

IMPACTO DEL CONTROL BIOLÓGICO EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN LA COMUNA MANANTIAL DE GUANGALA

IMPACT OF BIOLOGICAL CONTROL ON MAIZE (*Zea mays* L.) CULTIVATION IN THE MANANTIAL DE GUANGALA COMMUNE

Alberto Frederis Borbor Neira ^{1*}

¹ Instituto de Postgrado, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena.
Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8401-435X>. Correo: frederisborbor@gmail.com

Verónica Cristina Andrade Yucailla ²

² Instituto de Postgrado, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena.
Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7909-2128>. Correo: vandrade@upse.edu.ec

Fermín Fuentes Sandoval ³

³ Centro de Interpretación Entomológica, Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santa Elena.
Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9590-8603>. Correo: ferminfuentessandoval@gmail.com

Ángel Rodolfo León Mejía ⁴

⁴ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena. Ecuador. ORCID:
<https://orcid.org/0000-0002-3599-3669>. Correo: aleon@upse.edu.ec

* Autor para correspondencia: vandrade@upse.edu.ec

Resumen

Con el objetivo de evaluar agentes de control biológico en el cultivo de maíz, se realizó una investigación en la Comuna Manantial de Guangala recinto Clementina de la parroquia Colonche, provincia de Santa Elena. Se evaluaron dos tratamientos, T1.- Testigo (sin liberación de controles biológicos) y T2.- aplicación de 3 liberaciones de controles biológicos, distribuidos en un diseño completamente aleatorizado. Se comprobó la normalidad de los datos por la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homogeneidad de varianzas con el criterio de Levene. Se realizaron análisis de varianza que controlaron el efecto tratamiento (2) en las variables: altura de las plantas, grosor del tallo, largo y ancho de la hoja, a los 20, 40, 60, 80, 100, 120 y 135 días de establecido el cultivo; largo y ancho de la mazorca, semillas por mazorca, peso de 1000 semillas y rendimiento del cultivo, a los 135 días. El grosor del tallo, ancho y largo de las hojas en las plantaciones T2, fueron diferentes a los

T1 en 0.028 cm, 0.082 cm y 0.42 cm, respectivamente, sin diferencia significativa ($p>0.05$). El número de semillas por mazorca, peso de 1000 semillas, largo y ancho de la mazorca, no arrojaron diferencia ($p>0.05$) entre tratamientos; sin embargo, en las plantaciones tratadas con Control biológico, la incidencia de plagas fue inferior y el rendimiento fue superior ($p<0.05$) al Control (8.96 vs 7.97 t.ha⁻¹, respectivamente). Se concluye que la aplicación de un esquema de control biológico en plantaciones de maíz, mejora la sanidad y el rendimiento del cultivo.

Palabras clave: enemigos naturales; liberación; rendimiento; sanidad del cultivo

Abstract

In order to evaluate biological control agents in the cultivation of corn, an investigation was carried out in the Manantial Commune of Guangala Clementina Precinct of the Colonche parish, Santa Elena Province. Two treatments were evaluated, the T1.- Control (without release of biological controls) and the T2.- application of 3 releases of biological controls, distributed in a completely randomized design (DCA). To check the normality of the data, the Kolmogorov-Smirnov test was applied, for the homogeneity of variances the Levene criterion. Analyses of variance were performed to control the effect of treatment (2) on the study variables, plant height, stem thickness, leaf length and width, at 20, 40, 60, 80, 100, 120 and 135 days; for the length and width of the ear of corn, seeds per ear, weight of 1000 seeds and the yield of the crop, only at 135 days. The statistics were made with IBM SPSS v 25 software. The stem thickness, width and length of the leaves in the T2 plantations were higher than the T1 in 0.028 cm, 0.082 cm and 0.42 cm respectively, there was no difference for $p<0.05$. The number of seeds per cob, weight of 1000 seeds, length and width of the cob, showed no difference for T1 and treated T2 for $p<0.05$. The plantations treated with T2, their healthy and yield were higher than those found in the T1 plantations, 8.96 t.ha⁻¹ and 7.97 t.ha⁻¹ respectively, yielding significant difference for $p<0.05$.

Keywords: natural enemy; releasing; yield; healthy of crop

Fecha de recibido: 06/01/2025

Fecha de aceptado: 07/03/2025

Fecha de publicado: 01/04/2025

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales de mayor importancia económica en el mundo, ocupa el segundo lugar después del trigo (*Triticum aestivum* L.), con una producción global de unos 600 millones de toneladas. Constituye el alimento del 20% de la humanidad. Se cultiva por lo menos en más de 70 países, en un área de más de 120 millones de hectáreas (FAO, 2021). Su rendimiento promedio mundial es de 5.64 t.ha⁻¹; sin embargo, los países en desarrollo solo llegan a alcanzar 4.64 t.ha⁻¹ (SIPA, 2021). Se cultiva en las más diversas

condiciones edáficas y ecológicas, dada su alta plasticidad, y su producción y consumo a nivel mundial, alcanzan las más elevadas cifras en comparación con otros cultivos (FAO, 2021).

En la práctica agrícola de este cultivo, en muchas partes del mundo se hace un uso excesivo de productos químicos para el control de plagas y enfermedades, control de arvenses y en la fertilización inorgánica. Si bien la aplicación de estos insumos permite obtener rendimientos representativos, también constituyen un alto costo para el proceso productivo e impacta de forma negativa sobre el agroecosistema (Ramzan *et al.*, 2021). Para minimizar tales efectos, es necesario la adopción de prácticas amigables con el medio ambiente, las cuales resultan inocuas al ambiente, aumentan los rendimientos y disminuyen los costos de producción (Caviedes-Cepeda *et al.*, 2022). Por lo tanto, es urgente incrementar la producción nacional de tan vital renglón, mediante la introducción de la ciencia, la tecnología y la innovación, a fin de avanzar hacia la sostenibilidad e independencia alimentaria.

