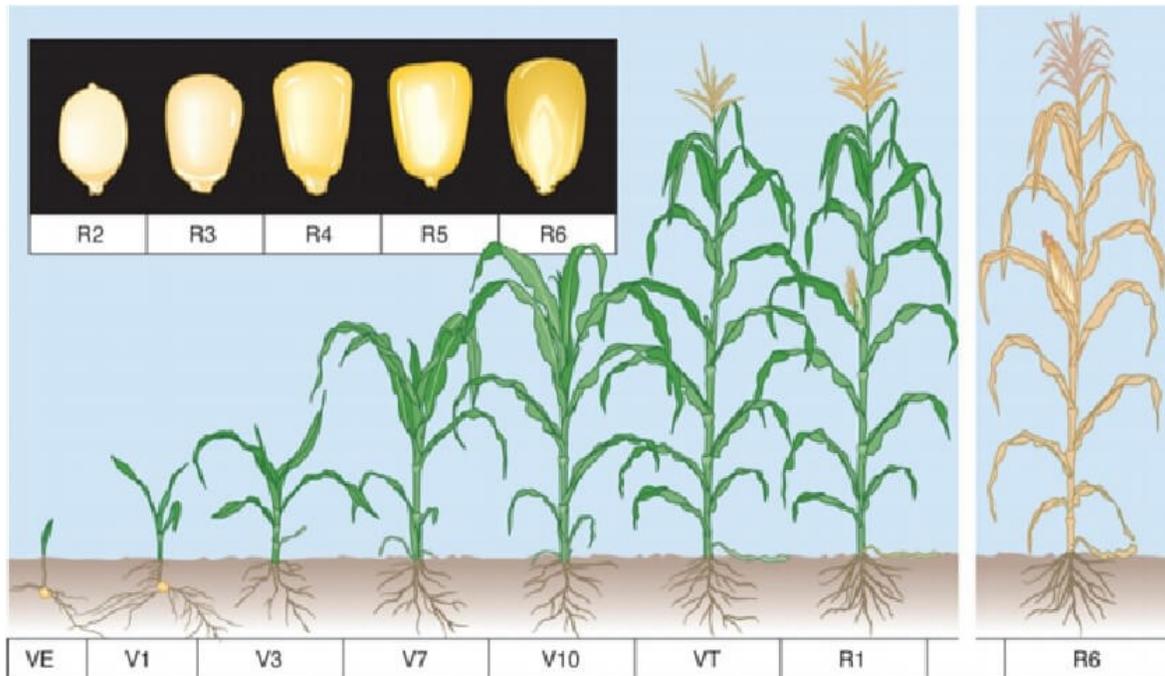
El grano de maíz es el fruto de la planta, compuesto por tres partes principales: la pared, el endospermo triploide y el embrión diploide. La cubierta de la semilla se llama pericarpio, debajo de la misma se encuentra la capa de aleurona, la cual es responsable de darle color al grano. El embrión se conforma de la radícula y la plúmula, ubicados en el escutelo, el cual está adherido al raquis (Fajardo 2015).

## **2.4 Fenología de la planta de maíz**

Fajardo (2015) menciona que el desarrollo de una planta se da mediante un conjunto de los procesos de crecimiento y diferenciación, el cual inicia desde la

semilla hasta la cosecha. La planta de maíz al tener una ruta metabólica C4 posee un intercambio gaseoso eficiente, lo que atribuido a su gran área foliar y cantidad de hojas permite un adecuado crecimiento y desarrollo.

Las etapas fenológicas del maíz se diferencian en dos: una etapa vegetativa y una reproductiva. La vegetativa consta desde la emergencia (VE), pasando por varias etapas de formación de hojas (V1 a V18) hasta llegar a la aparición y elongación de la espiga masculina (VT). Por otro lado, la etapa reproductiva se extiende desde la aparición de los estigmas femeninos (R1) hasta la etapa de madurez fisiológica (R6) y cosecha (Figura 2) (Acebedo *et al* 2011).



**Figura 2.** Etapas fenológicas del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Tomado de Fajardo (2015).

La etapa vegetativa de la planta de maíz se puede extender desde la emergencia de la semilla hasta aproximadamente el día 60 después de la siembra, donde sus distintas etapas son denominadas acorde con el número de hojas que posea donde sea visible su cuello. En la etapa inicial (VE) se da la emergencia de la semilla, comenzando por la elongación de las primeras raíces y la salida del coleóptilo a la superficie del suelo, culminando cuando la plántula presenta sus

primeras dos hojas (V2) (Fassio *et al* 1998). En dicha etapa la planta lleva a cabo un proceso de transición, donde deja de depender de los nutrientes almacenados en el endospermo de la semilla y pasa a realizar la fotosíntesis (Paliwal *et al* 2001).

Desde la etapa V3 hasta la V9 se presenta un crecimiento vigoroso de la planta, donde el punto de crecimiento y el primordio de la espiga se van extendiendo desde el suelo hacia arriba a medida que se van elongando los entrenudos. A partir de la etapa V10 se producen hojas nuevas de manera más lenta, debido a que en este momento la planta empieza seleccionar cuales de los primordios serán las futuras mazorcas de la planta, así como el número de óvulos por hilera y la cantidad de hileras (Fajardo 2015).

Posteriormente, desde la etapa V12 hasta la V18 se presenta un periodo crítico para el cultivo, ya que en dichos momentos es cuando la planta determina el número de óvulos en cada mazorca y el tamaño de esta (Acevedo *et al* 2011). También se da la aparición de las puntas de las mazorcas en la inserción de las hojas, así como los estambres en los óvulos basales. La etapa final de la fase vegetativa es la VT, donde es visible la inflorescencia masculina completa, alcanzando su máxima altura durante el ciclo y se inicia los procesos para la liberación del polen (Endicott *et al* 2015).

La fase reproductiva de la planta de maíz se extiende desde la floración masculina hasta la madurez fisiológica y cosecha, al igual que la etapa vegetativa esta consta de diversas etapas diferentes entre sí (Fassio *et al* 1998). La primera etapa reproductiva del maíz es la R1, esta es cuando los primeros estigmas de la flor femenina son visibles en el exterior, los cuales corresponden a los granos de la base de la mazorca. En los días posteriores continuarán emergiendo nuevos estigmas por lo que dicha etapa es crucial para garantizar un adecuado llenado del grano (Fajardo 2015).

Las siguientes etapas se diferencian por el estado y consistencia del grano dentro de la mazorca, por lo que la etapa R2 (grano de ampolla) inicia cuando los granos están llenos de un líquido claro y blanquecino con un alto porcentaje de

humedad. La etapa R3 (grano lechoso) se da cuando los granos presentan un líquido lechoso más espeso y blanco que en la etapa anterior. Por otro lado, la etapa R4 (grano masoso) se diferencia por la transformación del líquido en una pasta color blanco y mayor desarrollo del embrión con un 70% de humedad en el grano (Endicott *et al* 2015).

La etapa R5 (grano dentado) el grano se llena con una capa sólida de almidón y su porcentaje de humedad es de aproximadamente del 55%, en esta etapa el grano está finalizando su ciclo para cosecha con fines de consumo humano (Fajardo 2015). La etapa final del ciclo de la planta de maíz corresponde a la R6 (madurez fisiológica), en esta el grano se encuentra totalmente desarrollado y posee un promedio de 35% de humedad, donde su característica principal es un punto color negro en la base del grano (Fassio *et al* 1998).

## **2.5 Condiciones edafoclimáticas favorables**

### **2.5.1 Suelo**

Se puede desarrollar en una amplia variedad de suelos, siendo de preferencia suelos francos o franco arcillosos con profundidades de 0,80 a 1,00 metros. El pH óptimo para el cultivo es de 5,5-6,5 con buen contenido de materia orgánica y topografía con poca pendiente. Se debe prestar especial atención a los encharcamientos en la plantación, ya que pueden producir problemas a nivel radical, afectando la producción de manera significativa (Bonilla 2009a).

### **2.5.2 Temperatura**

El maíz presenta un adecuado desarrollo entre los 20-29 °C siendo la temperatura ideal los 25 °C. Si se encuentran temperaturas por encima o por debajo de dichos rangos se pueden presentar problemas de marchitamiento, disminución de la fotosíntesis, respiración, floración y fructificación (Fajardo 2015).

### **2.5.3 Precipitación**

En crecimiento es necesaria una precipitación de al menos 300 mm, teniendo como óptimo 600 mm durante su ciclo productivo, después de esto se considera un exceso para la producción adecuada. Es importante que exista adecuado nivel de agua durante la floración debido a que si el periodo es muy seco existen problemas en la formación y llenado del grano (Bonilla 2009a).

El maíz no tolera periodos de encharcamientos superiores a las 12 horas, ya que se ocasionan problemas por la reducción de la conductividad de las raíces con lo que se limita la disponibilidad y asimilación de nutrientes. También, se da una acumulación de sustancias tóxicas asociados a la respiración anaeróbica, ocasionando un desequilibrio en sus actividades metabólicas además de debilidad en la planta, lo que en conjunto con vientos fuertes puede provocar problemas de acame (Eyhérbide 2011).

### **2.5.4 Radiación solar**

El cultivo tiene un mejor comportamiento productivo en días cortos (9-12 horas luz), cálidos y de alta luminosidad. Durante el periodo de llenado del grano, las hojas de la planta que están arriba de la inserción se encuentran más activas, por lo que mayor luminosidad en dicho periodo es de gran relevancia en la producción (Bonilla 2009a).

### **2.5.5 Viento**

El efecto del viento en el cultivo de maíz posee un mayor impacto durante las etapas de polinización y llenado del grano, ya que las fuertes ráfagas pueden provocar volcamientos, desecamiento en el polen y una baja en los rendimientos. Para evitar el problema de acame producido por los fuertes vientos se recomienda hacer un manejo adecuado de las densidades de siembra, además del uso de variedades resistentes, por lo que se debe tener un correcto monitoreo de las condiciones ambientales de la región (Fajardo 2015).

## **2.6 Manejo agronómico**

### **2.6.1 Preparación del suelo**

Se recomienda realizar de una a dos pasadas de arado o rastra, dejando el terreno en surcos pequeños y de poca estatura. Por lo general se recomienda hacer esto un mes antes de la siembra, realizando una reincorporación de materia orgánica y un control de malezas pre-siembra (Segura & Andrade 2010).

### **2.6.2 Siembra**

En plantaciones de menor tamaño la siembra se ejecuta generalmente de forma manual, colocando de una a dos semillas por punto de siembra (dependiendo de la variedad utilizada), mientras que en áreas de cultivo mayores se puede utilizar una sembradora. Por lo general para este proceso se utilizan de 20-30 kg de semilla por ha, con una germinación mayor al 80% y una pureza recomendada del 99% (Bonilla 2009a).

### **2.6.3 Densidad y distancia de siembra**

Martínez *et al* (2015) mencionan que, en el cultivo de maíz, tanto la producción de materia seca como los rendimientos de grano se ven afectados de manera significativa por las interacciones genotipo-ambiente, por lo que es necesario analizar las condiciones particulares donde la plantación se va a desarrollar. La respuesta del cultivo a las distintas densidades de siembra se determina según la variedad sembrada y a las condiciones del medio, sin embargo, en toda plantación existe el concepto de “densidad óptima”, esta es donde se obtiene un rendimiento adecuado, el cual disminuye a medida que aumente dicha densidad.

La importancia de determinar una densidad de siembra óptima radica en que, a partir de densidades muy altas se observan problemas de competencia por luz, lo que empobrece la adecuada asimilación y distribución de nutrientes. Esto a su vez, puede aumentar si la planta enfrenta algún otro tipo de estrés. Por otro lado, si se implementan densidades muy bajas, la planta se ve limitada por cobertura del suelo

y por ende la captación solar, además de ser más susceptibles al acame por vientos fuertes (Martínez *et al* 2015).

Bonilla (2009a) reporta que en una plantación de maíz comercial las densidades de siembra óptimas se encuentran entre las 50 000 a 55 000 plantas por hectárea, mientras que para la producción de semilla se recomiendan densidades entre las 40 000 y 45 000 plantas por hectárea. Las distancias de siembra varían de 70-90 cm entre surcos y de 20-30 cm entre plantas dependiendo del porte de esta, incluso se pueden utilizar distancias más cortas si la plantación se destina para la producción de forraje.

#### **2.6.4 Fertilización**

Un adecuado programa de fertilización en el cultivo de maíz debe realizarse con base en un análisis de suelo. Con esto se logra determinar la disponibilidad de nutrientes que existe en el terreno, así como las características físicas y químicas, las cuales le permiten una adecuada nutrición a la planta. En el maíz es necesario suplir los requerimientos nutricionales en etapas tempranas, ya que a partir de dicho periodo es cuando la planta podrá obtener un óptimo desarrollo de su follaje y fruto (Fajardo 2015).

Durante las distintas aplicaciones el fertilizante se debe colocar a aproximadamente 5 cm del tallo, o también durante la siembra se puede poner por debajo de la semilla en medio de una capa de tierra. A nivel general, las cantidades de un determinado elemento varían respecto al tipo de suelo y su fertilidad, por lo que su aplicación debe ser analizada previo al establecimiento de la plantación (Bonilla 2009a).

En el caso del cultivo de maíz, las cantidades de fertilizante por hectárea por aplicar varían respecto a la fertilidad del suelo (Cuadro 2). En suelos de fertilidad media a alta es recomendado fraccionar las aplicaciones, la primera de ellas realizada durante la siembra o la germinación de la semilla, mientras que las

aplicaciones posteriores se recomiendan entre el día 25 y 30 después de la siembra (Bonilla 2009a).

**Cuadro 2.** Cantidad de macronutrientes por aplicar y fraccionamiento según fertilidad del suelo en el cultivo de maíz (*Zea mays*).

<b>Elemento</b>	<b>Fertilidad media (kg/ha)</b>	<b>Fertilidad baja (kg/ha)</b>	<b>Fraccionamiento</b>
Nitrógeno	100	100	25% Siembra y 75% posterior aplicación
Fosforo	60	90	100% Siembra
Potasio	40	50	100% Siembra

### 2.6.5 Principales plagas

El cultivo de maíz enfrenta una diversa cantidad de plagas insectiles en todas las etapas de su ciclo fenológico y todas las partes de la planta (raíz, tallo, hoja y mazorca) afectando significativamente su adecuado desarrollo y rendimientos (Cuadro 3). Como labores previas a la siembra, es recomendable definir un programa de aplicaciones para control preventivo en la plantación. Esto se debe realizar considerando la etapa del ciclo fenológico donde la planta de maíz es susceptible al ataque de una plaga en específico. Por otro lado, se deben realizar monitoreos constantes con el objetivo de determinar el umbral. (Fajardo 2015).

A nivel nacional, el daño causado por el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) es uno de los más frecuentes en todas las regiones productivas. El gusano ataca en diversas etapas del ciclo fenológico, causando mayores pérdidas económicas si se presenta en etapas iniciales del cultivo. Una vez que el insecto logra entrar al cogollo el control químico se dificulta, teniendo que realizar aplicaciones dirigidas al órgano afectado, las cuales suelen requerir un mayor gasto económico (Bonilla 2009a).

**Cuadro 3.** Principales plagas insectiles que afectan el cultivo de maíz (*Zea mays*).

Nombre común	Nombre científico	Órgano afectado	Control	Observaciones
Gallina ciega o Joboto	<i>Phyllophaga spp</i>	Semillas en etapa larval y tallos en etapa adulta	Control químico en etapas adultas. Tratamiento con <i>Metarhizium anisopliae</i> semillas previo a la siembra	Uso de trampas de feromonas. Uso plantas trampa del género <i>Sida</i> , <i>Spondias</i> y <i>Erythrina</i>
Vaquita o Tortuguilla	<i>Diabrotica spp</i>	Raíces en etapa larval y hojas en etapa adulta	Control químico con insecticidas líquidos en etapa adulta y granulares en larval	Posee mucha variedad de colores y su daño se acentúa en etapas tempranas de cultivo
Taladrador del tallo	<i>Diatraea spp</i>	Cogollos en etapa larval	Control químico poco efectivo (permanencia en cogollo). Control biológico con Dipel y Procliam	Produce acame en plantas afectadas. Se recomienda eliminar rastrojos antes a la siembra
Gusano cogollero	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Hojas y cogollos	Aplicaciones químicas directas al cogollo. Uso de <i>Bacillus thuringiensis</i>	Rápida propagación, es necesario realizar monitoreos constantes
Gusano cortador	<i>Agrotis spp</i>	Hojas y tallo	Control químico en follaje. Uso de cebos envenenados	Daños en etapas iniciales con cortes a nivel de tallo y agujeros en hojas
Gusano de la mazorca	<i>Heliothis spp, Eleodes opaca</i>	Espiga y Mazorca	Control químico poco efectivo. Uso de <i>Trichograma</i> y <i>Bacillus thuringiensis</i>	En etapas tempranas se alimentan de los cabellos del elote

Tomado de Bonilla (2009a)

### **2.6.6 Cosecha**

El método de cosecha utilizado depende de la finalidad del producto, en el caso del grano seco esta labor se realiza cuando el grano alcanza su máximo punto de madurez (punto negro observable en el grano). Para proteger la integridad de la mazorca, algunos productores realizan un doblado o quebrado en la parte superior de la planta. Este tipo de cosecha tiene como fin la obtención de semilla para producción o la obtención de grano seco para la elaboración de subproductos (Bonilla 2009a).

### **2.6.7 Almacenamiento**

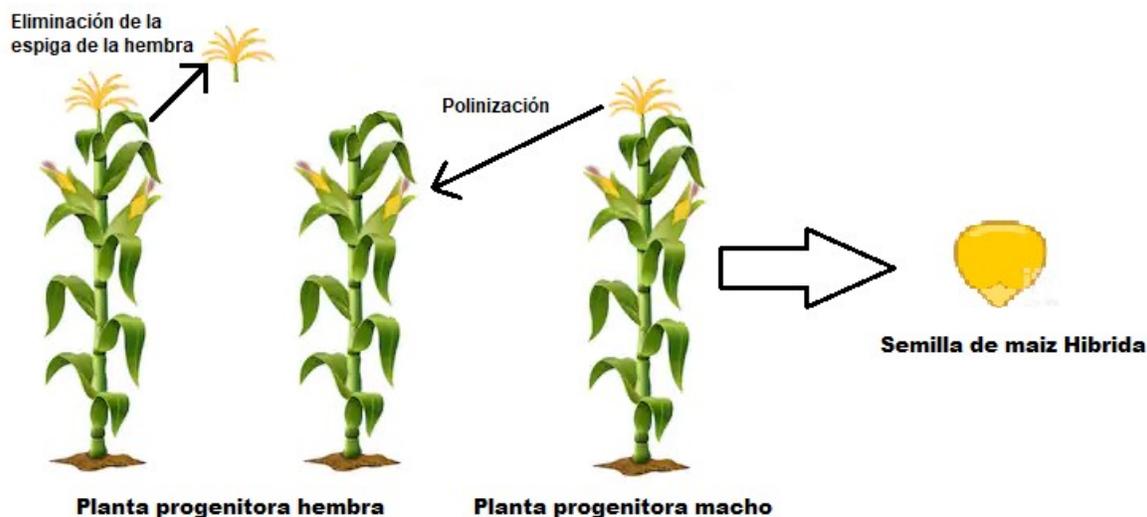
El almacenamiento del grano se debe realizar en condiciones de alta limpieza y sanidad. Se recomienda ejecutar un monitoreo y control de los insectos que atacan el grano. Si no se dispone de una estructura de almacenamiento, la misma se puede realizar en sacos o bolsas debidamente cerrados, mantenido un control estricto de la temperatura y humedad (Bonilla 2009a).

## **2.7 Concepto de híbridos de maíz**

Un híbrido de maíz corresponde al resultado de un cruce entre dos plantas que no estén emparentados genéticamente, donde la planta que produce la semilla se le llama progenitora femenina, mientras que la planta que se encarga de producir el polen para la fecundación se denomina progenitor masculino (Figura 3). La semilla producto de este proceso posee una composición genética distinta a la de sus progenitores debido a los procesos de heterosis que surgen de su cruce genético. La planta adulta muestra características favorables para el productor como una mayor resistencia a estrés biótico y abiótico, mayor respuesta a la fertilización, mayor vigor y aprovechamiento de los nutrientes, además de un mayor potencial de rendimiento (Paliwal *et al* 2001).

En un campo de producción de semilla híbrida se realizan prácticas adicionales a las labores normales de manejo agronómico del maíz como por ejemplo la

“desespigada” (Figura 3). Dicho proceso consiste en retirar la flor masculina de las plantas progenitoras femeninas antes de la producción del polen, con el objetivo de que el único polen que llegue a la mazorca sea el de las plantas progenitoras masculinas. Debido a lo anterior, en las plantaciones comerciales se dispone de un número de tres a seis veces mayor de plantas femeninas que de masculinas (proporción de surcos de 3:1) (MacRobert *et al* 2015).



**Figura 3.** Proceso de producción de semilla híbrida de maíz en el campo. Modificado de McRobert *et al* (2013).

Para garantizar el éxito en la producción y calidad de semilla híbrida de maíz se debe seleccionar de manera precisa los progenitores macho y hembra, así como conocer su grado de pureza. También se debe tener un control detallado de los momentos de siembra y la eliminación oportuna de la espiga en la planta hembra. Por otro lado, es necesario sincronizar los momentos donde aparecen los estigmas de la hembra y el polen en los machos, además de evitar la contaminación de dichos estigmas con polen provenientes de otras plantas no deseadas (MacRobert *et al* 2015).

## 2.8 Concepto de variedades de polinización abierta

Bonilla y Meléndez (2005) definen una variedad de maíz de polinización abierta como una parte de una población que se encuentra en un proceso constante de

mejoramiento genético, cuyas características le dan diferencias morfoagronómicas favorables para el productor. Dichas diferencias en su morfología y rendimiento les confieren ventajas con el resto de la población, al tener mejores resultados en campo. Una vez liberada una variedad se espera que la plantación sembrada sea uniforme en sus características agronómicas importantes (homogénea), además de que en sus futuras generaciones se conserve dicha uniformidad, llegando incluso a ser mejoradas con el tiempo.