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) presenta diversos problemas fitosanitarios para su producción, dentro de los principales se encuentran las malezas, enfermedades e insectos plaga (*afectaciones*), estos últimos destacan debido al daño que ocasionan y se estima que provocan pérdidas en rendimiento de 30 %, éstos se presentan desde el establecimiento del cultivo hasta el almacenamiento del grano (Zambrano Mendoza and Caviedes, 2022).

La incidencia de los insectos plagas y el daño que ocasionan en los cultivos, está dada por diversos factores como las condiciones ambientales, fenología del cultivo (Ávila-Martínez *et al.*, 2023), hábitos del insecto plaga . Por otra parte, se reporta que en el cultivo de maíz hay daños por más de 70 especies de insectos plaga (López *et al.*, 2022), poseen una gran diversidad, en cuanto a coloración, forma, tamaño o preferencias de cultivos (Rueda-Adán, 2023).

Los insectos, según el daño que provoquen en la planta, son clasificados como plagas de follaje, raíz, mazorca y grano (López *et al.*, 2022), lo que implica utilizar métodos de control como el químico. Tanto es así, que es importante mencionar que el principal método de control de insectos plaga son los insecticidas químicos. Los efectos que posee la aplicación de productos químicos sobre los sistemas de producción agrícola, han sido adaptados efectivamente, siendo una estrategia de amplio espectro y de acción rápida (Rueda-Adán, 2023).

El gusano cogollero es considerado una de las plagas más importantes del maíz en las regiones tropicales y subtropicales de América. En diversas entidades del país se han registrado pérdidas causadas por este insecto que van desde 13 hasta 60 %. Los daños más serios corresponden a las zonas temporales de regiones tropicales y subtropicales (Crosby-Galván *et al.*, 2024).

La importancia del control biológico consiste en la introducción del organismo que será el agente de control biológico. Aunque a priori puede parecer algo muy sencillo, realizar la introducción de forma adecuada y controlada, requiere de profundos conocimientos y de una estrategia estudiada. Debido a eso, el control biológico de plagas es uno de los métodos que requiere de mayores conocimientos.

Los beneficios del control biológico radican en que permite luchar contra las plagas sin tener que recurrir a insecticidas o plaguicidas, productos que son tóxicos y perjudiciales tanto para la salud humana como para el medio natural. Además, este método tiene un efecto permanente en muchos casos, aportando por ello el mejor de los efectos a largo plazo. Su relación de eficacia/costo se dispara también y, aunque requiere de inversiones

iniciales que en ocasiones son costosas, a la larga resulta el más económico de los métodos de control de plagas.

Trichogramma spp, *Tetrastichus sp*, *Telenomus sp*. y *Chrysopidae* representan un conjunto diverso de organismos que desempeñan roles cruciales en el control de plagas agrícolas, especialmente en el cultivo de maíz (Rodríguez Sánchez *et al.*, 2024). Estos agentes biológicos actúan como enemigos naturales de las plagas, ya sea mediante la parasitación de huevos, la depredación de insectos perjudiciales o la competencia por recursos.

El cultivo de maíz desempeña un papel crucial en la seguridad alimentaria y la economía agrícola en numerosas comunidades de la provincia de Santa Elena. En la búsqueda de métodos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, para gestionar las plagas que afectan a este cultivo, el control biológico ha emergido como una alternativa prometedora.

El uso de métodos de control biológico puede beneficiar a las comunidades, al reducir los riesgos asociados con la exposición a productos químicos tóxicos. Además, la adopción de prácticas agrícolas sostenibles puede mejorar la calidad de vida de los agricultores y de aquellos que dependen directa o indirectamente de la producción de maíz. Es por eso que el objetivo de esta investigación fue evaluar la eficacia de los agentes de control biológico específicos de plagas, tales como *Trichogramma spp*, *Tetrastichus sp*, *Telenomus sp.*, y *Chrysopidae* en la producción del cultivo de maíz en la Comuna Manantial de Guangala Recinto Clementina de la parroquia Colonche.

Materiales y métodos

Ubicación

Esta investigación se ejecutó en el recinto Clementina de la comuna Manantial de Guangala, zona rural perteneciente a la parroquia Colonche, provincia de Santa Elena, ubicado en las coordenadas geográficas UTM 548531.52 y 9780353.46 (GPS garmin 64X, 21 de junio del 2024, zona agrícola y pecuaria).

Temperaturas. La comuna Manantial de Guangala recinto Clementina, es una zona de clima tropical, con dos estaciones climáticas, con cambios estacionales moderados, en el invierno (diciembre a mayo) las temperaturas oscilan entre 28 y 34 °C, durante el verano que es de julio a noviembre, la temperatura suele ser un poco más frescas, con máximas que varían entre 23 y 28 °C.

Precipitaciones. La Comuna Manantial de Guangala, al igual que toda la provincia, está influenciada por la estación lluviosa y estación seca, la temporada de lluvias va de diciembre a mayo, siendo el más lluvioso del año, alcanzando de 200 a 700 mm (con presencia del fenómeno El Niño se alcanza hasta 1200 mm), en la época seca también hay precipitaciones debido a la presencia del veranillo (garua) que alcanza en promedio 50 a 70 mm de precipitaciones.

Humedad relativa. La parroquia Colonche tiene la influencia de la zona costera del Ecuador, por lo cual la humedad relativa de sus comunas, entre ellas Manantial de Guangala, tiende a ser super alta con niveles entre los 65 a 90 % de humedad relativa.

Suelo. El suelo de los predios del sector Clementina, en base a análisis de suelos realizados en los últimos años, presenta las siguientes características: suelo Franco - Limoso con pH de 8, bajo en materia orgánica,

nitrógeno y zinc, manteniendo valores altos en fósforo y potasio. Las áreas utilizadas para el montaje del experimento mantuvieron características homogéneas de composición de suelo.

Tratamientos y Diseño experimental

Se evaluaron dos tratamientos, el T1.- Testigo (sin liberación de controles biológicos) y el T2.- el cual consistió en la aplicación de 3 liberaciones de controles biológicos y 3 repeticiones de los mismos. Primera liberación: *Trichogramma spp.* (100 000 unidades), *Tetrastichus sp* (7 000 unidades) a los 21 días; segunda liberación: *Telenomus sp.* (7 000 unidades) y *Chrysopidae* (10 000 unidades) a los 21 días siguientes; tercera liberación: *Telenomus sp.* (7 000 unidades) a los 21 días siguientes, los cuales se distribuyeron en un diseño completamente aleatorizado (DCA).

Procedimiento del experimento

- Preparación de terreno: El terreno es una extensión de 4 ha, de las cuales se destinó 1 ha para la investigación. Esta área fue arada con romplot de 16 discos, a una profundidad de 30 cm y la separación entre surcos fue de 0.90 m, para remover las capas de suelo en 2 pasadas. En cada tratamiento, para los muestreos se utilizaron tres parcelas formadas por cuatro surcos de 25 m de largo, para un área por parcela de 100 m². Las áreas en las que se evaluaron los dos tratamientos: aplicación de controles biológicos (Control biológico) y el testigo (plantación sin aplicar control biológico), se mantuvieron a una distancia de 300 m, para mayor control del factor de estudio.
- Siembra: Previo a la siembra se procedió a realizar la curación de las semillas con Semeprid, con dosis de 250 mL por una funda de 20 kg de semillas. La siembra se realizó de manera manual con 6 jornales que usaron espeques, a un distanciamiento de 0.90 cm entre hileras (sistema de riego instalado) y a 20 cm entre plantas, con una semilla por hoyo.
- Riego: El predio cuenta con recurso hídrico que se abastece del reservorio de la junta de riego y drenaje de la comuna, cuenta con agua permanentemente, se utilizó sistema de riego por goteo (cinta de riego de 16 mm con goteros de 2 L.ha⁻¹), con un distanciamiento de 0.90 entre líneas, la cinta de riego tenía un distanciamiento de 0.25 entre gotero. Los riegos fueron realizados de manera constante en base al requerimiento del cultivo y las condiciones climáticas de la zona.
- Nutrición: La demanda de nutrientes del maíz es alta en nitrógeno, fósforo y potasio, es así que se utilizó una combinación de insumos para llevar una fertilización más sana, la cual conto de abono orgánico (Ecoabonanza) 10 sacos de 23 kg cada uno que fueron incorporados al suelo antes de la siembra, 5 sacos de abono orgánico mezclado con 1 saco de DAP que fueron colocados a la pata de las plantas a los 10 días después de emergido el maíz, 4 sacos de Yaramilla como abono completo, la misma que se aplicaron por fertirriego, se complementó con 20 L de biol de frutas que eran aplicados de forma foliar y por sistema. Para el suelo también se aplicaron 3 L de ácidos húmicos. Otra ayuda que se realizó fue la siembra de especie de frijol cada cierto espacio, lo que permite la fijación de nitrógeno al suelo.
- Control de malezas: El control de malezas se hizo en primera instancia con la maquinaria que realizó la mecanización del terreno, incorporando varias especies de malezas como abono verde. Una vez

germinado el cultivo, se empezó a realizar el control de forma manual y con ayuda de machetes y azadones como herramienta principal, a los 25 días del cultivo también se sembró zapallo, que permitió cubrir el suelo, evitando así la proliferación de malezas.

- **Control de plagas y enfermedades:** Para el control de plagas se evaluó el efecto de la aplicación de controladores biológicos (*Trichogramma spp*, *Tetrastichus sp*, *Telenomus Sp.*, y *Chrysopidae*) sobre la incidencia de plagas y enfermedades, evitando el uso de productos químicos. Se utilizaron tres parcelas formadas por cuatro surcos de 25 m de largo, para un área por parcela de 100 m². Las áreas en las que se evaluaron los dos tratamientos: aplicación de controles biológicos (Control biológico) y el testigo (plantación sin aplicar control biológico), se mantuvieron a una distancia de 300 m, para mayor control del factor de estudio. Cada parcela se dividió en cuatro cuadrantes, realizándose en cada uno de ellos muestreos cada siete días hasta el cierre de las parcelas. Se utilizó la escala de 0-4 grados y la fórmula de Townsend y Heuberger (1948) que consiste en:

Grados	Número de lesiones
0	hojas sanas
1	hojas con una lesión
2	hojas con dos lesiones
3	hojas con tres lesiones
4	hojas con cuatro o más lesiones

$\Sigma a.b$

Fórmula: $I = \frac{\Sigma a.b}{X \cdot N} \times 100$

Donde:

I= intensidad (%)

a= número de hojas afectadas en cada grado

b= valor de la escala

X= valor mayor de la escala

N= número total de hojas

Variables controladas. Se controlaron las variables morfológicas: altura de la planta, grosor del tallo, largo y ancho de la hoja, a los 20, 40, 60, 80, 100, 120 y 135 días de establecido el cultivo. Se controlaron las variables rendimiento del cultivo y sus componentes: largo y ancho de la mazorca de maíz, número de hilera por mazorca, número de granos por hileras, peso de 1 000 semillas y el rendimiento del cultivo, a los 135 días de establecido el cultivo.