En la actualidad, el mercado de semilla de maíz es liderado por la producción de semilla híbrida (mayoritariamente híbridos simples), debido a su uniformidad de plantación, altos rendimientos y gran aprovechamiento de las tecnologías de manejo agrícola, llegando a reducir la producción de nuevas variedades de polinización abierta. La producción y liberación de estas variedades han quedado relegadas a atender ciertos nichos de población, liderado mayoritariamente por pequeños y medianos productores, donde se cuenta con menor poder adquisitivo, cosechas heterogéneas y menor uso de tecnología (Presello 2019).

Kutka (2011) enfatiza que el uso de semilla de polinización abierta se debe centrar en los agroecosistemas de bajo rendimiento y en los pequeños y medianos productores. Sin embargo, la ventaja en reducción de precios y la competitividad en el mercado debe ir relacionada con una mayor comprensión de los métodos de selección y producción de semillas para la próxima generación, la cual no llegue a elevar los costos a largo plazo.

En adición, se demuestra que el uso de estas variedades también puede generar rendimientos adecuados para los productores, siempre y cuando se optimicen las labores como la selección de semilla, evaluación de nuevos materiales y el uso de tecnologías adecuadas de manejo agronómico todo esto en búsqueda de una producción favorable para las condiciones edafoclimáticas de la región. Debido a lo anterior, instituciones como el INTA y el CIMMYT continúan probando y liberando nuevas variedades de polinización abierta, atendiendo las demandas

específicas de los productores al ofrecer semilla de calidad que pueden utilizar en cosechas continuas (Presello 2019).

### **2.9 Híbrido de maíz HR-245**

Este es un híbrido triple de maíz adaptado a condiciones tropicales, se puede cultivar desde los 0 a 1600 metros sobre el nivel del mar con un ciclo productivo de 110 a 120 días. Su germinación se da al día 5 después de la siembra con un porcentaje del 95%. Alcanza una altura de planta de 2,20 a 2,40 metros y altura de mazorca de 1,15 a 1,30 metros. También presenta resistencia al acame y a enfermedades fungosas. En la cosecha la planta posee una buena cobertura de mazorca, la cual es gruesa y con un promedio de 14 a 18 hileras, su grano es cristalino, duro y pesado, con rendimiento promedio en condiciones aptas de hasta 6.50 ton/ha (Pro-semilla 2012).

### **2.9 Variedad de maíz EJM-2**

Esta variedad fue otorgada por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y liberada por el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Se adapta a gran variedad de condiciones ambientales, por lo que se puede sembrar en todas las regiones productivas de nuestro país, obteniendo resultados favorables en el cantón de Cañas, Guanacaste. Es utilizada tanto para la producción de grano como forraje, puede llegar a medir de 1,90 a 2,10 metros con una mazorca mediana de grano amarillo, llegando obtener rendimientos entre 3 y 4 ton/ha (Bonilla 2009b).

### **2.10 Variables de interés agronómico**

En Costa Rica, así como en diversas regiones productoras de maíz en el mundo, se tiene como objetivo principal la obtención de altos rendimientos en los cultivos, tanto de grano seco como de producción forrajera, dependiendo de la finalidad a la que vaya dirigida la plantación. Sin embargo, en muchas de estas regiones no se cuenta con los medios necesarios para obtener una producción

adecuada, dependiendo principalmente de recursos limitados y de condiciones ambientales fluctuantes (Bonilla 2009a).

Lagos *et al* (2015) mencionan que una de las opciones de mayor importancia para la obtención de un incremento en los rendimientos del cultivo es la implementación de variedades mejoradas de maíz con características que le permitan una mejor adaptación a la región. La idea consiste en generar nuevas variedades con una interacción más estable genotipo-ambiente, con lo que estos materiales presenten un mejor comportamiento agronómico para determinadas condiciones ambientales. Dicha metodología promueve un mejor desarrollo de la plantación y una contribución al sector productor que demanda por una adecuada rentabilidad de su producción agrícola.

El éxito en la obtención de nuevos híbridos y variedades mejoradas y adaptadas a una región en específico depende de los factores anteriormente mencionados, sin embargo, uno de los de mayor importancia es el adecuado proceso de selección y mejoramiento de los nuevos materiales por probar. Lo anterior no solo implica una adecuada selección de la semilla, sino que implica todo un estudio detallado del comportamiento agronómico de dichos cultivares, buscando lo que presenten un mayor desarrollo y adaptación la cual se vea reflejada en el rendimiento final del cultivo (Gordon *et al* 2018).

Diversos estudios han enfocado sus esfuerzos en evaluar nuevos materiales vegetales, en búsqueda de estudiar su comportamiento agronómico y determinar su potencial de rendimiento (Lagos *et al* 2015; Tosquy *et al* 2005). Dentro de dichos estudios se analizan diversas variables relacionadas tanto al desarrollo morfológico como fisiológico, ambos estrechamente ligados con la producción. El estudio de las variables morfológicas abarca características como la altura de la planta, cantidad de hojas, peso de biomasa, diámetro del tallo, calidad de la mazorca y grano, entre otras, mientras que el estudio de las variables fisiológicas comprende factores como tasa fotosintética, de respiración y la capacidad de absorción y movilización de nutrientes (Ríos *et al* 2007; Antuna *et al* 2003).

## **2.11 Definición, clasificación y funciones de los bioestimulantes**

Los bioestimulantes son moléculas capaces de activar procesos metabólicos en las plantas. Dichos productos pueden estar compuestos de diferentes formas, por lo que pueden variar en la complejidad de su composición y efecto en la morfofisiología del cultivo. Sus beneficios pueden variar acorde con su composición y grado de aplicación, por lo que en la actualidad son ampliamente utilizados para aumentar el potencial de rendimiento y desarrollo de muchos cultivos (Sausa 2009).

Baroja y Benitez (2008) mencionan que los productos bioestimulantes poseen la capacidad de contribuir a una mayor absorción y aprovechamiento de los nutrientes, además de generar plantas más robustas y de mayor producción. Por otro lado, en algunos cultivos también pueden contribuir en procesos fisiológicos como la fotosíntesis, desarrollo de yemas, floración y fructificación.

Suarez (2013) indica que un adecuado rendimiento de grano en el cultivo de maíz está relacionado con los nutrientes adquiridos del suelo, los cuales determinan un nivel de producción adecuado. Sin embargo, existen momentos donde las condiciones edafoclimáticas impiden un óptimo desarrollo o aprovechamiento de los nutrientes, por lo que las labores de fertilización se ven modificadas en un esfuerzo por mantener la rentabilidad de la plantación. De esta manera, el uso de los bioestimulantes se presenta como un complemento a la fertilización convencional, ayudando a potenciar y optimizar el desarrollo del cultivo y contribuyendo a reducir el uso de otros insumos.

Du Jardin (2015) reporta que en la actualidad se encuentra una amplia gama de productos denominados como bioestimulantes. Sin embargo, estos presentan diferencias en su composición y principio activo, por lo que han sido clasificados de distintas maneras. Dichos compuestos no solo se diferencian por su composición, sino que sus funciones dentro de la fisiología de la planta son diferentes en cada uno de ellos.

El grupo de bioestimulantes más comunes en el mercado son los compuestos a base de aminoácidos. Estos se obtienen a partir de diversas mezclas de cada

uno de los 21 aminoácidos existentes, por lo que cada combinación puede generar un bioestimulante con características específicas. Sus principales efectos en la planta van desde la protección del estrés ambiental, mejora en los procesos fisiológicos y fotosintéticos, hasta el incremento en la biomasa del cultivo (García 2017). Estos productos han sido estudiados en diversos cultivos como la caña de azúcar (Mayor 2009) tomate (Terry et al 2018) y maíz (Neto et al 2014) donde se han reportado incrementos en el desarrollo morfológico y rendimientos productivos.

Existen también productos de venta comercial que utilizan algas o plantas como fuente de materia orgánica. Su efecto bioestimulante se ha descubierto hace pocos años, pero a partir de su descubrimiento se han aprovechado diversos compuestos como extractos de algas marinas, carragenanos y alginato, siendo estudiados en diversos ensayos en cultivos como la caña de azúcar y maíz (Zermeño 2015; Briceño 2011; Ertani 2011; Alvarado 2015 y Hernandez 2018). Dichos compuestos han tenido efectos positivos en el desarrollo de numerosos cultivos, actuando como promotores de crecimiento y producción (Du Jardin 2015).

Otro grupo de productos bioestimulantes son los basados en sustancias húmicas. Se obtienen a partir de componentes de materia orgánica de los suelos y organismos en descomposición. Dentro de sus funciones benéficas en la planta se encuentra la regulación de procesos metabólicos y estrés abiótico, además de contribuir al aprovechamiento de macro y micronutrientes disponibles en el suelo (Veobides *et al* 2018).

Diversos tipos de hongos y bacterias benéficas también son considerados como productos bioestimulantes. Catellanos (2006), así como Tavera et al (2017) han estudiado la utilización de cepas de hongos, donde establece una relación simbiótica con las plantas, favoreciendo la nutrición y protección ante condiciones de estrés. Por otro lado, la asociación mutualista que ofrecen las bacterias benéficas brinda beneficios para la planta como un aprovechamiento más eficaz de un determinado nutriente, resistencia a enfermedades y tolerancia al estrés abiótico (Du Jardin 2015).

## 2.12 Tricho-Eco

Según BioEco (2019a) Tricho-Eco es un producto de venta comercial tipo polvo mojable de color verde oscuro y presentado en un sustrato nutritivo. Este producto es utilizado como un bioestimulante promotor de crecimiento radical en diversos cultivos, además de ejercer una función como agente de control biológico de diversas enfermedades. También, el producto cuenta con una certificación orgánica por Kiwa BCS.

El componente del producto es el hongo *Trichoderma viride*, este posee un efecto de antibiosis al secretar metabolitos capaces de degradar enzimas de la pared celular de los patógenos, logrando inhibir su daño al cultivo. Posee efectos de micoparasitismo, estimulación de los sistemas de defensa de la planta y tolerancia a condiciones de estrés. La cepa tiene gran adaptación a un amplio rango de condiciones ambientales y no presenta toxicidad a humanos o insectos benéficos para el cultivo (BioEco 2019a).

Por otro lado, a nivel morfológico y nutricional, el producto estimula la secreción de fitohormonas capaces de incrementar la cantidad, crecimiento y desarrollo de las raíces en la planta. Con lo anterior, se logra un mayor aprovechamiento de los nutrientes disponibles en el suelo, mejorando la tolerancia de la planta a condiciones adversas (BioEco 2019a).

## 2.13 Alga 18

Es un bioestimulante comercial certificado por Kiwa BCS, a base del alga marina *Macrocystis pyrifera* y de *Gelidiaceae gelidium* como componente de materia orgánica. Dicho producto es de color café oscuro y presentación en polvo soluble. Dentro de su formulación química el bioestimulante también posee un 22% de potasio, 4,2% de fósforo, un 1,5% de nitrógeno y un 1,4% de calcio (BioEco 2019b).

Algunos de los beneficios de su aplicación a diversos cultivos en campo es la estimulación de la síntesis de fitoalexinas, activación de mecanismos de defensa, mejorar la capacidad de retención de agua y posee un efecto antioxidante. Además,

en sistemas de producción de almácigos contribuye a reducir el estrés post trasplante en el cultivo (BioEco 2019b).

El efecto más relevante en la producción es la capacidad de potenciar un mayor crecimiento en la planta a nivel radicular, creando raíces de mayor tamaño, longitud y ramificación. Con lo anterior, se obtienen una serie de beneficios a nivel productivo como un crecimiento más acelerado en la planta, mayor asimilación de nutrientes, reducción en ciclo del cultivo y un aumento en la producción a nivel general (BioEco 2019b).

#### **2.14 Gamba Bio**

Gamba Bio es una enmienda líquida producida por la empresa RACKAM SA, ubicada en Alajuela, Costa Rica, compuesto también de un 55% de materia orgánica, macro y micronutrientes. Este producto se comercializa en presentaciones 25, 200 y 1000 Litros, posee un color rojo oscuro, con un pH de 8 y una densidad de 1,01. Puede aplicarse en todo tipo de cultivos en todas las regiones del país, tanto en campo abierto como en ambientes controlados (RACKAM 2019).

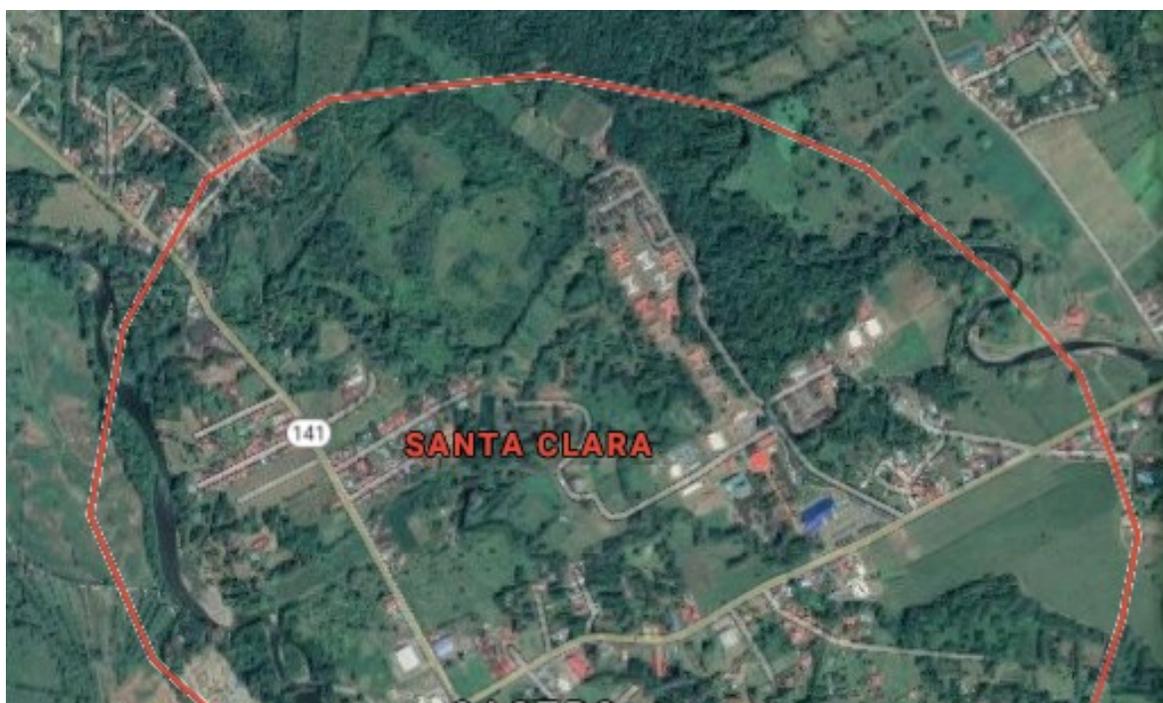
El producto es fabricado con base en proteínas de origen animal y vegetales homogeneizadas de manera anaeróbica. Posee un efecto bioestimulante al contribuir a la planta a estimular la absorción, el tránsito y el almacenamiento de los nutrientes, por lo que se mejora su fisiología, además de mejorar su vigor y resistencia al ataque de diversas plagas. Por otro lado, dicho producto es recomendado en todo tipo de suelos, ayudando a mejorar su fertilidad y pH, así como una mejora en la biodiversidad (RACKAM 2019).

Para la aplicación del producto se recomienda llenar el tanque de aplicación o bomba de espalda con agua hasta la mitad, agregando posteriormente el producto a través de un filtro para evitar atascos, por lo que la dosis debe estar en agitación constante agregando el agua faltante para la mezcla. El producto se puede aplicar tanto en aspersión foliar como directo al suelo, siendo compatible con otros productos utilizados en el manejo agronómico del cultivo, además de no presentar algún tipo de fitotoxicidad en las dosis recomendadas (RACKAM 2019).

## 3 MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Ubicación

La investigación se realizó en la Finca La Esmeralda del Instituto Tecnológico de Costa Rica Campus Tecnológico Local San Carlos, ubicado en Santa Clara de San Carlos, Alajuela, Costa Rica (Figura 4), cuyas coordenadas geográficas son 10° 21' 55" N, 084° 30' 21" W. La zona se encuentra en la región Huetar Norte del país y presenta un clima tropical húmedo. Las condiciones climáticas poseen una altitud de 166 msnm, con una temperatura promedio de 25°C, además de una precipitación anual de 3.400 mm y humedad relativa promedio de 88% (TEC 2013).



**Figura 4.** Vista satelital de la región de Santa Clara de San Carlos, utilizada en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Alajuela, Costa Rica (Google maps, 2019).

### 3.2 Periodo de estudio

La etapa experimental del proyecto se llevó a cabo desde el 01 de julio del 2019 hasta el 31 de enero del 2020. En dicho periodo se desarrolló la totalidad del ciclo productivo del cultivo de maíz, el cual comprendió desde las labores de preparación de suelo hasta la etapa de cosecha y toma de datos.

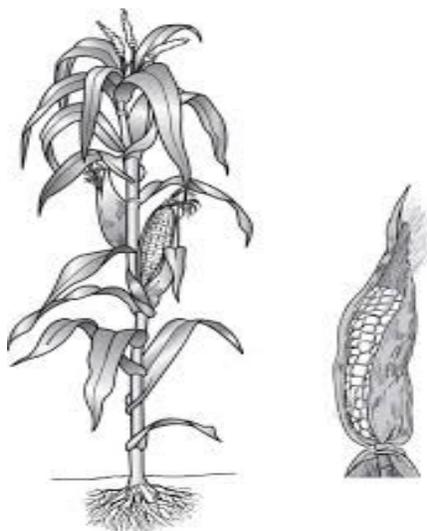
### 3.3 Área experimental

El área utilizada para el establecimiento de las plantas de maíz en el experimento fue de trecientos noventa y dos metros cuadrados, compuesta por catorce hileras de veintiocho metros de longitud (dos de ellas utilizadas como borde). Las distancias de siembra fueron de setenta y cinco centímetros entre hileras y treinta centímetros entre plantas (Anexo 1).

Posteriormente, dentro de dichas hileras se contó con parcelas útiles de cuatro metros y medio de longitud con un metro de distanciamiento entre ellas. Las plantas dentro de cada parcela útil corresponden a las unidades de muestreo para la distribución y evaluación de cada tratamiento (Anexo 2 y Anexo 3).

### 3.4 Unidad de muestreo

Las unidades experimentales corresponden a plantas de maíz, evaluadas tanto a nivel radicular como su follaje y producción de mazorcas (Figura 5). Las evaluaciones se dieron durante diferentes etapas de su ciclo fenológico, llegando hasta la cosecha y mediciones posteriores.



**Figura 5.** Planta de maíz como representación de unidad muestral en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica. Tomado de Paliwal *et al* (2001).

### 3.5 Descripción de los tratamientos

Se evaluaron cinco tratamientos correspondientes a tres diferentes productos bioestimulantes (Tricho-Eco, Alga 18 y Gamba-Bio) más un efecto combinado de dos productos (Tricho-Eco+Alga 18) y un testigo que no tuvo la aplicación de ningún bioestimulante. Dichos tratamientos se aplicaron en una variedad y un híbrido del cultivo de maíz (maíz amarillo EJM-2 y maíz blanco HR-245 respectivamente) obteniendo en este caso diez tratamientos con seis repeticiones por tratamiento (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Descripción de los tratamientos a utilizar durante el periodo del experimento en campo utilizada en un experimento de aplicación de bioestimulantes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Tratamiento	Material vegetal	Productos
1	EJM-2	Testigo
2	EJM-2	Tricho-Eco
3	EJM-2	Alga 18
4	EJM-2	Tricho-Eco+Alga 18
5	EJM-2	Gamba-Bio
6	HR-245	Testigo
7	HR-245	Tricho-Eco
8	HR-245	Alga 18
9	HR-245	Tricho-Eco+Alga 18
10	HR-245	Gamba-Bio

### 3.6 Manejo agronómico implementado

#### 3.6.1 Preparación de suelo

Se realizaron labores de eliminación de malezas en el área de cultivo, para esto se utilizó un herbicida quemante (paraquat) una semana previa a la siembra con la ayuda de una bomba de espalda de capacidad de veinte litros. Posteriormente, se

realizó la preparación del terreno con una pala, quitando los rastrojos quemados por el herbicida y dejando catorce lomillos de un ancho de setenta y cinco centímetros y veintiocho metros de largo.

### **3.6.2 Densidad de siembra**

Las distancias de siembra en la parcela experimental fueron de setenta y cinco centímetros entre hileras y treinta centímetros entre plantas. Con lo anterior se obtiene una densidad total de cuarenta y cuatro mil cuatrocientos cuarenta plantas por hectárea.

### **3.6.3 Siembra**

La siembra se realizó de manera manual a razón de dos semillas por punto de siembra, primero se sembraron seis hileras correspondientes a la variedad de maíz amarillo EJM-2, mientras que a los quince días posteriores se realizó la segunda siembra de las seis hileras de maíz blanco HR-245, esto con el objetivo de que las variedades de maíz no presentaran polinización cruzada. En ambos casos la semilla fue curada con Vitavax, Furadán y Vydate con el objetivo de reducir el daño por plagas antes y durante la germinación, también se realizó un raleo a los seis días posterior a la emergencia para dejar una sola plántula por punto de siembra.

### **3.6.4 Control de malezas**

Se realizó una aplicación de herbicida quemante (paraquat) junto con un pre-emergente (pendimentalina) previo a la siembra. Posteriormente, durante todo el ciclo se ejecutó control manual de malezas de manera semanal con la ayuda de un deshierbador y un cuchillo.

### **3.6.5 Manejo fitosanitario**

Durante el desarrollo del experimento se observaron daños causados por diversos artrópodos, por lo que fue necesaria la aplicación de insecticidas químicos, principalmente durante la siembra y en etapas tempranas del cultivo. En el Cuadro

5 se muestra el programa de manejo fitosanitario implementado en toda la parcela experimental.

**Cuadro 5.** Programa de manejo fitosanitario a la parcela experimental utilizado en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

DDS	Nombre	Tipo de producto	Ingrediente activo	Dosis
0	Furadán	Insecticida/nematicida	Carbofuran	30 kg/ha
0	Vydate	Insecticida	Oxamil	2 kg/ha
10	Dursban	Insecticida	Chorpirifos	1,5 L/ha
20	Dursban	Insecticida	Chorpirifos	1,5 L/ha
55	Nativo	Fungicida	Estrubirulina+Triazoles	0.2 kg/ha

DDS: Días después de la siembra

### 3.6.6 Fertilización

Se implementó un plan de fertilización acorde con las recomendaciones de Bonilla (2009a). Las cantidades totales se aplicaron a razón de 110 kg/ha de nitrógeno, 60 kg /ha de fósforo y 40 kg/ha de potasio (Cuadro 6). Dichas cantidades se extrapolaron con respecto al tamaño de la parcela utilizada en el experimento y la necesidad de cada elemento a utilizar.