Análisis estadísticos

Para comprobar la normalidad de los datos se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov y para la homogeneidad de varianzas el criterio de Levene. Se realizaron análisis de varianza en los que se controló el efecto de tratamiento (2) en las variables de estudio altura de las plantas, grosor del tallo, largo de la hoja, ancho de la hoja, a los 20, 40, 60, 80, 100, 120 y 135 días; para la variable rendimiento y sus componentes:

largo y ancho de la mazorca de maíz, semillas por mazorca, peso de 1 000 semillas y el rendimiento del cultivo, solo a los 135 días. Para todo el análisis estadístico se utilizó el software IBM SPSS v 25.

Resultados y discusión

En sentido general la incidencia de plagas y enfermedades fue muy baja, lo cual puede deberse al efecto y acción de los controles biológicos. La mayor incidencia se registró de *Spodoptera frugiperda* Smith, de cuyos datos el análisis de varianza arrojó diferencias significativas entre tratamientos y muestreos (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados del análisis de varianza en la incidencia de *Spodoptera frugiperda* Smith en el cultivo de maíz.

Fuentes de variación	Cuadrados medios	Significación
Tratamiento	28.13	$p \leq 0.0000^{***}$
Muestreo	2.83	$p \leq 0.0036^{**}$
Tratamiento x Muestreo	1.13	$p \leq 0.0979$ ns
Error	0.47	

** $p \leq 0,01$ *** $p \leq 0,001$ ns: no significativo

En la Figura 1 se muestra que la mayor incidencia de *Spodoptera frugiperda* Smith se presentó en las plantaciones testigos. En la parcela donde se aplicaron los controles biológicos, el control de la plaga fue de 73.05 %. La incidencia de plagas en la plantación testigo fue superior que en la plantación donde se aplicó control biológico, siendo significativo para $p \leq 0.05$.

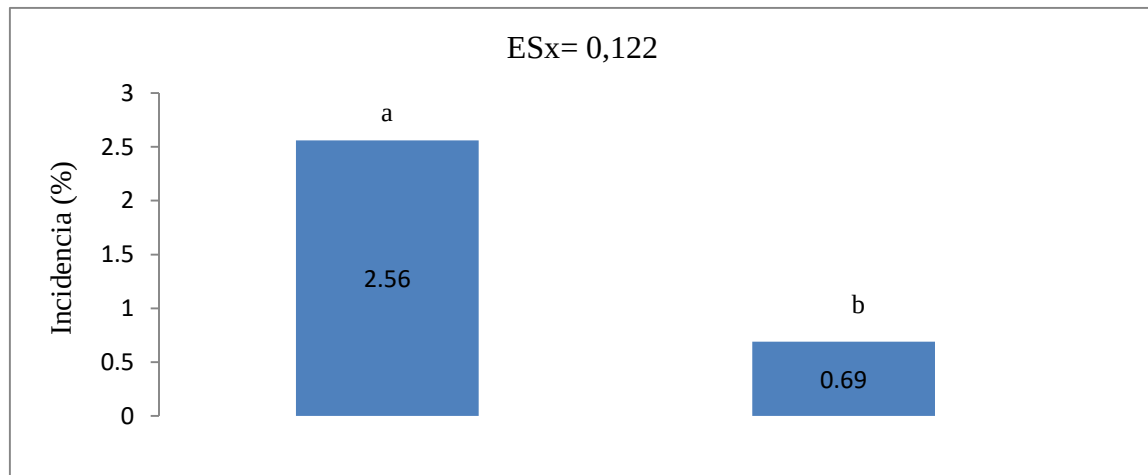


Figura 1. Incidencia de *Spodoptera frugiperda* Smith en el cultivo de maíz.
ab: Barras con letras desiguales muestran diferencias para $p \leq 0.05$, según la prueba de Tukey.

Estos resultados son similares a los encontrados por Gómez et al. (2021), los cuales, al liberar *Trichogramma brassicae* en etapas tempranas del cultivo, lograron reducir la eclosión de larvas en 60-75 %. Estos resultados demuestran que los controles biológicos son herramientas viables para disminuir plagas, con beneficios ambientales y económicos a mediano plazo. Su éxito depende de una planificación adaptada a las condiciones locales y su integración en estrategias de Manejo Integrado de Plagas.

En la Figura 2 se muestra que la mayor incidencia se presentó en los estadios más jóvenes de los cultivos, con una disminución significativa a partir del tercer muestreo, coincidiendo con la tercera etapa de liberación de los controles biológicos y la maduración de tallos y hojas de las plantas.

Fernández et al. (2022) plantean que la liberación de *Trichogramma* debe coincidir con la oviposición de la plaga, que varía según la etapa del cultivo. En maíz tardío, la ventaja de aplicación se reduce drásticamente. Sin embargo, Díaz et al. (2023) señalan, además, que las plantas maduras activan defensas naturales (acumulación de lignina), reduciendo la necesidad de intervenciones externas.