**Cuadro 6.** Cantidades totales de macronutrientes aplicados en el programa de fertilización de un experimento de aplicación de productos bioestimulantes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Elemento	Cantidad total (kg/ha)	Cantidad por parcela (kg/392 m <sup>2</sup> )	Cantidad por planta (g)
N	110	4,31	2,48
P	60	2,35	1,35
K	40	1,57	0,90

Posteriormente, se realizaron dos aplicaciones de abono granulado fraccionadas durante el ciclo del cultivo; la primera se realizó a los cinco días

después de la siembra y la otra a los veinticinco días, además de una aplicación foliar a los cuarenta días de micronutrientes (Bayfolan ®) (Cuadro 7). Para las aplicaciones correspondientes de cada elemento se utilizaron distintas fuentes de fertilizante, por lo que en las dos aplicaciones diferían en la cantidad de cada elemento en específico, sin embargo, la suma de ambas correspondía a las cantidades totales por aplicar.

**Cuadro 7.** Fraccionamiento del programa de fertilización implementado en la parcela experimental en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

DDS	Elemento	Cantidad (kg/ha)	Cantidad (kg/parcela 392 m <sup>2</sup> )	Nombre y cantidad de producto	Observaciones
5	N	53	2,08	1 kg de 10-30-10 y	Aplicación con un 48% del N y un 5% del K total
	P	60	2,35	11 kg de 18-46-0 (DAP)	
	K	3	0,12		
25	N	57	2,23	7 kg de 26-0-26 y	Aplicación del 52% N y 95% de K restantes
	P	0	0	1 kg de 46-0-0 (Urea)	
	K	37	1,45		
40	Una sola aplicación	3	0,117	Bayfolan	Aplicación foliar

DDS: Días después de la siembra

### 3.6.7 Cosecha

En la etapa final del ciclo de cultivo se realizó un doblado de las plantas, con el objetivo de proteger la mazorca durante su proceso de secado, tanto del agua de lluvia como de plagas de la mazorca. Una vez completado el ciclo se ejecutó la cosecha de forma manual, seleccionando e identificando las mazorcas y transportándolas para sus posteriores mediciones de rendimiento.

### 3.7 Método y aplicación de los tratamientos

Para la aplicación de los tratamientos en las áreas de muestreo se utilizó una bomba de espalda con capacidad de veinte litros, llenada con la dosis comercial de los diferentes bioestimulantes. Por otro lado, todas las aplicaciones de los tratamientos se realizaron al drench, dichas aplicaciones se realizaron en dos etapas específicas del ciclo de cultivo; la primera de ellas un día posterior la siembra y la segunda a los diez días después de la siembra.

Las dosis de aplicación de los tratamientos son reportadas en términos de kilogramos por hectárea o litros por hectárea, por lo que dichos datos fueron extrapolados en términos del área de la parcela experimental para su posterior aplicación (Cuadro 8). Los tratamientos fueron preparados de diferentes formas previo a su aplicación, en el caso de Alga 18 y Gamba-Bio solo fue necesario pesar la dosis y vaciar su contenido en una bomba de espalda, mientras que para aplicar el producto Tricho-Eco se debió pesar la dosis y hacer un lavado previo con el contenido en una malla, esto para que el ingrediente activo se diluya en el líquido de aplicación. Por otro lado, el área de aplicación de los tratamientos en la parcela experimental se calculó sumando el área de cada parcela útil por repetición.

**Cuadro 8.** Dosis de productos utilizados para la elaboración del experimento de aplicación de productos bioestimulantes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Nombre del producto	Dosis por hectárea	Cantidad de agua/bomba	Dosis por planta	Dosis por área de parcela experimental (27 m <sup>2</sup> )
Tricho-Eco	1,5 kg	4 L	0,038 g	4.05 g
Alga 18	0.75 kg	4 L	0,017 g	2.025 g
Gamba Bio	25 L	4 L	0,68 ml	81 ml
Tricho-Eco+Alga 18	1,5 kg+0,75 kg	4 L	0,055 g	6,08 g

Para la toma de datos sobre las distintas variables a evaluar, se utilizó una hoja de evaluación previamente preparada, esto con el objetivo de agilizar los procesos de muestreo y llevar un mayor orden de todos los datos durante el experimento. También, los datos tomados fueron registrados en el programa de computadora Microsoft Office Excel versión 2013.

### **3.8 Variables de respuesta**

Las distintas variables fueron tomadas en determinadas etapas del ciclo fenológico del cultivo. Por lo que para su análisis posterior fueron divididas en tres grupos, el primero corresponde a las características morfológicas de la planta, mientras que las otras dos son correspondientes a las características de la mazorca y de los componentes del rendimiento de grano. A continuación, se procede a detallar la lista de variables que fueron evaluadas, así como los días después de la siembra en que fueron medidas y el método para la toma de datos.

#### **3.8.1 Variables de crecimiento morfológico**

##### **3.8.1.1 Altura de la planta**

Se determinó la altura en metros de las plantas de cada tratamiento durante un periodo comprendido entre el día veinticinco después de la siembra hasta el final del ciclo productivo. Los datos fueron tomados cada diez días y se realizó en cinco plantas de cada una de las seis repeticiones de los tratamientos. Para lo anterior se utilizó una cinta métrica y una libreta de campo. La altura se midió en las etapas iniciales desde la base del suelo hasta la hoja más alta, y posterior a la floración se midió desde la base del suelo hasta el punto de inicio de la flor masculina.

##### **3.8.1.2 Peso seco de la raíz**

Se determinó el peso seco de la raíz de las plantas en los distintos tratamientos, para lo anterior se tomaron tres plantas por repetición y se delimitó un volumen de suelo alrededor de la planta de treinta centímetros de ancho, por treinta de largo y a una profundidad de treinta centímetros. Luego se extrajo cuidadosamente la muestra de suelo con la raíz con un palín y un balde, luego se dejó secar por un día

y se realizaron procesos de tamizado de suelo y lavado de raíces, esto con el objetivo de que la muestra no presentara sobranes de suelo u otras partículas que pudieran alterar el peso de la muestra de raíz.

Posteriormente, las muestras fueron envueltas en bolsas de papel y colocadas en un horno a 95°C por setenta y dos horas. Al cabo de los tres días se pesaron las muestras usando una balanza digital. Las evaluaciones se realizaron al día treinta y sesenta después de la siembra.

#### **3.8.1.3 Peso seco de la planta**

En simultáneo con la variable anterior, se realizó una medición del peso seco de la planta en los distintos tratamientos, para esto se tomaron tres plantas por repetición, se cortaron a una distancia de 5 cm del suelo y se colocó en bolsas de papel, las cuales se colocaron en un horno a 95°C por setenta y dos horas, para luego pesar las muestras usando una balanza digital. Las evaluaciones se realizaron en los días treinta y sesenta después de la siembra.

#### **3.8.1.4 Grosor de tallo**

Cuando ambas variedades llegaron el día ciento diez después de la siembra, se empezaron a realizar las labores de cosecha de la plantación. Para lo anterior se seleccionaron quince plantas en cada repetición de los tratamientos y se les realizó una medición del grosor de su tallo con una cinta métrica a una altura de cuarenta centímetros de la base del suelo, esto con el objetivo de que la toma de datos fuera uniforme para todos los tratamientos.

### **3.8.2 Variables de características de la mazorca**

#### **3.8.2.1 Cantidad de mazorcas**

A las quince mazorcas por repetición que fueron seleccionadas anteriormente se les realizó también una medición de la cantidad de mazorcas por planta. En el caso de las plantas que tenían más de una mazorca se les realizó un proceso de

clasificación, en el cual se identificó la mazorca principal y las mazorcas secundarias.

### **3.8.2.2 Longitud de mazorca con envoltura**

A la mazorca principal de cada una de las plantas seleccionadas se les realizó una medición de su longitud justo en el momento de la cosecha. Lo anterior se realizó con la ayuda de una cinta métrica.

### **3.8.2.3 Peso de mazorca con envoltura**

Las quince mazorcas seleccionadas por repetición fueron identificadas en la plantación según su número de mazorca, número de repetición y tratamiento. Posteriormente fueron llevadas al laboratorio de fisiología vegetal, donde se les tomó el peso de la mazorca con la ayuda de una balanza digital.

### **3.8.2.4 Longitud de mazorca sin envoltura**

A todas las mazorcas seleccionadas se les retiró la envoltura que las cubre en el campo, para luego tomar una segunda medida de la longitud. Esta medida se llevó a cabo con la ayuda de una cinta métrica, midiendo el elote de extremo a extremo.

### **3.8.2.5 Peso de mazorca sin envoltura**

A todas las mazorcas también se les realizó una medición del peso sin envoltura, con esto se obtuvo un peso más preciso del elote y cuánto de dicho peso correspondía a la envoltura de la mazorca. Lo anterior se realizó con la ayuda de una balanza digital.

### **3.8.2.6 Número de hileras**

A cada una de las quince mazorcas se les realizó un conteo del número de hileras presentes.

### **3.8.2.7 Grosor de mazorca**

Con la ayuda de una cinta métrica se realizó una medición del grosor de la mazorca sin envoltura. Lo anterior fue realizado en la parte central de la mazorca, esto con el objetivo de uniformizar la toma de datos.

### **3.8.3 Variables de rendimiento de grano**

#### **3.8.3.1 Peso de granos totales**

Las quince mazorcas seleccionadas por repetición fueron desgranadas en su totalidad y todos los granos por mazorca fueron colocados en frascos. Posteriormente se les tomó la medida de su peso total con la ayuda de una balanza digital previamente tarada con el peso del frasco vacío.

#### **3.8.14 Peso de cien granos**

A cada mazorca desgranada se les contabilizó un total de cien granos, estos fueron colocados en frascos y pesados con una balanza digital previamente tarada.

#### **3.8.15 Rendimiento de grano seco**

Se estimó el rendimiento de grano seco en los distintos tratamientos, para esto, se tomaron quince plantas por repetición, y utilizando el dato de peso de granos por mazorca se realizó una extrapolación a un dato de rendimiento reportado en kilogramos de grano seco por hectárea. Dicha extrapolación se realizó multiplicando el dato de peso de granos por mazorca con el dato de la densidad de plantas por hectárea, obteniendo así un valor estándar del rendimiento total.

### **3.9 Método para la toma de datos**

Durante el proceso de medición de las variables se tomaron consideraciones que contribuyeron a garantizar el orden, homogeneidad y objetividad del proyecto. Se implementó el uso de una hoja de muestreo para la toma de datos tanto en el campo como en el laboratorio. Por otro lado, la medición de cada variable en los tratamientos fue realizada de la misma manera para todas las parcelas útiles.

### 3.10 Modelo estadístico

Se implementó un modelo estadístico de bloques generalizados, el cual se representa de la siguiente forma:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + A_i * B_j + \epsilon_{ij}$$

Donde  $\mu$  se refiere a la media general,  $A_i$  y  $B_j$  corresponden a los componentes de estudio [(productos utilizados (A) y las variedades (B))],  $A_i * B_j$  representan la interacción entre ambos factores y  $\epsilon_{ij}$  es el error experimental. En cada una de las variables de respuesta se realizó un análisis mediante la técnica de modelos lineales y mixtos (MLMix) con corrección del supuesto de heteroscedasticidad utilizando la función "VarIdent". Las diferencias entre tratamientos fueron analizadas mediante una prueba de comparación de Bonferroni, con un nivel de significancia del 0,05.

Se realizaron análisis de correlación para las variables de altura de la planta, peso seco de raíz, peso seco de la planta, grosor de tallo, peso, grosor y longitud de mazorca, así como el peso de granos y rendimiento de grano seco, con un nivel de significancia del 0,05. Los análisis se ejecutaron de la misma manera con el uso del programa Infostat (Di Rienzo *et al.* 2017).

### 3.11 Grados de libertad del error

El siguiente cuadro muestra los grados de libertad para las variables del ensayo.

**Cuadro 9.** Grados de libertad del diseño experimental del proyecto de aplicación de productos bioestimulantes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Fuente de variación	Grados de libertad
Producto (A)	4
Variedad (B)	1
Interacción (A*B)	4
Error experimental	50
Total	59

### 3.12 Aspectos organizacionales

En el Cuadro 10 se observa el cronograma de actividades durante la etapa experimental del proyecto. El maíz posee un ciclo de cultivo de aproximadamente 115-120 días, por lo que se contemplaron 16 semanas para la realización de las actividades. Las labores iniciaron desde la preparación de suelo hasta la cosecha y toma de variables para las dos variedades de maíz. Además, al estar las variedades sembradas con quince días entre sí, la cosecha se realizó en dos momentos diferentes, primero con la variedad de maíz EJM-2 y posteriormente el híbrido de maíz HR-245.

**Cuadro 10.** Cronograma de actividades para el periodo experimental del proyecto de aplicación de productos bioestimulantes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Actividades	Periodo de Julio 2019 a Enero 2020															
	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5	Sem 6	Sem 7	Sem 8	Sem 9	Sem 10	Sem 11	Sem 12	Sem 13	Sem 14	Sem 15	Sem 16
Preparación de suelo	X															
Siembra	X		X													
Aplicación de tratamientos	X				X											
Fertilización granulada		X			X											
Aplicaciones fitosanitarias		X		X				X							X	
Control de malezas	X		X		X		X		X		X		X			
Cosecha																X
Medición de variables		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

### **3.13 Recursos materiales**

#### **3.13.1 Material vegetal**

Para el experimento se dispuso de cinco kilogramos de semilla de las dos variedades diferentes de maíz. Dicho material fue sembrado con un rango de quince días entre una y otra dentro de la parcela experimental, con el objetivo de evitar la polinización cruzada.

#### **3.13.2 Tratamientos**

Los productos utilizados para la aplicación de los tratamientos correspondieron a tres bioestimulantes comerciales, dos de ellos (Tricho-Eco y Alga 18) proporcionados por la empresa BioEco, mientras que el Gamba-Bio fue donado por un agente de ventas de la empresa RACKAM.

#### **3.13.3 Materiales para las labores de manejo**

Para las labores de manejo agronómico durante el ciclo del cultivo fueron utilizados diversos productos y herramientas. Se usaron herbicidas pre y post emergencia, productos para el manejo fitosanitario como fungicidas e insecticidas, así como los fertilizantes granulados. Por otra parte, también se necesitaron deshierbadores, cuchillos, estacas para marcar las áreas de muestreo, una bomba de espalda para la aplicación de los productos y tratamientos, entre otros.

#### **3.13.4 Material para medición de las variables**

Para la toma de muestras en campo, se utilizó un cuchillo para realizar los cortes al tallo para las mediciones de materia seca. Además, se utilizó un palín para retirar las muestras de suelo con raíces y llevarlas al sitio de lavado. Para la toma del resto de las variables como longitud de mazorcas, grosor de tallo y altura de la planta se utilizó una cinta métrica. También, se usó una libreta de campo, marcadores y lapiceros.

### **3.13.5 Material de laboratorio**

Una vez tomadas las muestras del campo, se necesitaron diferentes materiales, dentro de los que se menciona una cinta métrica, un horno de secado, una balanza digital, bolsas de papel y una computadora portátil para el registro de los datos.

### **3.14 Análisis económico**

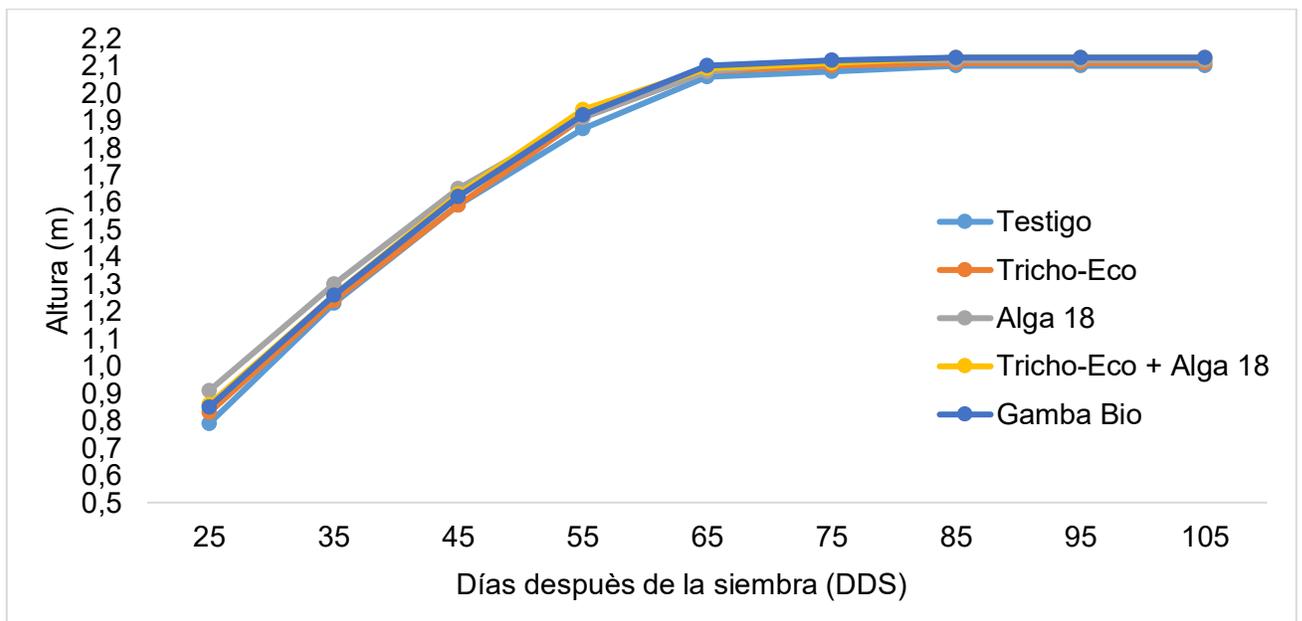
Con respecto al análisis económico del proyecto, se determinó la relación costo-beneficio de la aplicación de los diferentes productos bioestimulantes. Se realizó un sondeo sobre el costo que representa la compra y uso de los bioestimulantes en una hectárea de maíz, ya que este es un insumo extra al plan de fertilización del cultivo. Por otro lado, se evaluó el efecto que tuvo el producto sobre el rendimiento de grano seco de la planta de maíz (tratamiento testigo), para estimar posteriormente la ganancia según el precio de venta nacional.

Una vez obtenidos estos dos valores, se realizó un estudio comparativo entre el costo de la aplicación del producto por hectárea y la diferencia en el rendimiento que este provocó sobre la plantación. Lo anterior tuvo como objetivo determinar si realmente existe una ventaja económica de implementar el uso de los bioestimulantes en el desarrollo y producción del cultivo de maíz, donde el productor se vea beneficiado con mayores ganancias o reducción en los costos de producción.

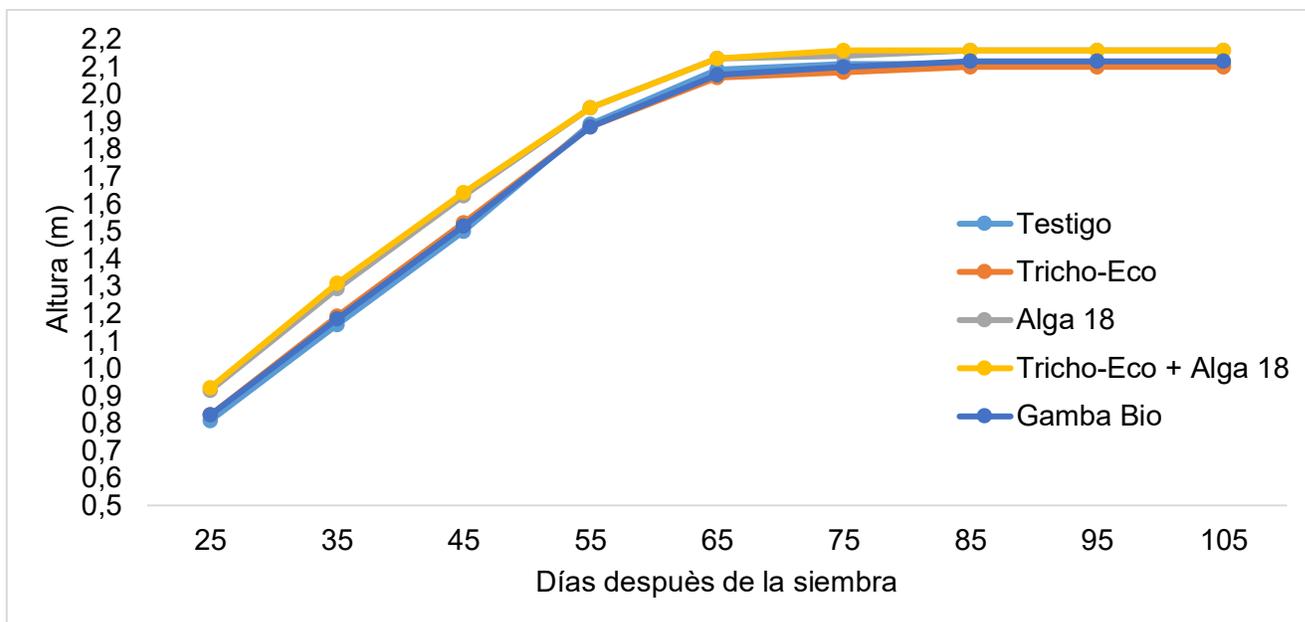
## 4 RESULTADOS y DISCUSIÓN

### 4.1 Crecimiento morfológico

En la Figura 6 y Figura 7 se muestra el comportamiento de la altura de la planta durante las distintas etapas del desarrollo fenológico. A partir del día 25 y hasta el día 55 después de la siembra (dds), se observó un crecimiento continuo, llegando a un punto de estabilidad luego del día 65 dds. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la interacción de los productos bioestimulantes con las variedades de maíz utilizadas, con un promedio de altura al final del ciclo de 2,12 m para la variedad de maíz amarillo y de 2,13 m para el híbrido blanco.



**Figura 6.** Comportamiento de la altura de la variedad de maíz amarillo EJM-2 durante los distintos días después de la siembra en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.