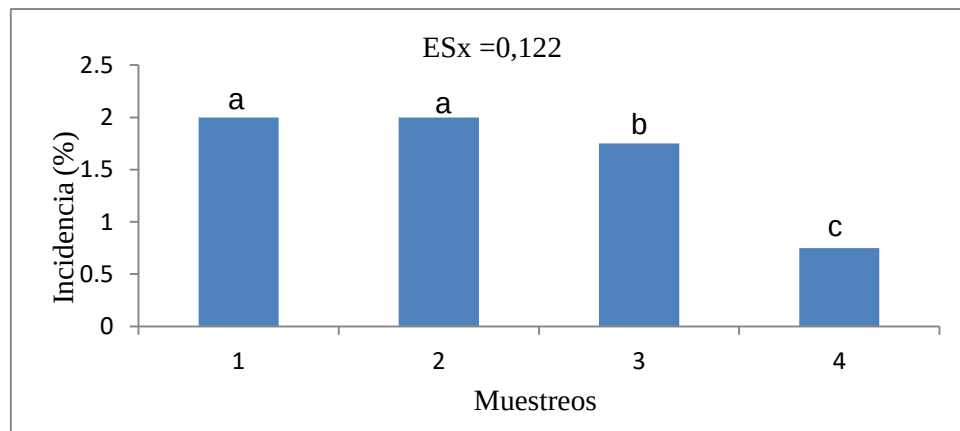


Figura 2. Incidencia de *Spodoptera frugiperda* Smith en diferentes momentos del desarrollo de las plantas.
abc: Barras con letras iguales no muestran diferencias para $p \leq 0.05$, según la prueba de Tukey.

Los resultados obtenidos, coinciden con los expuestos por los autores anteriormente citados, lo que corrobora que la disminución de plagas mediante controles biológicos se explica por mecanismos como parasitismo, depredación, patogenicidad y activación de defensas vegetales. Su éxito depende de la selección adecuada de agentes, condiciones ambientales favorables e integración con prácticas agrícolas sostenibles.

En la Figura 3 se muestra el comportamiento de la altura de las plantas durante las distintas etapas del desarrollo fenológico. A partir del día 20 y hasta el día 135 después de la siembra (dds), se observó un crecimiento continuo, llegando a un punto de estabilidad luego del día 58 dds. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la comparación de los productos control biológico con respecto a los testigos, con un promedio de altura al final del ciclo de 2.12 m para los testigos y de 2.13 m para el control biológico.

Laos (2017), al comparar tres diferentes productos 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 señala 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.

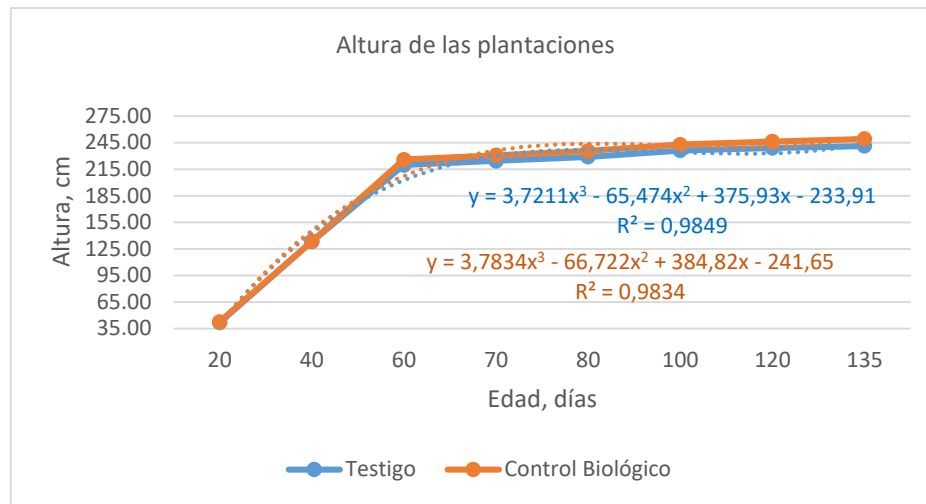


Figura 3. Comportamiento de la altura de las plantas según tratamiento hasta los 135 días de edad.

Por otro lado, los resultados concuerdan con lo obtenido por Rodríguez (2013) al evaluar tres controles biológicos diferentes 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 grosor del tallo en el maíz (*Zea mays* L.) es un rasgo morfológico clave que afecta la estabilidad mecánica, la eficiencia en el transporte de nutrientes y la resistencia a factores ambientales. En la Tabla 2 se representa como se comportó este parámetro en los sembradíos de maíz testigo y en los que se le aplicaron control biológico, en ambos sembradíos, osciló entre 1,44 a 3,47 cm desde los 20 días hasta los 135, respectivamente. No hubo diferencia significativa para $p < 0.05$, aunque si una ligera ventaja en la plantación donde se aplicó control biológico. Al respecto, López et al. (2022) plantean que el grosor del tallo está regulado por genes asociados a la síntesis de lignina y celulosa, variedades híbridas con mayor expresión del gen *ZmCCR1* (involucrado en la biosíntesis de lignina) presentaron tallos un 18 % más gruesos que las variedades tradicionales.

Tabla 2. Grosor del tallo de las plantas en todo el ciclo de la plantación.

Edad (días)	Media de los Tratamientos		ES±	P
	Testigo	Control Biológico		
20	1.44	1.54	0.036	0.079
40	2.20	2.23	0.025	0.450
60	2.65	2.69	0.031	0.425
80	3.070	3.09	0.021	0.640
100	3.265	3.30	0.024	0.544
120	3.415	3.42	0.044	0.966
135	3.473	3.47	0.028	0.873

Los resultados del estudio presentado son similares a los que plantean Pérez et al. (2020), plantas con tallos de diámetro ≥ 3.5 cm redujeron las pérdidas por acame en un 40 % en regiones tropicales, mostrando mayor resistencia a vientos fuertes y lluvias intensas.

Un estudio de González et al. (2021) demostró que la fertilización nitrogenada incrementó el diámetro del tallo en un 15 %, mejorando la resistencia al acame (volcamiento), concluyendo que la disponibilidad de nitrógeno y potasio promueve el engrosamiento del tallo al estimular la división celular. Sin embargo, Silva et al. (2023) observaron que plantas con tallos gruesos mantuvieron un 25 % más de tasa de llenado de granos bajo estrés hídrico, demostrando que un tallo robusto facilita el flujo eficiente de agua y fotoasimilados desde las raíces hasta las mazorcas.

El largo de las hojas de maíz (*Zea mays* L.) es un factor morfológico clave que influye en la productividad del cultivo, ya que está directamente relacionado con la capacidad fotosintética, la interceptación de luz y la acumulación de biomasa. El comportamiento del largo de las hojas de los sembradíos testigo como control biológico (Tabla 3) no presentaron diferencias significativas para $p < 0.05$ en todo su ciclo fenológico, esto indica, presumiblemente que se debe tener en cuenta otros factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de las mismas, aunque en casi todo el estudio este parámetro fue mayor en las plantaciones donde se les aplicó control biológico.

Tabla 3. Largo de las hojas desde los 20 hasta los 135 días de edad de la plantación.

Edad (días)	Media de los Tratamientos		ES±	P
	Testigo	Control Biológico		
20	41.36	40.34	0.66	0.382
40	88.75	91.23	0.72	0.059
60	103.09	102.41	0.47	0.354
80	110.14	109.28	0.40	0.201
100	113.72	113.54	0.41	0.780
120	116.85	115.99	0.34	0.310
135	117.88	116.97	0.42	0.257

Según Rivera et al. (2020), en variedades de maíz con hojas más largas se observó un incremento del 15-20 % en la tasa fotosintética neta, comparado con genotipos de hojas cortas. Esto se asocia con una mayor eficiencia en la conversión de energía lumínica a biomasa, especialmente durante etapas críticas como la floración y el llenado de granos.

En la Tabla 4 se muestra el comportamiento del ancho de las hojas que, al igual que el largo de las mismas, determina la superficie disponible para la captura de luz y la transpiración, factores críticos para la fotosíntesis y la termorregulación. Para este factor en ambos sembradíos, no existe diferencia significativa para $p < 0.05$; sin embargo, el ancho de las hojas del sembradío que se le aplicó el control biológico fue mayor en toda la fase fenológica, autores como Rojas et al. (2021), plantean que, hojas más anchas en variedades de maíz tropical mostraron un aumento del 12 % en la asimilación de CO_2 , comparado con genotipos de hojas estrechas. Esto se atribuye a una mayor densidad de estomas y una mejor distribución de los cloroplastos en la lámina foliar coincidiendo.

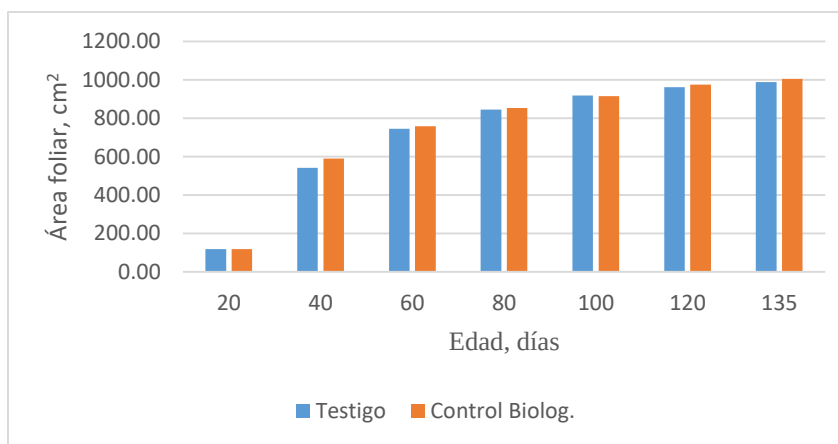
Tabla 4. Ancho de las hojas desde los 20 hasta los 135 días de edad de la plantación.

Edad (días)	Media de los Tratamientos		ES±	P
	Testigo	Control Biológico		
20	3.73	3.893	0.082	0.162
40	8.14	8.607	0.125	0.067
60	9.70	9.815	0.070	0.210
80	10.32	10.318	0.067	0.997
100	10.76	10.751	0.072	0.946
120	11.13	11.052	0.079	0.510
135	11.36	11.265	0.082	0.383

Según Hernández et al. (2022) el ancho foliar está correlacionado con la resistencia a plagas y enfermedades. Por ejemplo, hojas más anchas presentan una mayor concentración de metabolitos secundarios (fenoles), que actúan como defensas naturales contra insectos como el cogollero (*Spodoptera frugiperda*). Además, según López et al. (2023), genotipos con hojas anchas mantuvieron un 30 % más de rendimiento en grano bajo estrés térmico, gracias a una mejor regulación de la temperatura foliar.