**Figura 7** Comportamiento de la altura del híbrido de maíz blanco HR-245 durante los distintos días después de la siembra en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Laos (2017) al comparar tres diferentes productos bioestimulantes en tres diferentes dosis sobre el cultivo de maíz, no reporta diferencias estadísticamente significativas para la altura de la planta. En dicho estudio, tanto el factor "producto" como el factor "dosis" no influyeron en la variable antes mencionada, con lo que menciona que esta característica puede ser afectada por otros factores como el medio ambiente y el material genético. Lo anterior concuerda con el presente estudio, debido a que no se observaron diferencias estadísticas para la altura de la planta de maíz.

Por otro lado, los resultados obtenidos en la Figura 6 y Figura 7 concuerdan con lo obtenido por Rodríguez (2013) al evaluar tres diferentes productos bioestimulantes en el comportamiento de dos híbridos de maíz blanco. En dicho experimento se reporta que ninguno de los tratamientos evaluados fue estadísticamente diferente en la altura de la planta.

El tipo de bioestimulante también se considera un factor relevante si se busca un incremento en la altura de la planta. Gonzales (2010) al estudiar la altura de la

planta ante el uso de bioestimulantes a base de fitohormonas como auxinas y giberelinas y muestra que, al aumentar la dosis y el fraccionamiento de las aplicaciones de dichos productos, se puede ejercer un efecto significativo para dicha variable. El autor afirma que, en dosis bajas con una sola aplicación al momento de la siembra, el producto fue estadísticamente similar al testigo.

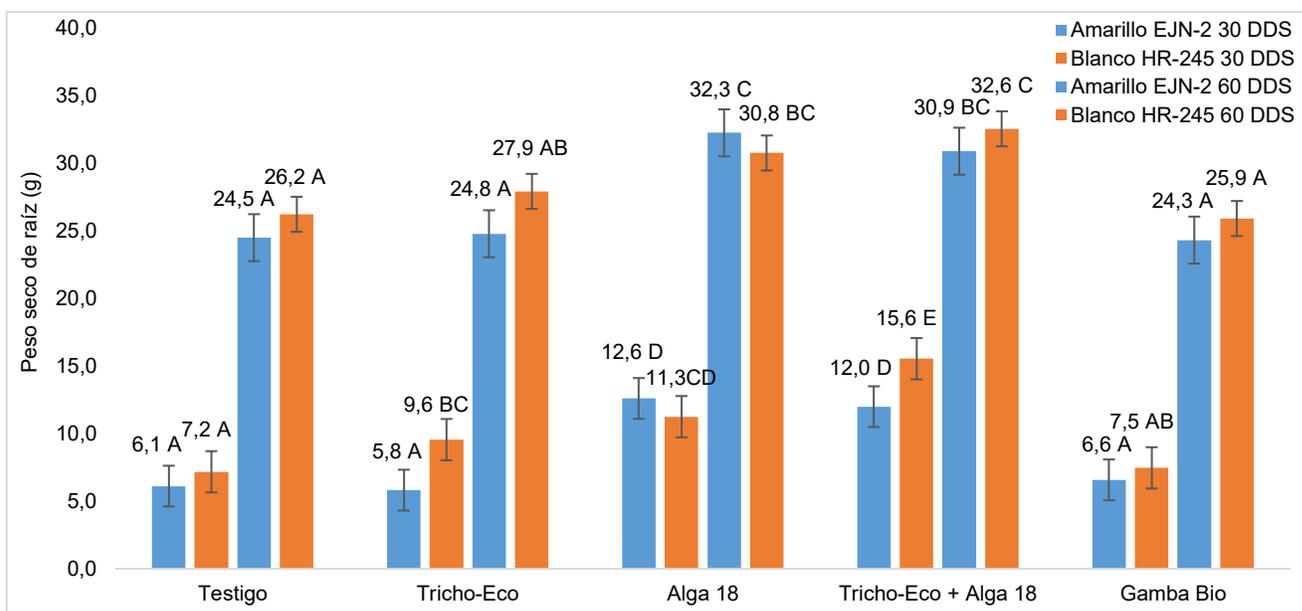
Con respecto al peso seco de raíz, se observó que el híbrido de maíz blanco obtuvo un promedio estadísticamente mayor que la variedad de maíz amarillo (p-valor <0,0001) (Anexo 4). Esta diferencia en el promedio de peso seco de raíz se mantuvo tanto en el día 30 como en el día 60 después de la siembra.

**Cuadro 11.** Promedio de peso seco de raíz para la variedad de maíz amarillo EJM-2 y maíz blanco HR-245. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

<b>Variedad</b>	<b>Días después de la siembra</b>	<b>Peso seco de raíz (g)</b>	<b>Desviación estándar</b>
Amarillo EJM-2	30	8,18 A	2,65
Blanco HR-245	30	9,34 B	2,52
Amarillo EJM-2	60	27,19 A	5,26
Blanco HR-245	60	28,32 B	4,08

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, Bonferroni (p<0,05).

En la Figura 8 se muestra que la interacción del producto con la variedad. Se evidenció un efecto significativo para la variable del peso seco de raíz en los días 30 y 60 después de la siembra (p-valor <0,0001 y 0,01 respectivamente) (Anexo 4). Los tratamientos que contenían el producto Alga 18 y Tricho-Eco+Alga 18 alcanzaron los mayores valores tanto para el maíz blanco como el amarillo. Además, los tratamientos que contenían el producto Tricho-Eco mostraron diferencias significativas solo en el maíz blanco. Dicho efecto se pudo observar sólo durante el día 30 después de la siembra, ya que, al transcurrir los 60 días el producto no se diferenció estadísticamente del testigo. Por otro lado, el producto Gamba Bio no presentó diferencias estadísticas con respecto al testigo para ninguna variedad.



**Figura 8.** Promedio de peso seco de raíz para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJN-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, Bonferroni ( $p < 0,05$ ).

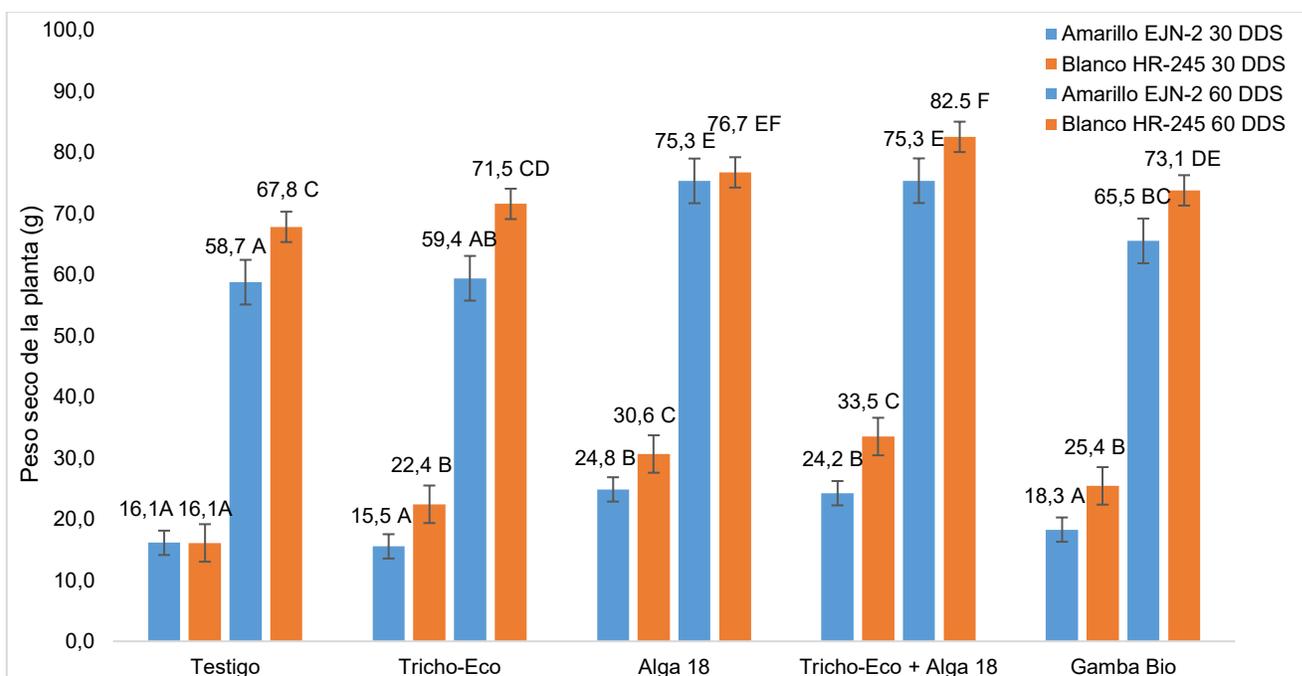
De la misma forma que en el apartado anterior, se encontraron diferencias significativas para la variable de peso seco de la planta entre las dos variedades utilizadas (Cuadro 12). En las dos mediciones realizadas se observó que el maíz blanco HR-245 alcanzó valores más altos con respecto al maíz amarillo EJN-2 ( $p$ -valor  $< 0,0001$ ) (Anexo 5).

**Cuadro 12.** Promedio de peso seco de la planta para la variedad de maíz amarillo EJN-2 y maíz blanco HR-245. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Variedad	Días después de la siembra	Peso seco de la planta (g)	Desviación estándar
Amarillo EJN-2	30	18,83 A	4,72
Blanco HR-245	30	23,04 B	6,20
Amarillo EJN-2	60	64,46 A	9,76
Blanco HR-245	60	72,99 B	6,98

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, Bonferroni ( $p < 0,05$ ).

En la Figura 9 se muestra que la interacción del producto con la variedad presentó un efecto estadísticamente significativo tanto en el día 30 como en el día 60 después de la siembra (p-valor <0,0001 y 0,0034 respectivamente) (Anexo 5). Al igual que con la variable de peso seco de raíz, los tratamientos con los productos Alga 18 y Tricho-Eco+Alga 18 mostraron los valores más altos para el peso seco de la planta en los dos materiales de maíz estudiados. También, se observó que el producto Tricho-Eco presentó un efecto significativo solo para el maíz blanco durante la medición realizada en el día 30 después de la siembra. A pesar de lo anterior, el tratamiento que contenía Tricho-Eco+Alga 18 alcanzó los valores más elevados (Figura 9). Por otro lado, para el producto Gamba-Bio, se encontraron diferencias significativas en el peso seco de la planta el maíz amarillo a partir de los 60 días después de la siembra, mientras que para el maíz blanco se observó durante ambas mediciones.



**Figura 9.** Promedio de peso seco de la planta para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJN-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, Bonferroni (p<0,05).

Zermeño *et al* (2015) señalan que los bioestimulantes a base de extractos de algas marinas contienen una diversa cantidad de sustancias bioactivas, dentro de las que se encuentran macro y micronutrientes, compuestos orgánicos y reguladores de crecimiento. Dichas sustancias contribuyen a estimular procesos fisiológicos en la planta, proporcionan una mayor disponibilidad de nutrientes y ayudan a potenciar un mayor desarrollo y rendimiento productivo.

Por otra parte, Hernández *et al* (2018) enfatizan que los extractos de algas marinas poseen concentraciones de fitohormonas (mayormente auxinas y citoquininas) las cuales pueden potenciar el desarrollo de la planta y mostrar un mayor crecimiento en la longitud y densidad de raíces en etapas iniciales del ciclo productivo. Lo anterior puede justificar lo observado tanto en la Figura 8 como en la Figura 9, donde los tratamientos que contenían el producto Alga 18 mostraron mayor un mayor peso seco de raíz y peso seco de la planta.

Briceño (2011) indica que todo extracto a base de algas marinas contiene grandes cantidades de componentes orgánicos como polisacáridos, polifenoles y péptidos, además de las ya mencionadas fitohormonas. Dicho conjunto de moléculas ejerce un efecto de señalización y coordinación de la actividad celular en la planta, ejerciendo una respuesta fisiológica que contribuye a incrementar el aprovechamiento de los nutrientes, resistencia al estrés y por ende un mayor desarrollo en el cultivo.

Briceño *et al* (2014) también mencionan que la presencia y degradación de polisacáridos en los extractos del alga marina *Macrocystis pyrifera* (componente principal del producto Alga 18) ejercen un efecto de inducción metabólica en la planta, con lo que se contribuye a aumentar el crecimiento de la biomasa y raíz en plantas de tomate y frijol. Con lo anterior se afirma que no solo las fitohormonas presentes en estos productos poseen un efecto estimulante en la planta, sino que se destaca la acción de compuestos de mayor tamaño como los polisacáridos (específicamente el alginato), los cuales pueden contribuir de forma sinérgica con los demás.

La composición química de los extractos a base de algas ejerce diferencias en su efecto como bioestimulante. Se menciona que el uso de diversos extractos comerciales de algas genera una respuesta morfológica y fisiológica diferente en plantas de maíz. Por otra parte, se evidencia que algunos productos mejoran la capacidad de formación de raíces debido a un alto contenido de ácido indolacético (IAA), mientras que otros extractos mostraron mejorías en la capacidad de nutrición de la planta debido a mayor presencia de polifenoles (Ertani *et al* 2018).

Alvarado (2015) reporta que el uso de productos bioestimulantes a base de algas marinas generaron mayores promedios de longitud de raíces y peso de raíces en el cultivo de caña de azúcar. Los productos aplicados en etapas tempranas del ciclo presentaron mayor efectividad en comparación con los tratamientos aplicados en etapas intermedias, siendo estos últimos similares al testigo (fertilización convencional).

En adición, Singh *et al* (2014) mencionan que los extractos de algas marinas poseen potencial para mitigar los daños causados a la planta por estrés hídrico. Al inocular extractos de algas pardas en el suelo se logra una mayor absorción y almacenamiento del agua en periodos de sequía, así como un efecto antioxidante que contribuye a retrasar el marchitamiento por estrés hídrico. Por otra parte, también existen beneficios como la tolerancia al estrés térmico, este efecto se les atribuye a los componentes orgánicos asociados con los extractos de algas marinas, los cuales incrementan la eficiencia fotoquímica y la actividad radical ante condiciones de estrés.

Lo explicado anteriormente supone que los productos bioestimulantes de este tipo no solo benefician el aprovechamiento de los nutrientes y la fisiología de la planta, sino que se posee el potencial de protección ante una situación de estrés abiótico. Esto resulta ventajoso dado las condiciones que presenta la región huetar Norte, donde las condiciones climáticas generan susceptibilidad a estrés térmico e hídrico en diversos cultivos.

Un estudio realizado por Castellanos (2006) reporta que la aplicación de *Trichoderma harzianum* en diferentes fraccionamientos para el cultivo de maíz y sorgo no presentó diferencias significativas para la variable de materia seca. Sin embargo, se demostró que al realizar tres aplicaciones se poseen mayores efectos para la variable de peso seco de raíz que al hacer una sola aplicación. Lo anterior concuerda con lo observado en la Figura 9 para la variedad de maíz amarillo al no observarse una diferencia significativa en esta variable, pero difiere en el caso del maíz blanco al mostrar un efecto estadístico con respecto al testigo.

Por otra parte, Tavera *et al* 2017 indican que la utilización de *Trichoderma harzianum* (componente del producto Tricho-Eco) fomenta la conversión de exudados de la raíz y la semilla en sustancias promotoras de crecimiento vegetal (auxinas, giberelinas y citoquininas). Al aplicar distintas dosis de este hongo en el cultivo de maíz, se registró un efecto positivo para las variables de peso seco de raíz y peso seco de planta. Lo anterior difiere con diversos resultados obtenidos en las Figura 8Figura 9, ya que ante la aplicación del producto Tricho-Eco no se observaron diferencias con respecto al testigo en la variedad de maíz amarillo. Sin embargo, en el caso del híbrido de maíz blanco si se evidenció un efecto estadísticamente significativo en ambas variables.

García (2017) menciona que los bioestimulantes a base de aminoácidos pueden derivar de la hidrólisis de distintas fuentes proteicas (de origen animal o vegetal) cuyo efecto en bioestimulación radica en la mejora de los procesos fotosintéticos, fácil asimilación de aminoácidos esenciales para el crecimiento vegetal y un efecto antioxidante que contribuye a la mejora en la biomasa de la planta. Lo anterior coincide con lo observado en las Figura 9Figura 10 debido a que se encontraron diferencias significativas para el grosor de tallo y el peso seco de la planta con el uso del producto Gamba Bio, aunque ésta no evidenció un efecto positivo en el peso seco de raíz (Figura 8).

Du jardín (2015) también menciona que los efectos directos de los aminoácidos como agentes bioestimulantes incluyen la regulación de enzimas involucradas en la

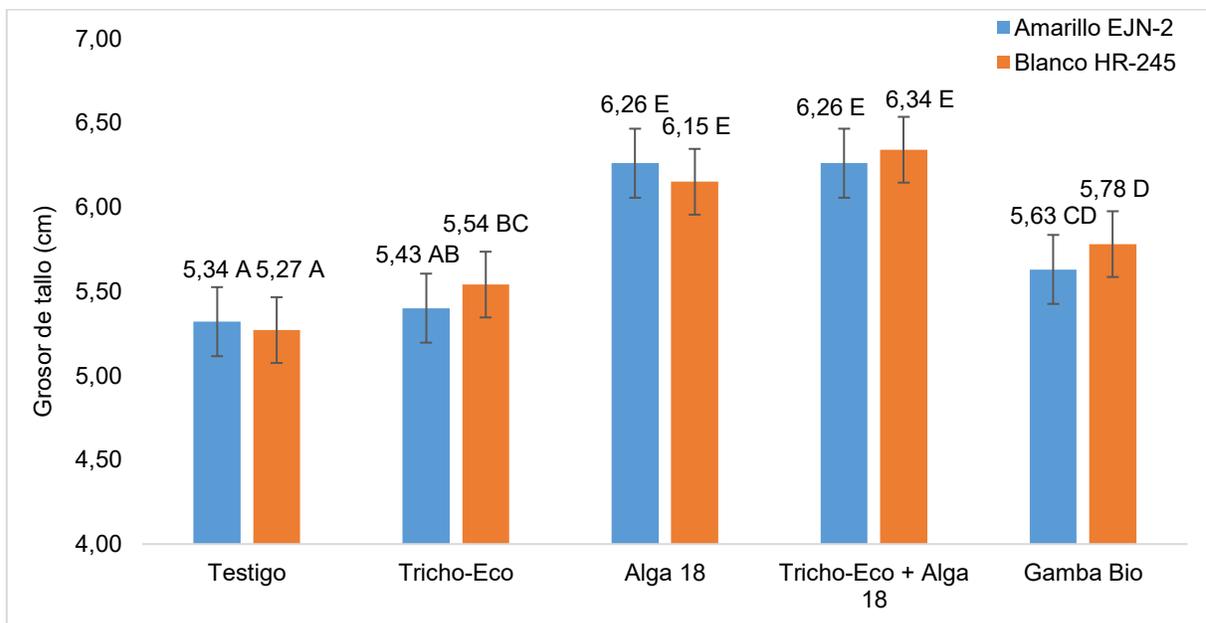
asimilación del nitrógeno, así como la absorción a nivel radical de dicho elemento, mejorando su eficiencia a un menor costo energético para la planta. Por otro lado, los efectos indirectos que poseen estos productos son la mejora en la actividad microbiana del suelo, creando mayor fertilidad, además de poseer un efecto antioxidante como consecuencia de la eliminación de radicales libres, con lo que se contribuye a reducir el estrés abiótico.

Diversos estudios han evaluado el efecto bioestimulante de los productos a base de aminoácidos. Mayor (2009) reportó un incremento en la superficie foliar y biomasa en plantas de caña de azúcar al compararlos con un manejo de fertilización mineral. En adición, Terry *et al* (2018) encontró un efecto significativo en la biomasa, tamaño y calidad de frutos de tomate al evaluar aminoácidos aplicados combinación con fertilización mineral y fertilización orgánica. Neto *et al* (2014), indican que la aplicación foliar de aminoácidos en diversas etapas del ciclo del maíz provocó un incremento en el contenido de macronutrientes, proteína y clorofila, contribuyendo a un mejor desarrollo morfofisiológico.

Con base en lo anterior, se enfatiza que el mecanismo de acción de los bioestimulantes no es específico para todos los cultivos, y que los ensayos *tanto in vitro* como *in situ*, son en ocasiones insuficientes a la hora de explicar su efectividad. Los ensayos realizados a nivel genómico con la ayuda de la biología molecular confirman que la utilización de diversos bioestimulantes pueden modificar la expresión génica de la planta. En el caso del cultivo de maíz, Briglia *et al* (2019) demostró que uno de los prototipos de bioestimulantes a base de algas marinas estudiados mostró una mejor regulación de los genes específicos involucrados en el metabolismo de fitohormonas (auxinas y citoquininas), así como la asimilación del nitrógeno, el fósforo y los azúcares, todos factores de gran relevancia en óptimo desarrollo del cultivo

En el caso de las mediciones del grosor de tallo, no se encontraron diferencias significativas entre la variedad maíz amarillo y el híbrido de maíz blanco. Sin embargo, la interacción de producto con la variedad si mostró un efecto

estadísticamente significativo (p-valor 0,0066) (Anexo 6). De la misma forma que las dos variables presentadas anteriormente, se observó que los tratamientos con los productos Alga 18 y Tricho-Eco+Alga 18 alcanzaron los mayores valores. El producto Gamba-Bio se diferenció del testigo en ambos casos, mientras que para los tratamientos que contenían Tricho-Eco solo se observaron diferencias estadísticas para el maíz blanco (Figura 10).



**Figura 10.** Grosor de tallo promedio para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJN-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, Bonferroni ( $p < 0,05$ ).

La aplicación de los distintos productos bioestimulantes en el ensayo contribuyeron a incrementar el diámetro del tallo en etapas iniciales del ciclo fenológico (Figura 10). Lo anterior trae consigo ventajas en etapas posteriores del cultivo como una mayor resistencia contra el acame, así como una mayor capacidad de almacenamiento y transporte de nutrientes en las etapas de llenado del fruto (Fajardo 2015). Por otra parte, Juárez (2013) también menciona que el tallo de maíz posee un metabolismo dinámico, el cual tiene la capacidad de almacenar carbohidratos y modular el suministro de estos azúcares a los diferentes tejidos de la planta y órganos sumidero acorde a su capacidad. Lo anterior supone que un

incremento en su diámetro podría contribuir a una mejora en la dinámica de los nutrientes.