Sin embargo, en condiciones de alta densidad de siembra, hojas anchas pueden generar competencia por luz, reduciendo la eficiencia fotosintética de plantas vecinas (Ramírez & Castro, 2020). Esto resalta la necesidad de ajustar el diseño de siembra según las características foliares del cultivar.

En la Figura 4 se muestra el comportamiento y evolución del área foliar de las plantaciones testigos y control biológico. Para ambas plantaciones no hubo diferencia significativa desde el nacimiento hasta su crecimiento-desarrollo, pero si se encontró una tendencia ($p < 0.10$) a ser superior en las plantaciones donde se les aplicó el control biológico, lo cual influyó en un mejor comportamiento productivo de esta última.

**Figura 4.** Área foliar durante las fases de crecimiento y desarrollo de las plantaciones de maíz hasta los 135 días de edad ($p < 0.10$).

Al respecto, Chen et al. (2024) plantearon que el área foliar (AF) es un parámetro fisiológico clave en la productividad del maíz (*Zea mays* L.), ya que determina la eficiencia de interceptación de luz y la síntesis de foto asimilados. Estudios recientes (García-López et al., 2024; Singh & Kumar, 2025) refuerzan la hipótesis de que un mayor AF se correlaciona positivamente con el rendimiento de grano, aunque su efectividad

depende de factores genéticos, ambientales y de manejo. Esta discusión integra evidencia actualizada para analizar dicha relación.

Otros autores como Kaur et al. (2024), Wang et al. (2023), refieren que, aunque un mayor área foliar (AF) promueve la fotosíntesis, su impacto depende de la disponibilidad de recursos, en condiciones de estrés hídrico, plantas con AF elevado pueden agotar reservas de agua más rápido, reduciendo la eficiencia en el uso del agua, además, el nitrógeno (N) es crítico para mantener la longevidad foliar; déficits de N aceleran la senescencia, limitando la fotosíntesis durante el llenado de grano y altas densidades aumentan la competencia por luz y nutrientes. Estudios de López-Martínez et al. (2025) muestran que, en densidades superiores a 90.000 plantas.ha⁻¹, el rendimiento disminuye a pesar de un AF alto, debido al estrés por competencia intraespecífica.

La influencia del largo y ancho de la mazorca de maíz sobre el rendimiento por hectárea ha sido estudiada en los últimos años como parte de los esfuerzos para optimizar la productividad del cultivo. En la Tabla 5 se muestra que, para los componentes Largo de la mazorca y Ancho de la mazorca, que tributan al rendimiento, entre las plantaciones testigos y las que se les aplicó control biológico, se encontraron deferencias significativas para $p < 0,001$, evidenciando que cuando se hace la aplicación del control biológico a las plantaciones, estos parámetros suelen ser superior con respecto a los que no se les aplican los mismos.

Tabla 5. Comportamiento del rendimiento y sus componentes según tratamiento a los 135 días.

Variable	Media de los Tratamientos		ES±	P
	Testigo	Control Biológico		
Largo de la mazorca	18.86	19.22	0.98	0.000***
Ancho de la mazorca	4.71	5.04	0.32	0.000***
Semillas x mazorca	407.56	500.94	6.94	0.000***
Peso de 1000 semillas, g	240.50	242.91	1.17	0.32
Rendimiento (t.ha ⁻¹)	7.97	8.96	0.096	0.000***

*** ($p < 0.001$)

En estudios realizados por Liu et al. (2014), destacan que genotipos con mazorcas largas (≥ 18 cm) tienen hasta un 15 % más de granos que variedades con mazorcas cortas. Sin embargo, en condiciones de estrés hídrico o nutricional, mazorcas muy largas pueden reducir el llenado de granos, afectando el peso final (García-López et al., 2024). Sin embargo, estos autores plantean que un mayor largo se asocia con un incremento en el número de granos por mazorca, lo que impacta positivamente el rendimiento del cultivo, coincidiendo con los resultados en el estudio.

Un mayor diámetro está vinculado a granos más grandes y mayor peso por mazorca, según Chen et al. (2023), quienes demostraron que mazorcas anchas (≥ 4.5 cm) incrementan el rendimiento en hasta 1.2 t.ha⁻¹ en híbridos modernos; no obstante, mazorcas muy anchas pueden limitar la densidad de plantas por hectárea, ya que requieren más espacio para evitar competencia por luz. Los resultados concuerdan con lo antes planteado por los autores, ya que las plantaciones que se les aplicó control biológico, el ancho de la mazorca fue superior a los 5 cm como promedio, lo cual repercutió en que el rendimiento de estas plantaciones fuera superior y significativo ante las plantaciones testigo.

El número de semillas por mazorca está positivamente correlacionado con el rendimiento en grano, aunque su efecto depende del peso individual de las semillas. En el caso de este estudio, la cantidad de semillas por mazorca es superior en las plantaciones donde se aplica el control biológico. Esto explica, además, que el rendimiento sea superior en el tratamiento con control biológico. Al respecto, Silva et al. (2020) plantean que un aumento del 10% en el número de semillas incrementó el rendimiento en un 7% bajo condiciones óptimas de fertilización y riego. Sin embargo, en ambientes con estrés hídrico, este beneficio se reduce, ya que las plantas priorizan la supervivencia sobre la producción de semillas (Torres *et al.*, 2023).

Entretanto, un exceso de semillas puede generar competencia intra-mazorca, produciendo granos más pequeños y menos densos, lo que reduce la calidad comercial (Rojas *et al.*, 2021). Por ello, programas de mejoramiento genético buscan equilibrar el número de semillas con su tamaño y peso (Herrera *et al.*, 2024).