Los valores encontrados en la (Figura 10) mostraron que los tratamientos con productos bioestimulantes a base de algas marinas (Alga 18) obtuvieron mejores resultados para la variable de grosor de tallo. Lo anterior concuerda con Alvarado (2015) quien reportó que aplicaciones del bioestimulante "Algamar" en diferentes dosis al momento de la siembra y la fertilización lograron incrementar el diámetro de tallo en plantas de caña de azúcar. Por otro lado, Neto et al (2014) también observó un incremento en el diámetro de tallo de plantas de maíz al evaluar tres bioestimulantes a base de fitohormonas.

#### 4.2 Características de la mazorca

Con respecto a la cantidad de mazorcas por planta, en el Cuadro 13 se muestra como la variedad de maíz amarillo se diferenció estadísticamente del maíz blanco, ya que este último no presentó más de una mazorca por planta, mientras que en algunas plantas de maíz amarillo si se logró contabilizar de dos a tres mazorcas. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas para la interacción entre el producto y la variedad en esta variable (Anexo 7).

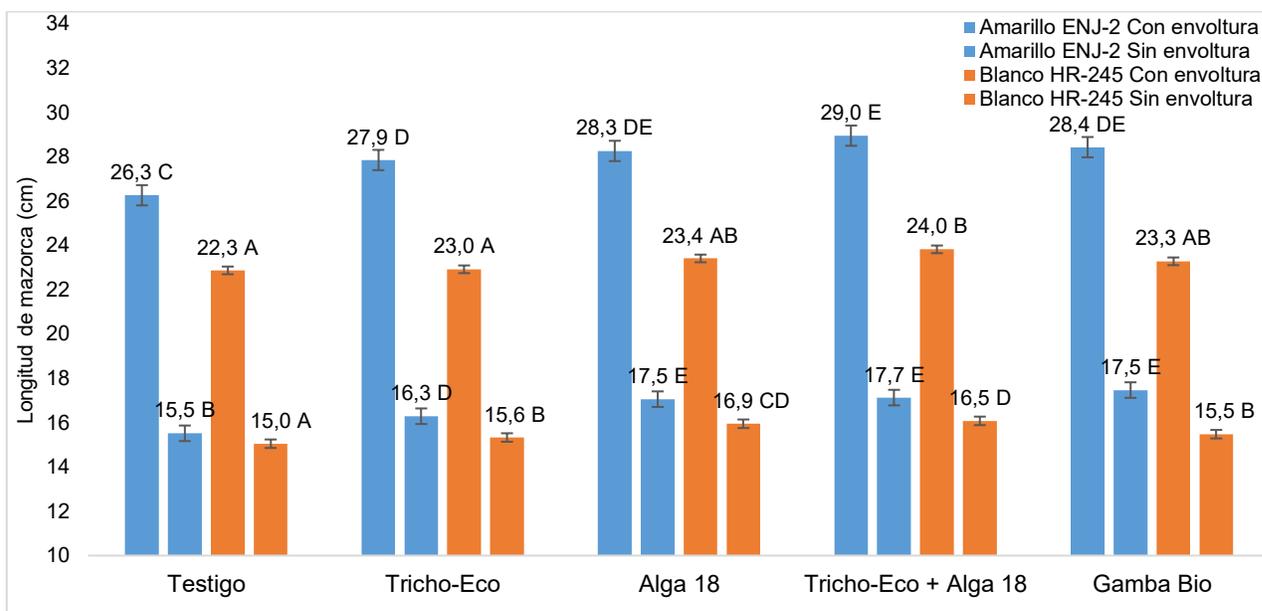
**Cuadro 13.** Cantidad promedio de mazorcas por planta reportadas para la variedad de maíz amarillo EJM-2 y el híbrido de maíz blanco HR-245. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Variedad	Cantidad de mazorcas	Desviación estándar
Amarillo EJM-2	1,2 A	0,39
Blanco HR-245	1,0 B	0,00

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, Bonferroni ( $p < 0,05$ ).

La longitud de mazorca también mostró diferencias significativas entre las dos variedades utilizadas en el ensayo, esto para la mazorca con y sin envoltura ( $p$ -valor  $> 0,0001$  en ambos casos) (Figura 11). Además, también se encontró un efecto estadístico en ambas interacciones producto-variedad ( $p$ -valor  $> 0,0001$ ) (Anexo 8). Cuando la mazorca aún conserva su envoltura se observa para el maíz amarillo que

todos los tratamientos se diferenciaron del testigo, mientras que, para el maíz blanco solo el producto Tricho-Eco+Alga 18 mostró diferencia con respecto al testigo. Por otro lado, para la variable de longitud de mazorca sin envoltura se muestra que, tanto en el maíz blanco como en el amarillo, todos los tratamientos se diferencian estadísticamente del testigo.



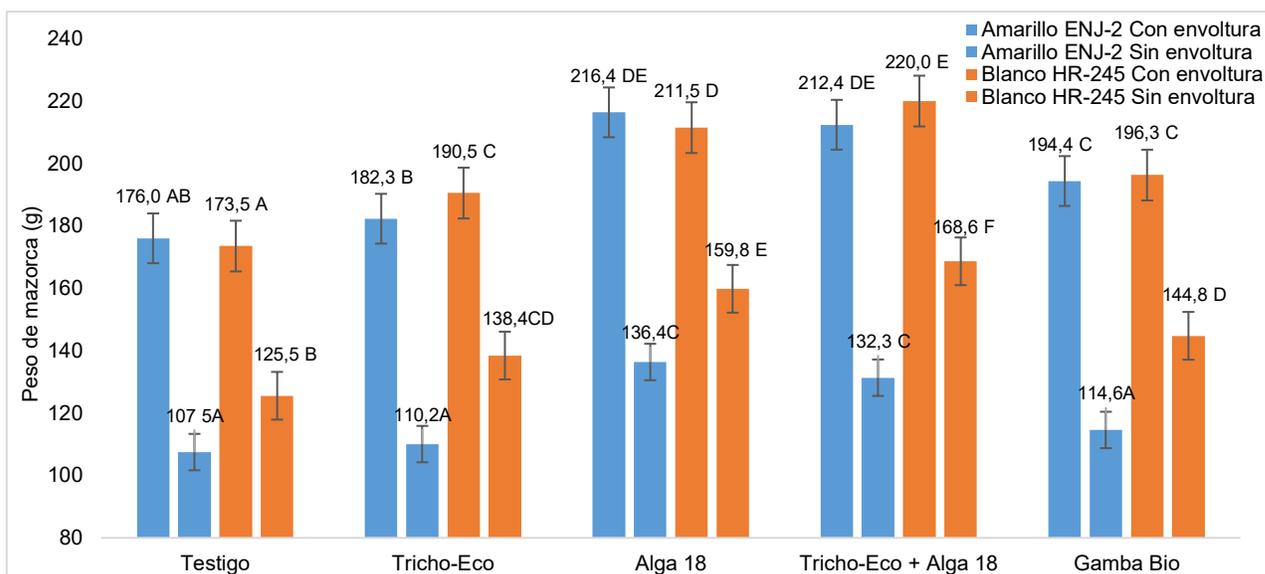
**Figura 11.** Longitud promedio de mazorca con y sin envoltura para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJN-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, Bonferroni ( $p < 0,05$ )

Para la variable de peso de mazorca, se encontró que no existen diferencias significativas entre variedades para el peso de mazorca con envoltura ( $p$ -valor 0,06). Sin embargo, a la hora de realizar la medición del peso sin envoltura se observó un efecto significativo ( $p$ -valor  $> 0,0001$ ) (Anexo 8). En cuanto a la interacción producto-variedad se observaron diferencias significativas para peso de mazorca con y sin envoltura ( $p$ -valor  $> 0,0001$  en ambos casos) (Figura 12).

En cuanto a los tratamientos, el peso promedio de mazorca con envoltura se diferenció estadísticamente del testigo en el maíz blanco y amarillo. Sin embargo, en el caso del peso promedio de mazorca sin envoltura, se muestra que para el maíz amarillo solo los tratamientos con los productos Alga 18 y Tricho-Eco+Alga 18

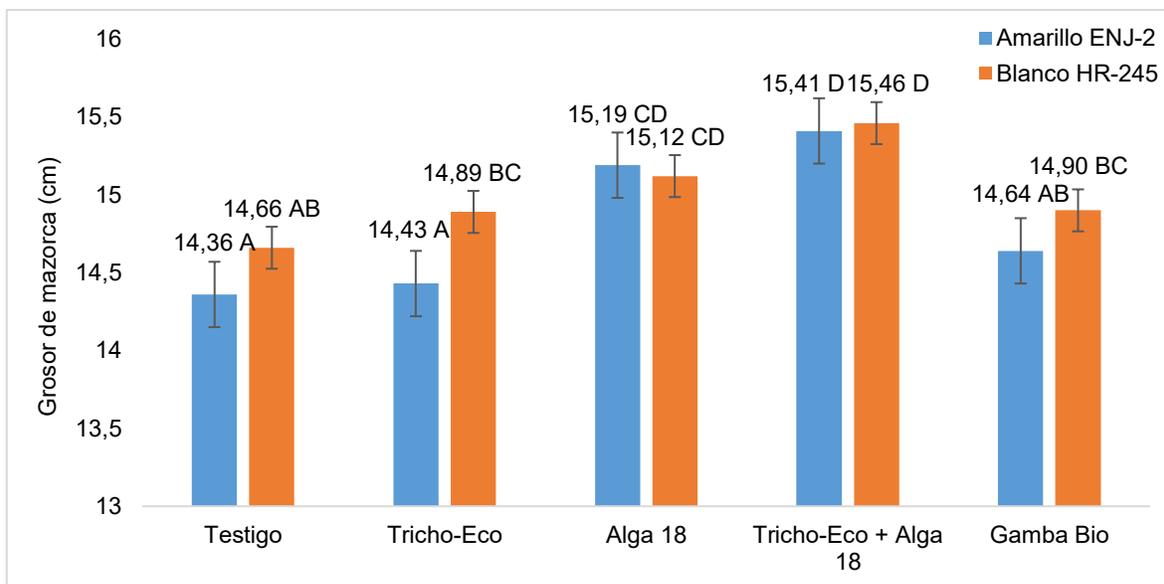
mostraron un efecto significativo. Por otro lado, en el maíz blanco, todos los tratamientos fueron estadísticamente diferentes del testigo, lo cual supone que, en esta variedad, los tratamientos son más efectivos para generar cambios en esta variable.



**Figura 12.** Peso promedio de mazorca con y sin envoltura para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJN-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, Bonferroni ( $p < 0,05$ ).

La variable de grosor de mazorca presentó diferencias significativas tanto entre variedades como en su interacción con los distintos productos ( $p$ -valor  $> 0,0001$ ) (Anexo 8). Se observó que, tanto para el maíz amarillo como para el blanco sólo los tratamientos con Alga 18 y Tricho-Eco+Alga 18 lograron obtener diferencias estadísticas con respecto al testigo (Figura 13).



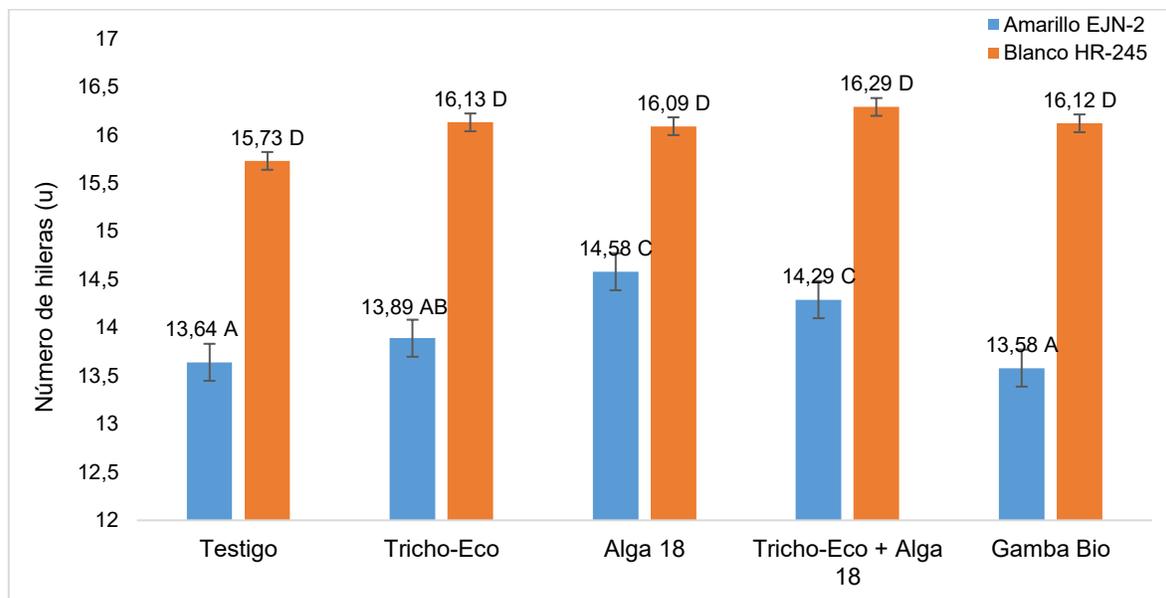
**Figura 13.** Promedio de grosor de mazorca para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJM-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, Bonferroni ( $p < 0,05$ ).

Mena (2018) reporta resultados similares al evaluar cuatro productos bioestimulantes (dos de ellos a base de algas marinas) sobre el comportamiento de un híbrido de maíz blanco. La aplicación de dichos productos logró un incremento en las variables de diámetro de tallo, así como en características de la mazorca como longitud, diámetro y peso. Estos resultados también coinciden con lo encontrado por Icaza (2019) quien evaluó bioestimulantes foliares a base de algas marinas en distintas dosis y obtuvo incrementos en el diámetro y longitud de mazorcas de maíz amarillo.

Por otro lado, Jassim *et al* (2019) indican que el tipo de material vegetal utilizado, así como la dosis de bioestimulantes, poseen efectos diferentes en el cultivo de maíz. En dicho ensayo, la aplicación de bioestimulante a base de algas marinas en dosis altas obtuvo un aumento significativo en las variables de área foliar, longitud de mazorca, número de granos por mazorca y rendimiento de grano por planta. Lo anterior solo se observó en dos de los cuatro materiales evaluados.

El número de hileras por mazorca también presentó diferencias estadísticas entre variedad y entre el producto y la variedad ( $p$ -valor  $>0,0001$ ) (Figura 14). El maíz blanco mostró un valor promedio mayor que el maíz amarillo. En el caso del maíz amarillo solo los tratamientos con Alga 18 y Tricho-Eco+Alga 18 obtuvieron un efecto estadísticamente significativo, mientras que en el maíz blanco no se observó diferencia entre tratamientos con respecto al testigo.



**Figura 14.** Promedio del número de hileras por mazorca para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJM-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, Bonferroni ( $p < 0,05$ )

### 4.3 Rendimiento de grano

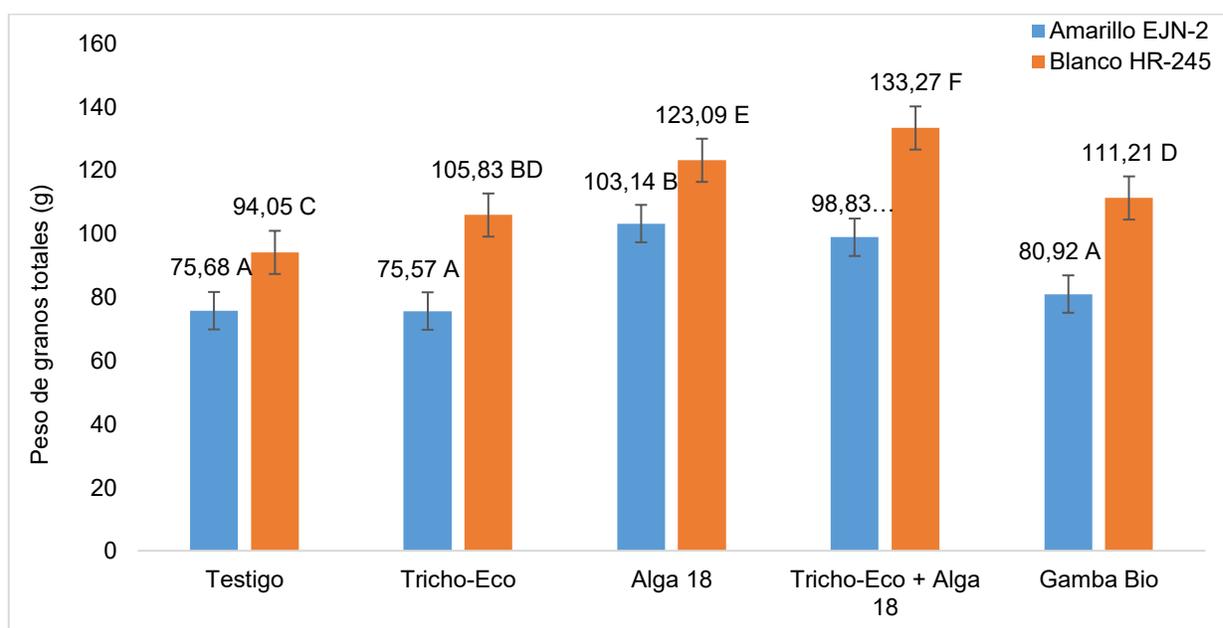
En el Cuadro 14 se observa que, tanto para la variable de peso de granos totales como para la de peso de 100 granos, se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $p$ -valor  $>0,0001$  en ambos casos) (Anexo 9). Se puede evidenciar que el maíz blanco fue quien obtuvo un mayor peso promedio de granos totales, mientras que la variedad de maíz amarillo obtuvo un mayor promedio en el peso de 100 granos.

**Cuadro 14.** Promedio de peso de granos totales y peso de 100 granos reportados para la variedad de maíz amarillo EJM-2 y el híbrido de maíz blanco HR-245. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Variedad	Peso de granos (g)	Desviación estándar	Peso de 100 granos (g)	Desviación estándar
Amarillo EJM-2	86,83 A	16,71	33,55 B	2,04
Blanco HR-245	113,49 B	21,71	30,62 A	1,80

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, Bonferroni ( $p < 0,05$ ).

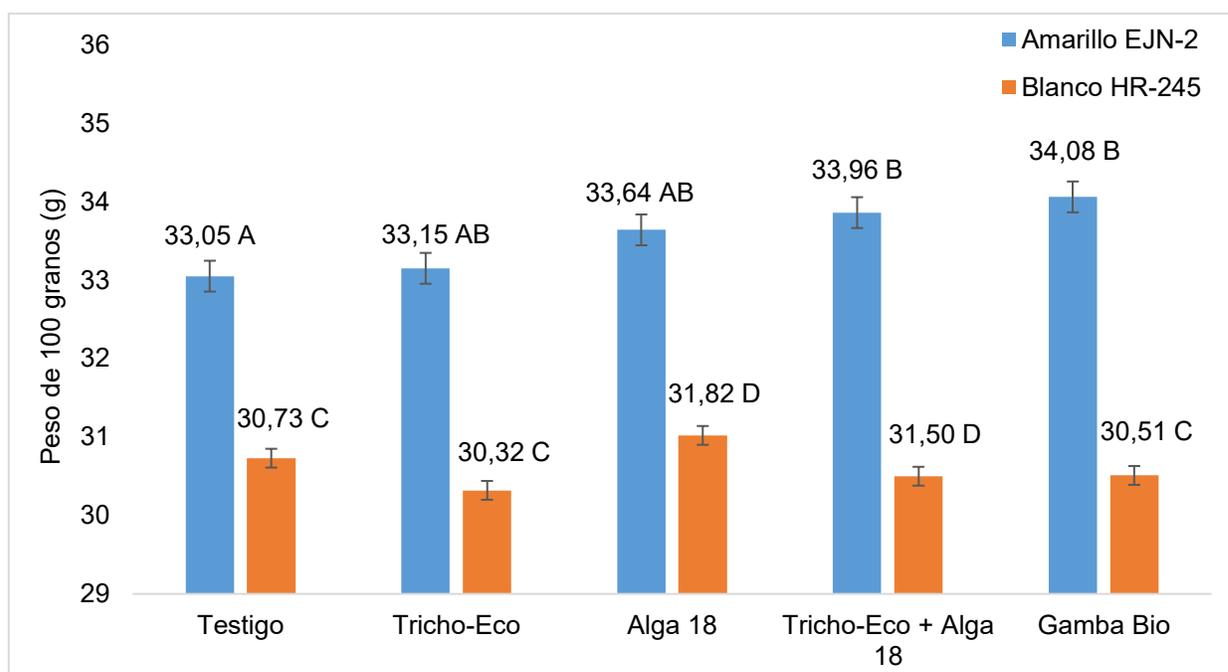
Con respecto a la interacción entre el producto y la variedad, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el peso de granos totales ( $p$ -valor  $> 0,0001$ ) (Figura 15). Tanto en el híbrido como en la variedad, se observó que los tratamientos con los productos Alga 18 y Tricho-Eco+Alga 18 alcanzaron los valores más elevados, aunque dichos tratamientos solo se diferenciaron estadísticamente entre sí para el maíz blanco. Por otro lado, los tratamientos con los productos Tricho-Eco y Gamba-Bio también mostraron diferencias significativas únicamente en el maíz blanco, ya que, en el caso del maíz amarillo, estos fueron similares al testigo.



**Figura 15.** Promedio de peso de granos totales para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJM-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, Bonferroni ( $p < 0,05$ ).

Para la interacción producto-variedad en el peso de 100 granos también se encontró un efecto significativo ( $p$ -valor 0,01) (Figura 116). Se puede observar que, en el maíz amarillo los tratamientos con el producto Gamba-Bio y Tricho-Eco+Alga 18 fueron los que se diferenciaron estadísticamente del testigo. En el caso del maíz blanco se evidenció que solo se lograron observar diferencias estadísticas en los tratamientos Alga 18 y Tricho-Eco+Alga 18.



**Figura 116.** Promedio de peso de 100 granos para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJN-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, Bonferroni ( $p < 0,05$ ).

En el Cuadro 15 se muestra que el rendimiento de grano seco por hectárea tuvo un efecto significativo entre las dos variedades utilizadas en la investigación ( $p$ -valor  $> 0,0001$ ) (Anexo 10). Se observa que al final del ciclo el maíz blanco híbrido presentó un valor más alto en su rendimiento total con respecto a la variedad de maíz amarillo.

**Cuadro 15** Rendimiento promedio total reportado para la variedad de maíz amarillo EJM-2 y el híbrido de maíz blanco HR-245. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Variedad	Rendimiento total (ton/ha)	Desviación estándar
Amarillo EJM-2	3,86 A	0,74
Blanco HR-245	5,04 B	0,96

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, Bonferroni ( $p < 0,05$ ).

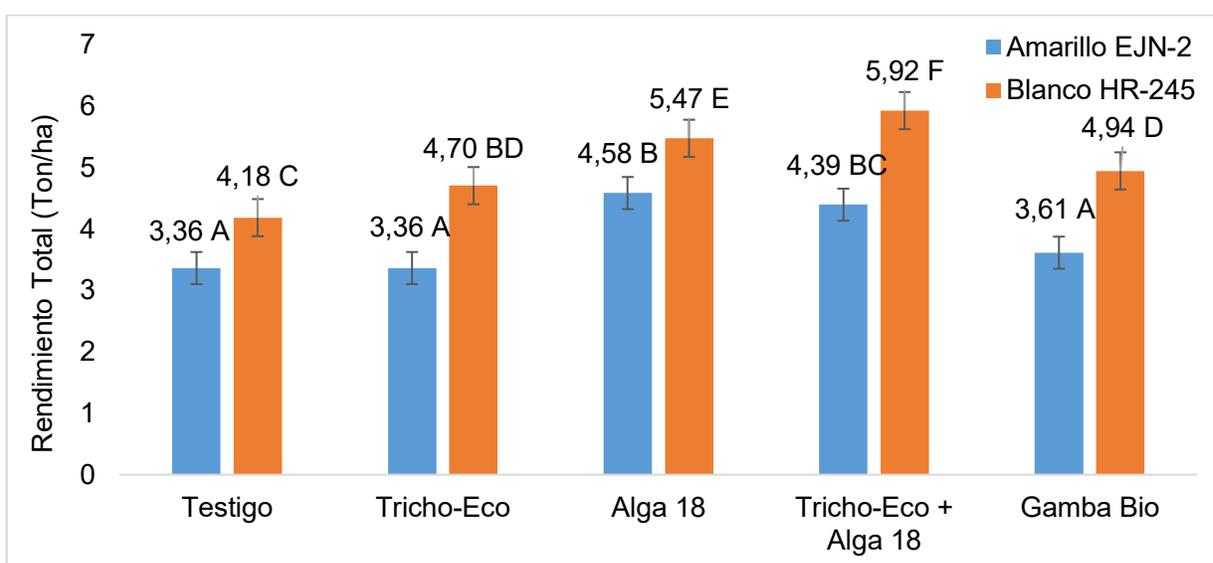
McRobert *et al* (2015) mencionan que la producción de semilla de maíz híbrido ofrece una alternativa a los productores de poseer material con características genéticamente mejoradas. El método de la hibridación le permite a la planta de maíz de nueva generación, características como un aumento en la resistencia al estrés biótico y abiótico, así como un mayor potencial de rendimiento en comparación con las variedades de polinización abierta.

La ventaja de la utilización de los híbridos radica en el concepto de heterosis. Esto significa que, al cruzar dos líneas parentales homocigotas con características favorables, la descendencia obtendrá un potencial de crecimiento y vigor mayor que el de sus progenitores (FAO 2001). Por otra parte, Fromme *et al* (2019) mencionan que la cantidad y tamaño de la mazorca (longitud y circunferencia) son características de mayor estabilidad en los híbridos de maíz, lo que contribuye a potenciar su rendimiento. Lo anterior se evidenció en lo obtenido en el Cuadro 15 al observar que el híbrido de maíz blanco HR-245 superó el rendimiento promedio de la variedad amarilla EJM-2.

Zamudio *et al* (2015) al comparar siete híbridos y tres variedades de polinización abierta de maíz en dos distintos sistemas de siembra (doble hilera e hilera simple). Se observa que, en ambos sistemas de siembra los híbridos de maíz obtuvieron valores más altos en diversas variables de calidad de mazorca, así como un aumento significativo en el rendimiento de grano seco del cultivo. Por otro lado, Paliwal *et al* (2001) afirman que la obtención nuevos híbridos en India logró aumentar el rendimiento de plantas de maíz en un 25 a 49% en comparación con el uso de variedades criollas, mientras que, en Estados Unidos, los años de

investigación en la obtención de híbridos reporta aumentos en el rendimiento superiores al 50% (Kutka 2011).

La variable de peso de granos explicada en el apartado anterior está directamente relacionada con la de rendimiento de grano seco. Como se muestra en la Figura 17, el comportamiento fue el mismo, mostrando un efecto significativo para la interacción producto-variedad ( $p$ -valor $>0,0001$ ). Los tratamientos con Alga 18 y Alga 18+Tricho-Eco fueron los que obtuvieron los valores más altos. Por otro lado, también se observa que los productos Tricho-Eco y Gamba-Bio solo se diferenciaron estadísticamente del testigo en el maíz blanco.



**Figura 17.** Promedio de rendimiento para los distintos tratamientos en maíz amarillo EJN-2 y blanco HR-245 en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, Bonferroni ( $p<0,05$ ).

Díaz (2019) al estudiar el efecto de bioestimulantes a base de algas marinas y de aminoácidos en diferentes combinaciones y dosis sobre plantas de maíz, logró observar diferencias significativas en diversas variables. Se obtuvo un incremento en la longitud y diámetro de la mazorca, así como un aumento del rendimiento productivo de 4,4 a 5,9 toneladas por hectárea en el mejor de los tratamientos comparado con el testigo.

Hernández *et al* (2018) así como Briceño (2011), mencionan que los beneficios generados por los productos bioestimulantes, poseen un efecto en cadena durante todo el ciclo productivo del cultivo. Dicho efecto se explica de forma tal que los diferentes compuestos encontrados en los bioestimulantes como las fitohormonas, polisacáridos, polifenoles, entre otros, genera una mejora en la actividad fisiológica de la planta en etapas iniciales. Con dicha mejora, los procesos posteriores de exploración del sistema radical, absorción, almacenamiento y movilización de nutrientes a la planta en etapas críticas como la floración y llenado de fruto se realizan con mayor eficiencia, reflejando un mayor rendimiento de la plantación.

Lo anterior explica lo observado en diversas variables del presente estudio. Al observarse un incremento en el peso seco de raíz y planta (Figura 8Figura 9) a los 30 días después de la siembra, así como en el grosor de tallo, se evidenció un mayor resultado en la mayoría de las variables de la mazorca (peso, longitud y grosor). Con esto se observa que la planta mostró un mejor desarrollo en momentos críticos donde la absorción es mayor, dejando como consecuencia un aumento en el rendimiento para la mayoría de los productos utilizados (Figura 17).

En adición, se encontró que existe correlación entre las variables de grosor de tallo y las variables de peso de mazorca, peso de granos y rendimiento, con un coeficiente de correlación mayor a 0,75 en todos los casos ( $p$ -valor  $>0,0001$ ). También, para la variable de peso seco de mazorca se encontró un coeficiente de correlación de 0,72 con respecto al peso seco de raíz y 0,62 con el rendimiento ( $p$ -valor  $>0,0001$  en ambos casos) (Anexo 11). Lo anterior contribuye a suponer que, un aumento en las variables de crecimiento morfológico de la planta podría explicar el incremento subsecuente en la calidad de la mazorca y en el rendimiento del cultivo.

Por otra parte, el éxito en la obtención de mayores rendimientos no solo depende del producto y manejo utilizado, sino que los factores externos en diversos momentos específicos del ciclo fenológico (principalmente en floración y llenado) pueden afectar el efecto de los bioestimulantes. Francis *et al* (2016) enfatizan que el uso de bioestimulantes puede modificar el crecimiento de plantas de maíz, sin

embargo, el efecto de las interacciones ambientales hace que los resultados benéficos en el rendimiento sean inconsistentes, por lo que se requiere de mayor cantidad de investigaciones sobre los posibles factores externos que limiten la eficiencia del producto en la planta. Lo anterior coincide con Neto *et al* (2014) quien evaluó el efecto de bioestimulantes trihormonales en plantas de maíz. Se observó un efecto significativo para la altura de la planta y diámetro de tallo, pero encontró una diferencia marcada en el rendimiento del cultivo.

#### **4.4 Análisis económico**

En el Cuadro 16 se muestra una descripción de los costos de producción de una hectárea de maíz para grano en todos los tratamientos evaluados. Se tomó en consideración todas las labores tanto mecánicas como manuales realizadas durante el ciclo, así como los insumos necesarios en cada una de las actividades, reportando el valor como costo en colones por hectárea.

Se puede observar que el costo adicional que implica la utilización del bioestimulante, tanto en la compra del producto como en la mano de obra para su aplicación, no supera los 65 000 colones en ninguno de los casos. Dicho costo se encuentra en un rango de 5 a 6% del costo total de producción en todos los tratamientos, por lo que su utilización no representa una inversión alta por parte del productor.

**Cuadro 16.** Costos de producción de una hectárea de maíz. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Actividad	Unidad	Costo en colones por tratamiento/hectárea										
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	
<b>Preparación del terreno</b>	Jornal	₡35 000	₡35 000	₡35 000	₡35 000	₡35 000	₡35 000	₡35 000	₡35 000	₡35 000	₡35 000	₡35 000
<b>Siembra</b>	Jornal	₡35 000	₡35 000	₡35 000	₡35 000	₡35 000	₡35 000	₡35 000	₡35 000	₡35 000	₡35 000	₡35 000
<b>Semilla</b>	Kg	₡89 040	₡89 040	₡89 040	₡89 040	₡89 040	₡86 900	₡86 900	₡86 900	₡86 900	₡86 900	₡86 900
<b>Herbicidas</b>												
Paraquat + Pendimetalin	L	₡31 300	₡31 300	₡31 300	₡31 300	₡31 300	₡31 300	₡31 300	₡31 300	₡31 300	₡31 300	₡31 300
Aplicación	Jornal	₡44 800	₡44 800	₡44 800	₡44 800	₡44 800	₡44 800	₡44 800	₡44 800	₡44 800	₡44 800	₡44 800
<b>Fertilización</b>												
10-30-10	Kg	₡7 600	₡7 600	₡7 600	₡7 600	₡7 600	₡7 600	₡7 600	₡7 600	₡7 600	₡7 600	₡7 600
18-46-0	Kg	₡104 300	₡104 300	₡104 300	₡104 300	₡104 300	₡104 300	₡104 300	₡104 300	₡104 300	₡104 300	₡104 300
26-0-26	Kg	₡52 600	₡52 600	₡52 600	₡52 600	₡52 600	₡52 600	₡52 600	₡52 600	₡52 600	₡52 600	₡52 600
Urea	Kg	₡7 300	₡7 300	₡7 300	₡7 300	₡7 300	₡7 300	₡7 300	₡7 300	₡7 300	₡7 300	₡7 300
Bayfolan	L	₡15 300	₡15 300	₡15 300	₡15 300	₡15 300	₡15 300	₡15 300	₡15 300	₡15 300	₡15 300	₡15 300
Aplicación	Jornal	₡89 600	₡89 600	₡89 600	₡89 600	₡89 600	₡89 600	₡89 600	₡89 600	₡89 600	₡89 600	₡89 600
<b>Insecticidas y Fungicidas</b>												
Dursban	L	₡28 200	₡28 200	₡28 200	₡28 200	₡28 200	₡28 200	₡28 200	₡28 200	₡28 200	₡28 200	₡28 200
Nativo	Kg	₡15 880	₡15 880	₡15 880	₡15 880	₡15 880	₡15 880	₡15 880	₡15 880	₡15 880	₡15 880	₡15 880
Aplicación	Jornal	₡134 400	₡134 400	₡134 400	₡134 400	₡134 400	₡134 400	₡134 400	₡134 400	₡134 400	₡134 400	₡134 400
<b>Bioestimulantes</b>												
Tricho-Eco	Kg	₡0	₡10 600	₡0	₡10 600	₡0	₡0	₡10 600	₡0	₡10 600	₡0	₡0
Alga 18	Kg	₡0	₡0	₡8 650	₡8 650	₡0	₡0	₡0	₡8 650	₡8 650	₡8 650	₡0
Gamba Bio	L	₡0	₡0	₡0	₡0	₡18 400	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0	₡18 400
Aplicación	Jornal	₡0	₡44 800	₡44 800	₡44 800	₡44 800	₡0	₡44 800	₡44 800	₡44 800	₡44 800	₡44 800
<b>Control de malezas</b>	Jornal	₡100 800	₡100 800	₡100 800	₡100 800	₡100 800	₡100 800	₡100 800	₡100 800	₡100 800	₡100 800	₡100 800
<b>Cosecha</b>	Jornal	₡240 000	₡240 000	₡240 000	₡240 000	₡240 000	₡240 000	₡240 000	₡240 000	₡240 000	₡240 000	₡240 000
<b>Costo de producción total</b>		<b>₡1 031 120</b>	<b>₡1 086 520</b>	<b>₡1 084 570</b>	<b>₡1 095 170</b>	<b>₡1 094 320</b>	<b>₡1 028 980</b>	<b>₡1 084 380</b>	<b>₡1 082 430</b>	<b>₡1 093 030</b>	<b>₡1 092 180</b>	

Por otra parte, en el Cuadro 17 se indica relación costo/beneficio que implica la aplicación de los diferentes productos bioestimulantes en una hectárea del cultivo de maíz. Se utilizó el valor de rendimiento de grano obtenido en cada uno de los tratamientos, el cual se multiplicó por el precio actual del kilogramo de maíz en el mercado nacional (Elizondo 2020). Dicho valor fue comparado con los costos de producción de cada tratamiento para obtener la ganancia neta obtenida por hectárea.

**Cuadro 17.** Comparación entre el costo total de producción de una hectárea de maíz en relación con las ganancias totales de venta en un experimento de aplicación de productos bioestimulantes. Santa Clara, Alajuela, Costa Rica.

Trat.	Rendimiento (Kg/ha)	Precio del maíz (¢/kg)	Ingreso total	Costos/ha	Utilidad bruta	Utilidad incremental
1	3360	¢515,05	¢1 730 568	¢1 031 120	¢699 448	¢0
2	3360	¢515,05	¢1 730 568	¢1 086 520	¢644 048	-¢55 400
3	4580	¢515,05	¢2 358 929	¢1 084 570	¢1 274 359	¢574 911
4	4390	¢515,05	¢2 261 070	¢1 095 170	¢1 165 900	¢466 452
5	3610	¢515,05	¢1 859 331	¢1 094 320	¢765 011	¢65 563
6	4180	¢515,05	¢2 152 909	¢1 028 980	¢1 123 929	¢0
7	4700	¢515,05	¢2 420 735	¢1 084 380	¢1 336 355	¢212 426
8	5470	¢515,05	¢2 817 324	¢1 082 430	¢1 734 894	¢610 965
9	5920	¢515,05	¢3 049 096	¢1 093 030	¢1 956 066	¢832 137
10	4940	¢515,05	¢2 544 347	¢1 092 180	¢1 452 167	¢328 238

El híbrido de maíz blanco presentó las mayores ganancias económicas del ensayo. Los cuatro tratamientos que contenían productos bioestimulantes reportaron un aumento en las ganancias económicas en comparación al testigo. Además, el tratamiento de Alga 18+Tricho-Eco fue quien presentó los valores más altos con 832 137 colones extra. En el caso de la variedad de maíz amarillo el producto Tricho-Eco reportó los valores más bajos, siendo incluso menores que el testigo. Por otra parte, dicho producto aplicado en combinación con Alga 18 también

mostró un valor más bajo si se compara con la aplicación individual del bioestimulante a base de algas marinas.

Hidalgo (2004) realizó un estudio económico de la aplicación de bioestimulantes a base de aminoácidos y extractos de algas en maíz. El costo de producción incrementó un 3% por efecto de la aplicación de bioestimulantes como complemento a la fertilización. Sin embargo, se observó un aumento en el rendimiento del cultivo, el cual aumentó en un rango de 25 a 40% la ganancia económica para los distintos tratamientos.

Por otro lado, García (2019) al evaluar distintos bioestimulantes en un híbrido de maíz amarillo, reportó aumentos de hasta 1,1 toneladas por hectárea en el rendimiento. El costo de producción adicional por la aplicación de bioestimulantes fue un de un 8 a 10% mayor, mientras que el incremento en las ganancias superó el 40% en los tres tratamientos con bioestimulantes.

En forma general, el presente estudio demostró que la aplicación de bioestimulantes en el cultivo de maíz genera efectos positivos en el crecimiento y producción. Sin embargo, el tipo de bioestimulante y el material genético utilizado puede generar diferencias en el efecto de estos productos. Por otro lado, el estudio económico evidencia que la aplicación de bioestimulantes no representa un costo de producción elevado, y el beneficio económico por hectárea que este genera puede contribuir a los productos a una producción rentable y competitiva en el mercado.

## 5 CONCLUSIONES

- ❑ Los tratamientos Alga 18 ® y Tricho-Eco ® +Alga 18 ® generaron mayor crecimiento para todas las variables del ensayo (peso seco de raíz y planta, grosor del tallo, características de mazorca y rendimiento) a excepción de la altura de la planta.
  
- ❑ La aplicación de Tricho-Eco ® de forma individual mostró un efecto significativo en las variables de estudio (peso seco de raíz y planta, grosor del tallo, características de mazorca y rendimiento) para el híbrido de maíz blanco.
  
- El híbrido de maíz blanco mostró un mejor comportamiento en campo para la mayoría de las variables evaluadas en el ensayo, así como una mayor respuesta en el rendimiento ante la aplicación de los productos bioestimulantes.
  
- El tipo de bioestimulante ejerció una influencia directa sobre sus efectos en el cultivo de maíz, observando diferencias en el desarrollo de raíces, biomasa, características de la mazorca y rendimiento productivo.
  
- Se observó correlación positiva entre las variables de peso seco de la planta y grosor de tallo con el rendimiento del cultivo.
  
- El bioestimulante que mostró un mayor aumento en el rendimiento fue Alga 18, lo que se vio reflejado en la ganancia económica al obtener una diferencia con respecto al testigo de 574 911 y 610 965 colones por hectárea para la variedad de maíz amarillo y el híbrido blanco, respectivamente.

- La aplicación de productos bioestimulantes en el cultivo de maíz no representó un costo de producción elevado para el ensayo (menor al 8%), pero sus beneficios en el aumento en el rendimiento de grano y las ganancias por hectárea fue en un rango del 15 al 45%, lo que hacen su uso rentable.

## 6 RECOMENDACIONES

- Mantener una línea de investigación sobre el uso y efecto de los bioestimulantes en nuevas variedades e híbridos del cultivo de maíz y en diferentes condiciones del cultivo.
- Realizar el presente ensayo durante la época de verano (principios de enero a finales de abril).
- Tomar en consideración el análisis de nuevas variables en el maíz como la tasa fotosintética, índice de área foliar, análisis bromatológicos en el follaje y nutricionales en el grano.
- Incluir nuevos parámetros en el estudio del efecto de los productos bioestimulantes en el maíz como diferentes productos, dosis, fraccionamientos y momentos de aplicación.
- Analizar la composición de los productos bioestimulantes en el momento de su utilización en el cultivo, ayudando a caracterizar y definir sus efectos específicos en el desarrollo de la planta de maíz.
- Modificar aspectos metodológicos en los futuros ensayos que evalúen la variable de enraizamiento, empleando nuevas tecnologías de mayor precisión que a su vez emplean un muestreo no destructivo.
- Realizar nuevos ensayos enfocados en la reducción de la fertilización granulada y su efecto ante la aplicación de productos bioestimulantes.
- Mantener un número elevado de repeticiones por cada tratamiento que se vaya a evaluar.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- Acebedo, R; Jaramillo, C; Cabello, M; Larenas, V; Gonzales, I; Leyton, G; Toro, M; Cortes, D; Urbina, L. 2011. Manual de Recomendaciones Cultivo de Maíz Grano. Secretaria de Agricultura, Fundación Chile Unidad Cropcheck. Santiago, Chile. 6-8p.
- Alvarado, H. 2015. Efecto de Bioestimulante Enzimático a Base de Algas Marinas sobre el Desarrollo de Caña de Azúcar en Renovación; La Gomera, Escuintla. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Tesis Lic Universidad Rafael Landívar. Escuintla, Guatemala.
- Antuna, O; Rincón, F; Gutiérrez, E; Ruiz, N y Bustamante, L. 2003. Componentes Genéticos de Caracteres Agronómicos y de Calidad Fisiológica de Semillas en Líneas de Maíz. Revista Fitotecnia Mexicana. Sociedad Mexicana de Fitotecnia. Chapingo, México. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/237037352\\_Componentes\\_geneticos\\_de\\_caracteres\\_agronomicos\\_y\\_de\\_calidad\\_fisiologica\\_de\\_semillas\\_en\\_lineas\\_de\\_maiz](https://www.researchgate.net/publication/237037352_Componentes_geneticos_de_caracteres_agronomicos_y_de_calidad_fisiologica_de_semillas_en_lineas_de_maiz)
- Badillo, A. 2016. Evaluación del Aporte de Gallinaza Fresca en el Rendimiento del Cultivo de Maíz (*Zea mays*) variedad INIAP 122 en dos Diferentes Dosis en la parroquia de Malchingui, Cantón Pedro Mucayo. Tesis Lic. Loja, Ecuador.
- Baroja, D. M; Benítez, M. 2008. Efecto de cinco bioestimulantes en el rendimiento de dos variedades de alcachofa (*Cynara scolymus L.*) en Pimampiro Imbabura. Tesis Lic. Universidad técnica del norte. Ecuador.
- BioEco. 2019.a. Ficha técnica bioestimulante Tricho-Eco. San Carlos, Alajuela. Costa Rica.
- BioEco. 2019.b. Ficha técnica bioestimulante Alga 18. San Carlos, Alajuela. Costa Rica.

- Bonilla, N; Meléndez, W. 2005. Curso de Producción de Semilla de Maíz. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Pérez Zeledón, Costa Rica.
- Bonilla, N. 2009. a. Manual de Recomendaciones Técnicas: Cultivo de Maíz (*Sea mays*). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia Agrícola (INTA). San José, Costa Rica.
- Bonilla, N. 2009. b. Variedades de Maíz (*Zea mays*): Proteinta, Diamantes 8843, Nutrigrano y EJM2. Proyecto de Granos Básicos. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). San José, Costa Rica.
- Briceño, R. 2011. Producción y Evaluación de Extractos Líquidos a Partir del Alga Gigante *Macrocystis Pyrifera* (L.) C. Agardh, como Estimulante del Crecimiento Vegetal. La Paz, México.
- Briceño, D; Hernández, G; Moyo, M; Stirk, W y Van Staten, J. 2014. Plant Growth Promoting Activity of Seaweed Liquid Extracts Produced from *Macrocystis Pyrifera* under Different pH and Temperature Conditions. Appl Phycol Journal. University of Kwazulu-Natal Pietermaritzburg. South Africa. Disponible en <http://www.bashanfoundation.org/contributions/Hernandez-G/gustavoseaweeds.pdf>
- Briglia, N; Petrozza, A; Hoeberichts, F; Verhoef, N y Povero, G. 2019. Investigating the Impact of Biostimulants on the Row Crops Corn and Soybean Using High-Efficiency Phenotyping and Next Generation Sequencing. Toward a Sustainable Agriculture Through Plant Biostimulants: From Experimental Data to Practical Applications Agronomy journal. Italy. Disponible en <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/11/761/htm>
- Castellanos, P. 2006. Efecto de la Aplicación de *Trichoderma Harzianum* en el rendimiento de los cultivos de maíz y sorgo para ensilaje en Zamorano. Tesis Lic. Tegucigalpa, Honduras.

- Chacón, M. 2017. Evolución del Cultivo de Maíz en Costa Rica. Oficina Nacional de Semillas. San José, Costa Rica. Disponible en <http://ofinase.go.cr/certificacion-de-semillas/certificacion-de-semillas-de-maiz/evolucion-cultivo-maiz/#:~:text=Anexo%3A,import%C3%B3%2016%20800%20000%20quinta les.>
- Díaz, K. 2019. Comportamiento Agronómico del Cultivo de Maíz (*Zea mays L.*) a la Aplicación de Bioestimulantes como Componente a la fertilización Edáfica. Tesis Lic Universidad Técnica de Babahoyo. Los Ríos, Ecuador. 25-35p.
- Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; Gonzalez L.; Tablada M.; Robledo C.W. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Du Jardin, P. 2015. Plant Biostimulants, Concept, Main Categories and Regulations. Scientia Horticulturae. Journal Scientia Horticulturae. Vol 196. United States. 3-14p. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423815301850>
- Endicott, S; Brueland, B; Keith, R; Bremer, C; Farnham, D; DeBruin, J; Clausen, C; Strachan, S y Carter, P. 2015. Corn Growth and Development. Duponit, Pioneer. Iowa, United States. Disponible en <https://es.scribd.com/document/366007447/Corn-Growth-and-Development-Spanish-Version-pdf>
- Elizondo, W. Precio Nacional del Maíz para el Consumidor. Sistema de Información Agroalimentaria. Dirección de Mercadeo y Agroindustria. Consejo Nacional de Producción (CNP). San José, Costa Rica.
- Ertani, A; Francioso, O; Tinti, A; Shiavon, M; Pizzeghello, D y Nardi, S. 2018. Evaluation of Seaweed Extracts From *Laminaria* and *Ascophyllum nodosum* spp. as Biostimulants in *Zea mays L.* Using a Combination of Chemical, Biochemical and Morphological Approaches. Journal Frontier in Plant

- Science. University of Bologna. Bologna, Italy. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5897654/>
- Eyhérabide, G. 2011. Bases para el Manejo del Cultivo de Maíz. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Programa Nacional Cereales. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- FAO. 2001. Políticas y Programas de Semillas en América Latina y el Caribe. Mérida, México.
- FAO. 2009. Origen del Maíz. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador.
- Fajardo, A. 2015. Manual para el Cultivo de Maíz bajo Buenas Prácticas Agrícolas. Medellín, Colombia.
- Fassio, A; Carriquiry, A; Tojo, C; Romero, R. 1998. Maíz: Aspectos sobre Fenología. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Montevideo, Uruguay.
- Fassio, A; Ibáñez, W; Fernandez, E; Cozzolino, D; Perez, O; Restaino, E; Pascal, A; Rabaza, C y Vergara, G. 2018. El Cultivo de Maíz para la Producción de Forraje y Grano y la Influencia del Agua. Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA. Montevideo, Uruguay.
- Ferraris, G; Courelot, L. Respuesta del Maíz a la Fertilización Complementaria con Nitrógeno y Zinc vía Foliar. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Proyecto Regional Agrícola. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- Francis, P; Earnest, L y Bryant, K. 2016. Maize Growth and Yield Response to a Biostimulant Amendment. Journal of Crop Improvement. University of Arkansas. United States. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15427528.2016.1207740>
- Fromme, D; Spivey, T; y Grichar, J. 2019. Agronomic Response of Corn (Zea mays L.) Hybrids to Plant Population. Research Gate. Hindawi International Journal of Agronomy. United States. Disponible en

[https://www.researchgate.net/publication/330100325\\_Agronomic\\_Response\\_of\\_Corn\\_Zea\\_mays\\_L\\_Hybrids\\_to\\_Plant\\_Populations](https://www.researchgate.net/publication/330100325_Agronomic_Response_of_Corn_Zea_mays_L_Hybrids_to_Plant_Populations)

- García, D. 2019. Evaluación de Bioestimulantes y Fertilizantes Foliareos en el Desarrollo del Cultivo de Maíz (*Zea mays L.*) en la zona de Ventanas. Universidad Técnica de Babahoyo. Los Ríos, Ecuador.
- García, S. 2017. Función de los Aminoácidos como Bioestimulantes. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI). México DF, México.
- Gonzales, H. 2010. Efecto del Bioestimulante Evergreen en tres Dosis y tres Fraccionamientos en el Rendimiento de Maíz (*Zea mays L.*) CV “Marginal 28-T” en Tingo María. Tesis Lic. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional La Selva. Tingo María, Perú. 49p.
- Gordón, R; Franco, J; Núñez, J; Jaén, J; Sáez, A; Ramos, F y Ávila, A. 2018. Variedades de Maíz en la Región de Azuero, Panamá- 2017. Revista Ciencia Agropecuaria. Instituto de Investigación Agropecuaria. Panamá.
- Hernández, R; SantaCruz, F; Briceño, D; Filippo, D y Hernández, G. 2018. Las Algas como Potenciales Estimulantes del Crecimiento Vegetal para la Agricultura en México. Departamento de Botánica y Zoología, Universidad de Guadalajara. México.
- Hidalgo, A. 2004. Comportamiento de Tres Bioestimulantes en la Producción de Maíz (*Zea mays L.*) Híbrido XB 8010, en Tingo María. Tesis Lic. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 48-75p.
- Icaza, J. 2019. Efecto de los Bioestimulantes Foliareos a base de Algas Marinas sobre el Desarrollo y Rendimiento del Cultivo de Maíz (*Zea mays L.*) en la zona de Pimocha. Universidad Técnica de Babahoyo. Los Ríos, Ecuador. 17-28p.
- INEC. 2014. VI Censo Nacional Agropecuario. Atlas Estadístico Agropecuario. Instituto Nacional de Estadística y Censos. San José Costa Rica.

- Jassim, J; Haider, H y Mahdi, H. 2019. Response of Fuor Genotypes of Corn (*Zea mays* L.) To Foliar Nutrition by Seaweed Extract. Al-Musaib Tech. College Al-Furat Al-Awsat Tech University. Iraq.
- Juárez, S. 2013. El tallo de Maíz, además de un Soporte Conductor, un Reservorio Dinámico de Carbohidratos. Primer Taller Nacional de Maíz. Laboratorio de Fisiología Molecular Forrajero. Guanajuato, México.
- Kutka, F. 2011. Open-Pollinated vs Hybrid Maize Cultivars. Reaserch Gate Sustainability Journal. United States. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/227439324\\_OpenPollinated\\_vs\\_Hybrid\\_Maize\\_Cultivars](https://www.researchgate.net/publication/227439324_OpenPollinated_vs_Hybrid_Maize_Cultivars)
- Lagos, T; Torres, F; Benavides, C. 2015. Comportamiento Agronómico de Poblaciones de Maíz Amarillo (*Zea mays*) en la Región Andina del Departamento de Nariño. Revista de Ciencias Agrícolas. Volumen 32. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Colombia. 16-22p. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5278476>.
- Laos, A. 2017. Efecto de Tres Bioestimulantes Orgánicos en el Rendimiento del Híbrido Doble de Maíz (*Zea mays* L.) XB-8010 en Tulumayo. Tesis Lic. Universidad Técnica Nacional Agraria Las Selva. Tingo Maria, Perú. 58p.
- Martínez, D; Odetti, J; Guerra, C; Bongiovanni, M; Martínez, G. 2015. Respuesta a la Densidad de Siembra de Híbridos de maíz en Villa Mercedes (San Luis) Campaña 2011/12. Ediciones INTA. San Luis, Argentina.
- MacRobert, J; Setimela, P; Gethi, J; Regasa, M. 2015. Manual de Producción de Semilla de Maíz Híbrido. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México DF, México. 1-5p.
- Maher, T; Hussam, O y Munir, T. 2019. The Morphological, Bphysiological and Biochemical Responses of Sweet Corn to Foliar Application of Amino Acids Biostimulants Sprayed at Three Growth Stages. Australian Journal of Crop

Science. Australia. 414-416p. Disponible en [https://www.cropj.com/tadros\\_13\\_3\\_2019\\_412\\_417.pdf](https://www.cropj.com/tadros_13_3_2019_412_417.pdf).

Mayor, S. 2009. Respuesta de la Caña de Azúcar (*Sacharum* sp) en el Ciclo de Retoño a la Aplicación de un Fitoestimulante de Producción Nacional. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Havana, Cuba.

Mena, M. 2018. Influencia de la Fertilización Foliar sobre el Comportamiento Agronómico y Rendimiento del Cultivo de Maíz (*Zea mays* L.). Universidad Técnica de Babahoyo. Los Ríos, Ecuador.

Neto, D; Barbieri, A y Martin, E. 2014. Biostimulant Action on Agronomic Efficiency of Corn and Common Beans. Vegetal Production Department, University of Sao Paulo. Bioscience Journal. Sao Paulo, Brasil.

Ortigoza, J., López, C., Gonzales, J. 2019. Guía Técnica del Cultivo de Maíz. Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo, Paraguay.

Paliwal, R. Granados, G; Latifle, H; Violic, A y Maratheé, J. 2001. El maíz en los Trópicos: Mejoramiento y Producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. India.

Presello, D. 2019. Maíz: Uso de Variedades de Polinización Abierta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires, Argentina.

Prosemillas, 2012. Ficha técnica Características y promoción de Híbridos de Maíz de Grano Blanco y Amarillo. Productora de Semillas S.A. Guatemala.

RACKAM. 2019. Ficha Técnica Bioestimulante Gamba Bio. Nueva Cinchona, Alajuela, Costa Rica.

Ramírez, A. 2015. Efecto de tres dosis de Bioestimulante en el rendimiento de Maíz Amarillo Duro (*Zea mays* L. *hibr*, 2B688) en Pacasmayo, La Libertad. Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de Ciencias Agronómicas. Perú.

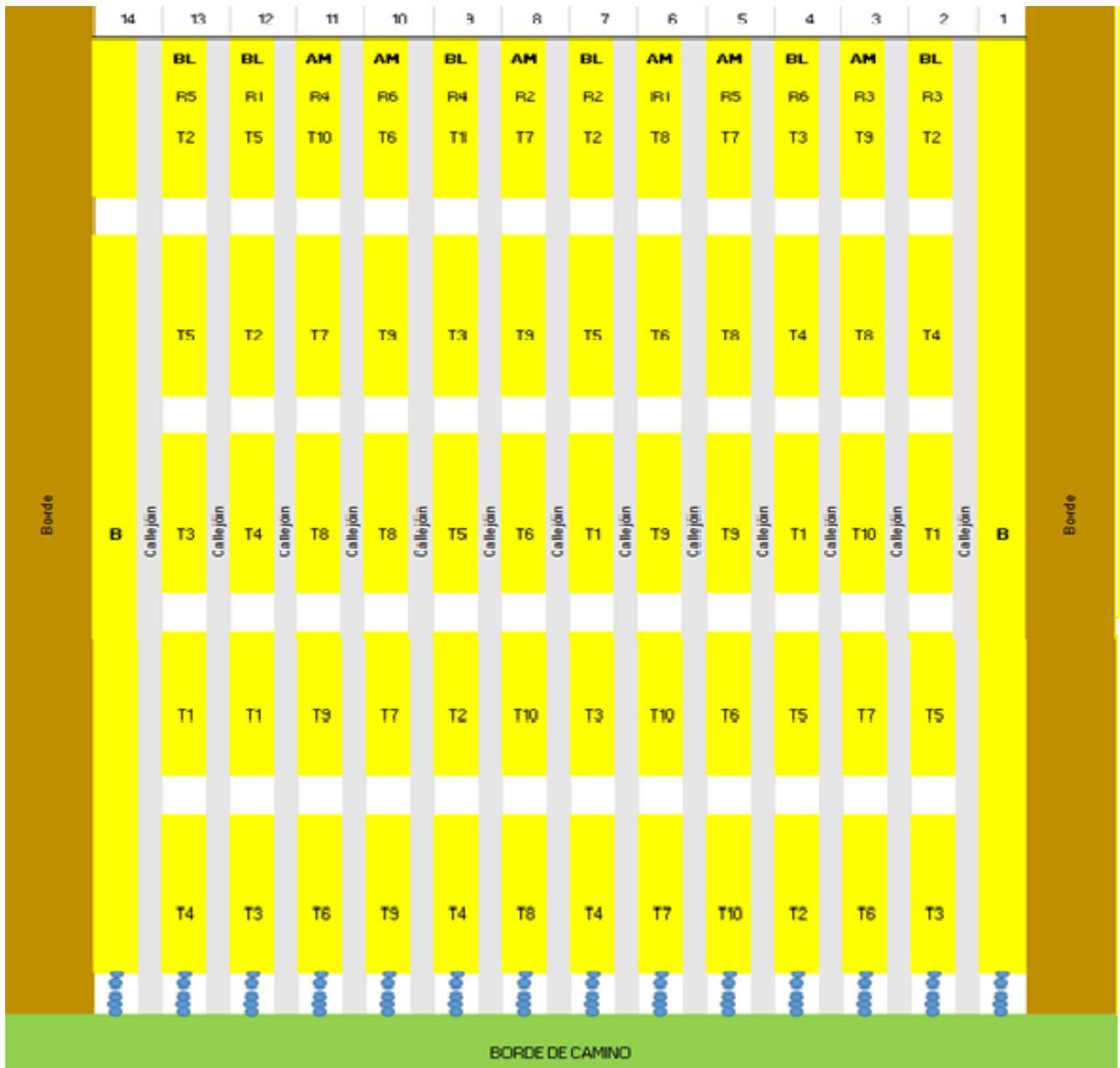
- Ríos, A; Machimba, M; Molina, A y Montenegro, M. Evaluación agronómica de cuatro Híbridos de Maíz (*Zea mays* L.) Revista de Ciencias de la Vida "La Granja" volumen 6. Universidad Politécnica de Salesiana. Cuenca, Ecuador. 31-33p. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047390006.pdf>.
- Rodríguez, R. 2013. Evaluación del Efecto de tres Bioestimulantes en dos Híbrido (*Trueno NB-7443* y *Triunfo NB 7253*) en la Parroquia Sevilla del Cantón de Cáscales, Provincia de Sucumbíos. Tesis Lic. Facultad de ciencias Agropecuarias. Universidad Tecnológica Equinoccial. Santo Domingo, Ecuador. 32-46p.
- Segura, M., Andrade, L. 2011. Efecto de las Condiciones Agrometeorológicas sobre un Cultivo Criollo y dos Híbridos de Maíz en Cuatro Fechas de Siembra. Tesis Lic. Departamento de Ciencias de la Vida. Santo Domingo, Ecuador.
- Singh, J; Kelloway, S; Critchley, A y Prithviraj, B. 2014. Seaweeds (Macroalgae) and their Effects of Plant Productivity and Quality: The Current Status Our Understanding. Research Gate. Dalhousie University. Canada. 190-202p. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/278675781\\_Seaweeds\\_Macroalgae\\_and\\_Their\\_Extracts\\_as\\_Contributors\\_of\\_Plant\\_Productivity\\_and\\_Quality\\_The\\_Current\\_Status\\_of\\_Our\\_Understanding](https://www.researchgate.net/publication/278675781_Seaweeds_Macroalgae_and_Their_Extracts_as_Contributors_of_Plant_Productivity_and_Quality_The_Current_Status_of_Our_Understanding)
- Souza, O. 2008. Evaluación de los Efectos de los Bioestimulantes Orgánicos Vigor plus y Aminhum en el Rendimiento de Grano en el Cultivo del Maíz en Condiciones de Secano. Tesis Lic. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Técnica de Babahoyo. Ecuador.
- Suárez, L. 2013. Respuesta del Cultivo de Maíz (*Zea mays*) a la Aplicación de tres bioestimulantes Foliare como Complemento a la Fertilización Edáfica, en la Zona de San Gabriel. Tesis Lic Universidad Técnica Babahoyo. Ecuador. 5-10p. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/466/T-UTB-FACIAG-AGR-000081.pdf?sequence=6&isAllowed=y>.

- Tavera, D; Hernández, J; Ulibarri, G y Sánchez, J. 2017. Inoculación de *Trichoderma Harzianum* en *Zea mays* y su Efecto a la Adición del Fertilizante Nitrogenado al 50%. Journal of the Selva Andina Research Society. Volumen 8, Num 2. La Paz, Bolivia. 118-121p. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/3613/361353711004.pdf>.
- Terry, E; Ruiz, J y Carrillo, Y. 2018. Efecto de Diferentes Manejos Nutricionales sobre el Rendimiento y Calidad de Frutos de tomate. Revista Agronomía Mesoamericana. La Habana, Cuba. 394-399p. Disponible en [http://www.mag.go.cr/rev\\_meso/v29n02\\_389.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_meso/v29n02_389.pdf)
- Tosquy, O; Palafox, A; Sierra, M; Zambada, A; Martínez, R y Gradanis, G. 2005. Comportamiento Agronómico de Híbridos de Maíz en dos Municipios de Veracruz, México. Revista Agronomía Mesoamericana. Veracruz, México.
- Veobides, H; Guridi, F; Vázquez, V. 2018. Las Sustancias Húmicas como Bioestimulantes de Plantas bajo Condiciones de Estrés Ambiental. Revista Cultivos Tropicales. Universidad Agraria de la Habana. La Habana, Cuba. Disponible en [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362018000400015](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000400015)
- Zamudio, G; Espinosa, A; Tadeo, M; Encastin, J; Martínez, J; Felix, A; Cárdenas, A y Turrent, A. 2015. Producción de Híbridos y Variedades de Maíz para Grano a Doble Hilera. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol 6 Num 7. Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias 1496p. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263142146006.pdf>
- Zermeño, A; López, B; Meléndrez, A; Ramírez, H; Cárdenas, O y Munguía, J. 2015. Extracto de Alga Marina y su Relación con la Fotosíntesis y Rendimiento de Planta de Vid. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Antonio Narro. Coahuila, México. 6-9p.

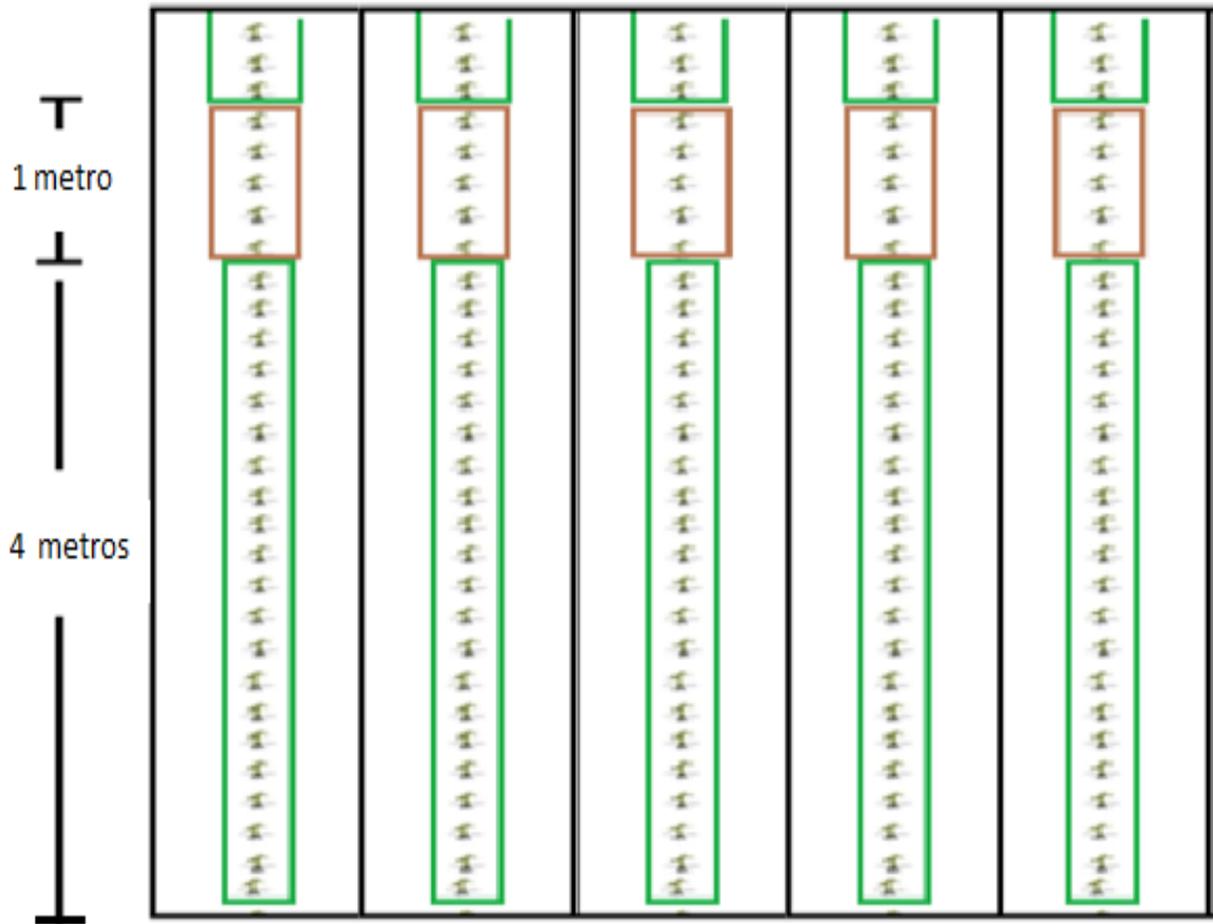
## 8 ANEXOS



**Anexo 1.** Parcela experimental utilizada durante el desarrollo de la investigación.



**Anexo 2.** Croquis de la distribución de los tratamientos en el campo de la parcela experimental.



**Anexo 3.** Croquis representativo de parcelas útiles de los tratamientos en el campo de la parcela experimental.

Peso Seco Raíz (g)						
DDS	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
	35 Peso Seco Raíz (g)	180	0,74	0,73	20,22	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.		1773,11	9	197,01	54,34	<0,0001
Variedad		112,18	1	112,18	30,94	<0,0001
Producto		1500,36	4	375,09	103,45	<0,0001
Variedad*Producto		160,57	4	40,14	11,07	<0,0001
Error		616,38	170	3,63		
Total		2389,49	179			
Test:Bonferroni Alfa=0,05 DMS=0,56033						
Error: 3,6258 gl: 170						
Variedad	Medias	n	E.E.			
Maíz Amarillo ENJ-2		8,18	90	0,26	A	
Maíz Blanco Híbrido HR-245		9,34	90	0,26		B

Peso Seco Raíz (g)						
DDS	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
	65 Peso Seco Raíz (g)	180	0,44	0,41	12,98	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.		1773,59	9	197,07	14,9	<0,0001
Variedad		79,33	1	79,33	6	0,0153
Producto		1589,89	4	397,47	30,05	<0,0001
Variedad*Producto		104,37	4	26,09	1,97	0,1009
Error		2248,77	170	13,23		
Total		4022,36	179			
Test:Bonferroni Alfa=0,05 DMS=1,07027						
Error: 13,2281 gl: 170						
Variedad	Medias	n	E.E.			
Maíz Amarillo ENJ-2		27,19	90	0,49	A	
Maíz Blanco Híbrido HR-245..		28,32	90	0,49		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)						

**Anexo 4.** Análisis de varianza para la variable de peso seco de raíz a los 30 y 60 después de la siembra.

Biomasa planta peso seco (g)						
DDS	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
30	Biomasa planta peso seco	180	0,78	0,77	14,26	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.		6334,8	9	703,87	67,16	<0,0001
Variedad		1521,93	1	1521,93	145,21	<0,0001
Producto		4373,7	4	1093,43	104,32	<0,0001
Variedad*Producto		439,17	4	109,79	10,48	<0,0001
Error		1781,8	170	10,48		
Total		8116,6	179			
Test: Bonferroni Alfa=0,05 DMS=0,95269						
Error: 10,4812 gl: 170						
Variedad	Medias	n	E.E.			
Maíz Amarillo ENJ-2		18,83	90	0,44	A	
Maíz Blanco Híbrido HR-245.		23,04	90	0,44		B

---

Biomasa planta peso seco (g)						
DDS	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
60	Biomasa planta peso seco	180	0,62	0,6	8,27	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.		9621,87	9	1069,1	31,33	<0,0001
Variedad		2602,24	1	2602,24	76,26	<0,0001
Producto		6461,63	4	1615,41	47,34	<0,0001
Variedad*Producto		557,99	4	139,5	4,09	0,0034
Error		5801,07	170	34,12		
Total		15422,93	179			
Test: Bonferroni Alfa=0,05 DMS=1,71899						
Error: 34,1239 gl: 170						
Variedad	Medias	n	E.E.			
Maíz Amarillo ENJ-2		64,46	90	0,79	A	
Maíz Blanco Híbrido HR-245.		71,99	90	0,79		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)						

**Anexo 5.** Análisis de varianza para la variable de peso seco de la planta a los 30 y 60 después de la siembra.

Grosor de tallo (cm)						
Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV		
Grosor de tallo (cm)		896	0,5	0,49		6,9
Analysis of variance table (Partial SS)						
S.V.	SS	df	MS	F	p-value	
Model	139,31	9	15,48	96,58	<0,0001	
Variedad	0,21	1	0,21	1,34	0,2478	
Producto	136,8	4	34,2	213,39	<0,0001	
Variedad*Producto	2,3	4	0,57	3,58	0,0066	
Error	142	886	0,16			
Total	281,31	895				
Test: Bonferroni Alpha: =0,05 LSD: =0,05250						
Error: 0,1603 df: 886						
Variedad	Means	n	S.E.			
Maíz Amarillo ENJ-2	5,78	448	0,02	A		
Maíz Blanco HR-245	5,82	448	0,02	A		
Means with a common letter are not significantly different (p > 0,05)						

**Anexo 6.** Análisis de varianza para la variable de grosor de tallo.

# Mazorcas (u)						
Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV		
# Mazorcas (u)		896	0,11	0,1		25,18
Analysis of variance table (Partial SS)						
S.V.	SS	df	MS	F	p-value	
Model	8,24	9	0,92	12,09	<0,0001	
Variedad	7,68	1	7,68	101,43	<0,0001	
Producto	0,28	4	0,07	0,91	0,4585	
Variedad*Producto	0,28	4	0,07	0,91	0,4585	
Error	67,07	886	0,08			
Total	75,31	895				
Test: Bonferroni Alpha: =0,05 LSD: =0,03608						
Error: 0,0757 df: 886						
Variedad	Means	n	S.E.			
Maiz Blanco HR-245	1	448	0,01	A		
Maiz Amarillo ENJ-2	1,19	448	0,01	B		
Means with a common letter are not significantly different (p > 0,05)						

**Anexo 7.** Análisis de varianza para la variable de cantidad de mazorcas.

<p>Longitud de mazorca (cm)_Cobertura</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>N</th> <th>R<sup>2</sup></th> <th>Adj R<sup>2</sup></th> <th>CV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Longitud de mazorca (cm)</td> <td>896</td> <td>0,74</td> <td>0,74</td> <td>5,64</td> </tr> </tbody> </table> <p>Analysis of variance table (Partial SS)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>S.V.</th> <th>SS</th> <th>df</th> <th>MS</th> <th>F</th> <th>p-value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Model</td> <td>5318,68</td> <td>9</td> <td>590,96</td> <td>283,29</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Variedad</td> <td>4898,04</td> <td>1</td> <td>4898,04</td> <td>2347,99</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Producto</td> <td>326,95</td> <td>4</td> <td>81,74</td> <td>39,18</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Variedad*Producto</td> <td>95,61</td> <td>4</td> <td>23,9</td> <td>11,46</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Error</td> <td>1848,25</td> <td>886</td> <td>2,09</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>7166,93</td> <td>895</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV	Longitud de mazorca (cm)	896	0,74	0,74	5,64	S.V.	SS	df	MS	F	p-value	Model	5318,68	9	590,96	283,29	<0,0001	Variedad	4898,04	1	4898,04	2347,99	<0,0001	Producto	326,95	4	81,74	39,18	<0,0001	Variedad*Producto	95,61	4	23,9	11,46	<0,0001	Error	1848,25	886	2,09			Total	7166,93	895				<p>Longitud de mazorca (cm)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>N</th> <th>R<sup>2</sup></th> <th>Adj R<sup>2</sup></th> <th>CV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Longitud de mazorca (cm)</td> <td>896</td> <td>0,45</td> <td>0,44</td> <td>5,54</td> </tr> </tbody> </table> <p>Analysis of variance table (Partial SS)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>S.V.</th> <th>SS</th> <th>df</th> <th>MS</th> <th>F</th> <th>p-value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Model</td> <td>570,22</td> <td>9</td> <td>63,36</td> <td>79,47</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Variedad</td> <td>287,36</td> <td>1</td> <td>287,36</td> <td>360,46</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Producto</td> <td>243,97</td> <td>4</td> <td>60,99</td> <td>76,51</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Variedad*Producto</td> <td>38,48</td> <td>4</td> <td>9,62</td> <td>12,07</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Error</td> <td>706,33</td> <td>886</td> <td>0,8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>1276,56</td> <td>895</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV	Longitud de mazorca (cm)	896	0,45	0,44	5,54	S.V.	SS	df	MS	F	p-value	Model	570,22	9	63,36	79,47	<0,0001	Variedad	287,36	1	287,36	360,46	<0,0001	Producto	243,97	4	60,99	76,51	<0,0001	Variedad*Producto	38,48	4	9,62	12,07	<0,0001	Error	706,33	886	0,8			Total	1276,56	895			
Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV																																																																																																															
Longitud de mazorca (cm)	896	0,74	0,74	5,64																																																																																																															
S.V.	SS	df	MS	F	p-value																																																																																																														
Model	5318,68	9	590,96	283,29	<0,0001																																																																																																														
Variedad	4898,04	1	4898,04	2347,99	<0,0001																																																																																																														
Producto	326,95	4	81,74	39,18	<0,0001																																																																																																														
Variedad*Producto	95,61	4	23,9	11,46	<0,0001																																																																																																														
Error	1848,25	886	2,09																																																																																																																
Total	7166,93	895																																																																																																																	
Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV																																																																																																															
Longitud de mazorca (cm)	896	0,45	0,44	5,54																																																																																																															
S.V.	SS	df	MS	F	p-value																																																																																																														
Model	570,22	9	63,36	79,47	<0,0001																																																																																																														
Variedad	287,36	1	287,36	360,46	<0,0001																																																																																																														
Producto	243,97	4	60,99	76,51	<0,0001																																																																																																														
Variedad*Producto	38,48	4	9,62	12,07	<0,0001																																																																																																														
Error	706,33	886	0,8																																																																																																																
Total	1276,56	895																																																																																																																	
<p>Peso de mazorca (g)_Cobertura</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>N</th> <th>R<sup>2</sup></th> <th>Adj R<sup>2</sup></th> <th>CV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de mazorca (g)</td> <td>896</td> <td>0,5</td> <td>0,49</td> <td>8,29</td> </tr> </tbody> </table> <p>Analysis of variance table (Partial SS)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>S.V.</th> <th>SS</th> <th>df</th> <th>MS</th> <th>F</th> <th>p-value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Model</td> <td>234305,66</td> <td>9</td> <td>26033,96</td> <td>97,36</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Variedad</td> <td>955,31</td> <td>1</td> <td>955,31</td> <td>3,57</td> <td>0,0591</td> </tr> <tr> <td>Producto</td> <td>227209,27</td> <td>4</td> <td>56802,32</td> <td>212,42</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Variedad*Producto</td> <td>6166,27</td> <td>4</td> <td>1541,57</td> <td>5,76</td> <td>0,0001</td> </tr> <tr> <td>Error</td> <td>236919,56</td> <td>886</td> <td>267,4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>471225,22</td> <td>895</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV	Peso de mazorca (g)	896	0,5	0,49	8,29	S.V.	SS	df	MS	F	p-value	Model	234305,66	9	26033,96	97,36	<0,0001	Variedad	955,31	1	955,31	3,57	0,0591	Producto	227209,27	4	56802,32	212,42	<0,0001	Variedad*Producto	6166,27	4	1541,57	5,76	0,0001	Error	236919,56	886	267,4			Total	471225,22	895				<p>Peso de mazorca (g)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>N</th> <th>R<sup>2</sup></th> <th>Adj R<sup>2</sup></th> <th>CV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de mazorca (g)</td> <td>896</td> <td>0,57</td> <td>0,56</td> <td>12,73</td> </tr> </tbody> </table> <p>Analysis of variance table (Partial SS)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>S.V.</th> <th>SS</th> <th>df</th> <th>MS</th> <th>F</th> <th>p-value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Model</td> <td>333395,66</td> <td>9</td> <td>37043,96</td> <td>128,25</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Variedad</td> <td>169062,07</td> <td>1</td> <td>169062,07</td> <td>585,3</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Producto</td> <td>155705,26</td> <td>4</td> <td>38926,32</td> <td>134,76</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Variedad*Producto</td> <td>8719,12</td> <td>4</td> <td>2179,78</td> <td>7,55</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Error</td> <td>255918,71</td> <td>886</td> <td>288,85</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>589314,37</td> <td>895</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV	Peso de mazorca (g)	896	0,57	0,56	12,73	S.V.	SS	df	MS	F	p-value	Model	333395,66	9	37043,96	128,25	<0,0001	Variedad	169062,07	1	169062,07	585,3	<0,0001	Producto	155705,26	4	38926,32	134,76	<0,0001	Variedad*Producto	8719,12	4	2179,78	7,55	<0,0001	Error	255918,71	886	288,85			Total	589314,37	895			
Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV																																																																																																															
Peso de mazorca (g)	896	0,5	0,49	8,29																																																																																																															
S.V.	SS	df	MS	F	p-value																																																																																																														
Model	234305,66	9	26033,96	97,36	<0,0001																																																																																																														
Variedad	955,31	1	955,31	3,57	0,0591																																																																																																														
Producto	227209,27	4	56802,32	212,42	<0,0001																																																																																																														
Variedad*Producto	6166,27	4	1541,57	5,76	0,0001																																																																																																														
Error	236919,56	886	267,4																																																																																																																
Total	471225,22	895																																																																																																																	
Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV																																																																																																															
Peso de mazorca (g)	896	0,57	0,56	12,73																																																																																																															
S.V.	SS	df	MS	F	p-value																																																																																																														
Model	333395,66	9	37043,96	128,25	<0,0001																																																																																																														
Variedad	169062,07	1	169062,07	585,3	<0,0001																																																																																																														
Producto	155705,26	4	38926,32	134,76	<0,0001																																																																																																														
Variedad*Producto	8719,12	4	2179,78	7,55	<0,0001																																																																																																														
Error	255918,71	886	288,85																																																																																																																
Total	589314,37	895																																																																																																																	
<p># de hileras (u)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>N</th> <th>R<sup>2</sup></th> <th>Adj R<sup>2</sup></th> <th>CV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td># de hileras (u)</td> <td>896</td> <td>0,45</td> <td>0,44</td> <td>8,08</td> </tr> </tbody> </table> <p>Analysis of variance table (Partial SS)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>S.V.</th> <th>SS</th> <th>df</th> <th>MS</th> <th>F</th> <th>p-value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Model</td> <td>1066,71</td> <td>9</td> <td>118,52</td> <td>80,16</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Variedad</td> <td>984,8</td> <td>1</td> <td>984,8</td> <td>666,05</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Producto</td> <td>55,4</td> <td>4</td> <td>13,85</td> <td>9,37</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Variedad*Producto</td> <td>27,46</td> <td>4</td> <td>6,86</td> <td>4,64</td> <td>0,001</td> </tr> <tr> <td>Error</td> <td>1310,01</td> <td>886</td> <td>1,48</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>2376,72</td> <td>895</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV	# de hileras (u)	896	0,45	0,44	8,08	S.V.	SS	df	MS	F	p-value	Model	1066,71	9	118,52	80,16	<0,0001	Variedad	984,8	1	984,8	666,05	<0,0001	Producto	55,4	4	13,85	9,37	<0,0001	Variedad*Producto	27,46	4	6,86	4,64	0,001	Error	1310,01	886	1,48			Total	2376,72	895				<p>Grosor de mazorca (cm)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>N</th> <th>R<sup>2</sup></th> <th>Adj R<sup>2</sup></th> <th>CV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Grosor de mazorca (cm)</td> <td>896</td> <td>0,24</td> <td>0,23</td> <td>4,29</td> </tr> </tbody> </table> <p>Analysis of variance table (Partial SS)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>S.V.</th> <th>SS</th> <th>df</th> <th>MS</th> <th>F</th> <th>p-value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Model</td> <td>115,79</td> <td>9</td> <td>12,87</td> <td>31,52</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Variedad</td> <td>8,42</td> <td>1</td> <td>8,42</td> <td>20,62</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Producto</td> <td>98,65</td> <td>4</td> <td>24,66</td> <td>60,42</td> <td>&lt;0,0001</td> </tr> <tr> <td>Variedad*Producto</td> <td>8,83</td> <td>4</td> <td>2,21</td> <td>5,41</td> <td>0,0003</td> </tr> <tr> <td>Error</td> <td>361,63</td> <td>886</td> <td>0,41</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>477,43</td> <td>895</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV	Grosor de mazorca (cm)	896	0,24	0,23	4,29	S.V.	SS	df	MS	F	p-value	Model	115,79	9	12,87	31,52	<0,0001	Variedad	8,42	1	8,42	20,62	<0,0001	Producto	98,65	4	24,66	60,42	<0,0001	Variedad*Producto	8,83	4	2,21	5,41	0,0003	Error	361,63	886	0,41			Total	477,43	895			
Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV																																																																																																															
# de hileras (u)	896	0,45	0,44	8,08																																																																																																															
S.V.	SS	df	MS	F	p-value																																																																																																														
Model	1066,71	9	118,52	80,16	<0,0001																																																																																																														
Variedad	984,8	1	984,8	666,05	<0,0001																																																																																																														
Producto	55,4	4	13,85	9,37	<0,0001																																																																																																														
Variedad*Producto	27,46	4	6,86	4,64	0,001																																																																																																														
Error	1310,01	886	1,48																																																																																																																
Total	2376,72	895																																																																																																																	
Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV																																																																																																															
Grosor de mazorca (cm)	896	0,24	0,23	4,29																																																																																																															
S.V.	SS	df	MS	F	p-value																																																																																																														
Model	115,79	9	12,87	31,52	<0,0001																																																																																																														
Variedad	8,42	1	8,42	20,62	<0,0001																																																																																																														
Producto	98,65	4	24,66	60,42	<0,0001																																																																																																														
Variedad*Producto	8,83	4	2,21	5,41	0,0003																																																																																																														
Error	361,63	886	0,41																																																																																																																
Total	477,43	895																																																																																																																	

**Anexo 8.** Análisis de varianza para las variables de longitud y peso de mazorca (con y sin envoltura), grosor de mazorca y numero de hileras.

Peso de granos (g)						
Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV		
Peso de granos (g)		896	0,62	0,61	14,62	
Analysis of variance table (Partial SS)						
S.V.	SS	df	MS	F	p-value	
Model	304601,92		9	33844,66	157,74	<0,0001
Variedad	159231,56		1	159231,56	742,14	<0,0001
Producto	136544,33		4	34136,08	159,1	<0,0001
Variedad*Producto	9005,06		4	2251,26	10,49	<0,0001
Error	190098,78		886	214,56		
Total	494700,7		895			
Test: Bonferroni Alpha:=0,05 LSD:=1,92084						
Error: 214,5584 df: 886						
Variedad	Means	n	S.E.			
Maíz Amarillo ENJ-2	86,83	448	0,69 A			
Peso de 100 granos (g)						
Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV		
Peso de 100 granos (g)		896	0,39	0,38	5,92	
Analysis of variance table (Partial SS)						
S.V.	SS	df	MS	F	p-value	
Model	2023,06		9	224,78	62,22	<0,0001
Variedad	1927,71		1	1927,71	533,59	<0,0001
Producto	47,62		4	11,91	3,3	0,0108
Variedad*Producto	46,97		4	11,74	3,25	0,0117
Error	3200,85		886	3,61		
Total	5223,92		895			
Test: Bonferroni Alpha: =0,05 LSD: =0,24925						
Error: 3,6127 df: 886						
Variedad	Means	n	S.E.			
Maíz Blanco HR-245	30,62	448	0,09 A			
Maíz Amarillo ENJ-2	33,55	448	0,09 B			
Means with a common letter are not significantly different (p > 0,05)						

**Anexo 9.** Análisis de varianza para las variables de peso de granos y peso de 100 granos

Rendimiento (ton/ha)						
Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV		
Rendimiento (ton/ha)		896	0,62	0,61	14,62	
Analysis of variance table (Partial SS)						
S.V.	SS	df	MS	F	p-value	
Model	601,56		9	66,84	157,74	<0,0001
Variedad	314,49		1	314,49	742,17	<0,0001
Producto	269,64		4	67,41	159,08	<0,0001
Variedad*Producto	17,79		4	4,45	10,5	<0,0001
Error	375,44		886	0,42		
Total	977		895			
Test:Bonferroni Alpha:=0,05 LSD:=0,08536						
Error: 0,4237 df: 886						
Variedad	Means	n	S.E.			
Maiz Amarillo ENJ-2	3,86	448	0,03	A		
Maiz Blanco HR-245	5,04	448	0,03		B	
Means with a common letter are not significantly different (p > 0,05)						

**Anexo 10.** Análisis de varianza para la variable de rendimiento de grano.

Nueva tabla : 4/8/2020 - 07:11:56 PM - [Versión : 30/4/2020]

Coefficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	Altura (m)	Grosor de tallo (cm)	Peso seco de la planta	Peso seco de raíz	Longitud de mazorca (cm)	Grosor de mazorca (cm)	Peso de mazorca (g)	Peso de granos (g)	Rendimiento (ton/ha)
Altura (m)	1,0000	0,0004	0,0950	0,0141	0,0013	0,0025	0,0272	0,0242	0,0239
Grosor de tallo (cm)	0,2605	1,0000	0,0000	0,0000	3,6E-08	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Peso seco de la planta	0,1248	0,5491	1,0000	0,0000	0,3903	1,8E-06	0,0000	0,0000	0,0000
Peso seco de raíz	0,1827	0,5355	0,7252	1,0000	0,0123	4,7E-07	2,1E-12	0,0000	0,0000
Longitud de mazorca (cm)	0,2367	0,3954	0,0644	0,1863	1,0000	0,0022	0,3320	0,5290	0,5270
Grosor de mazorca (cm)	0,2236	0,6637	0,3472	0,3650	0,2262	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Peso de mazorca (g)	0,1642	0,7831	0,5998	0,4929	0,0725	0,5670	1,0000	0,0000	0,0000
Peso de granos (g)	0,1675	0,7669	0,6199	0,5291	0,0471	0,5766	0,9799	1,0000	0,0000
Rendimiento (ton/ha)	0,1679	0,7679	0,6200	0,5292	0,0473	0,5762	0,9796	0,9999	1,0000

**Anexo 11.** Análisis de correlación para las variables de altura, grosor de tallo, peso seco de la planta, peso seco de raíz, longitud, peso y grosor de mazorca, peso de granos y rendimiento de grano.