Conclusiones

La aplicación de un esquema consistente en tres liberaciones de los controles biológicos *Trichogramma spp*, *Tetrastichus sp*, *Telenomus sp.*, y *Chrysopidae* en distintas etapas fenológicas, mantiene los parámetros morfológicos de las plantas, mejora su sanidad e incrementa el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), en las condiciones edafoclimáticas de Manantial de Guangala.

Referencias

- Ávila-Martínez, D., Cervantes-Ortiz, F., Rodríguez-Pérez, G., Gámez-Vázquez, A. J., García-Rodríguez, J. G., Mendoza-Elos, M., Ávila-Martínez, D., Cervantes-Ortiz, F., Rodríguez-Pérez, G., Gámez-Vázquez, A. J., García-Rodríguez, J. G., & Mendoza-Elos, M. (2023). Daño y dinámica poblacional del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en líneas élite de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 34(3). <https://doi.org/10.15517/am.2023.53809>
- Caviedes-Cepeda, M., Carvajal-Larenas, F., & Zambrano-Mendoza, J. L. (2022). Generación de tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el Ecuador. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 14(1), 21. <https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2588>
- Crosby-Galván, M. M., Mendoza-Pedroza, S. I., Antonio-Medina, A., & Vázquez, V. (2024). Prácticas agronómicas en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Agro-Divulgación*, 4(3). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i3.249>
- Chen, Y., Li, H., & Wang, Q. (2023). Leaf area index and light interception efficiency in modern maize hybrids. *Agronomy Journal*, 115(2), 456-467. <https://doi.org/10.1002/agj2.20876>
- Díaz, A., Vargas, M., & Soto, J. (2023). Resistencia inducida en maíz maduro. *Fisiología Vegetal*, 12(1), 30-45.
- Fernández, E., Ramírez, P., & Gómez, T. (2022). Sincronización de *Trichogramma spp.* en maíz. *Entomología Aplicada*, 18(3), 45-60.
- García-López, R., Sánchez, B., & Ruiz, J. (2024). Genetic and environmental interactions in leaf area development of maize. *Frontiers in Plant Science*, 15, 234-245. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.00234>

- Gómez, A., Herrera, M., & Díaz, A. (2021). Eficacia de *Trichogramma brassicae* en el control de palomilla. *Control Biológico*, 15(2), 78-92.
- González, A., Herrera, P., & Mendoza, J. (2021). Efecto del nitrógeno en la estructura del tallo de maíz bajo estrés ambiental. *Nutrición Vegetal Aplicada*, 19(2), 88-102.
- 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.
- Hernández, C., Gómez, T., & Torres, L. (2022). Metabolitos defensivos en hojas de maíz y su relación con el ancho foliar. *Fitoprotección*, 19(4), 60-75.
- Herrera, D., López, G., & Pérez, V. (2024). Mejoramiento genético para equilibrio entre número y tamaño de semillas en maíz. *Revista de Fitomejoramiento*, 22(1), 55-70.
- 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. 58.
- Liu, Y., Wang, L., Sun, C., Zhang, Z., Zheng, Y., Qiu, F. (2014). Genetic analysis and major QTL detection for maize kernel size and weight in multi-environments. *Theor Appl Genet*. 2014;127:1019–37.
- López, J. J., Chirinos, D. T., Ponce, W. H., Solórzano, R. F., & Alarcón, J. P. (2022). Actividad insecticida de formulados botánicos sobre el gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 48(1). <https://doi.org/10.25100/socolen.v48i1.11739>
- López, E., Mendoza, P., & Rivera, H. (2023). Respuesta de genotipos de maíz con diferente ancho foliar al estrés térmico. *Agricultura y Cambio Climático*, 15(3), 112-125.
- Martínez, J. et al. (2024). Climate-resilient maize: Balancing cob size and plant density. *Journal of Agronomy and Crop Science*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2021) Datos estadísticos FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Pérez, M., Ramírez, H., & Díaz, A. (2020). Resistencia al acame en maíz tropical: Relación con el grosor del tallo. *Protección de Cultivos*, 15(1), 22-37
- Ramzan, M., Ilahi, H., Adnan, M., Ullah, A., & Ullah, A. (2021). Observation on Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on Maize Under Laboratory Conditions. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. A, Entomology*, 14(1), 99-104. <https://doi.org/10.21608/eajbsa.2021.152337>
- Rodríguez Sánchez, I. P., Peña Carrillo, K. I., Gómez Govea, M. A., de Luna, M., & Ramírez Ahuja, M. de L. (2024). The Collection of Benefic and Entomophagous Insects (CIBE) of the Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), México: A collection focused on parasitoids Hymenoptera. *ACTA ZOOLÓGICA MEXICANA (N.S.)*, 40(1), 1-13. <https://doi.org/10.21829/azm.2024.4012715>

- Rojas, S., Herrera, M., & Díaz, A. (2021). Ancho foliar y eficiencia fotosintética en maíz tropical. *Fisiología Vegetal Aplicada*, 13(1), 22-37
- Rueda-Adán, L. A. (2023). Virulencia de tres cepas locales de *Bacillus thuringiensis* (Berliner) sobre el gusano cogollero del maíz, bajo condiciones in vitro. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/8887>
- Rivera, M., Torres, H., & Mendoza, J. (2020). Fotosíntesis y morfología foliar en genotipos de maíz de alto rendimiento. *Revista de Investigación Agrícola*, 25(2), 34-47
- Silva, M., Ramírez, L., & Vargas, P. (2020). Relación entre número de semillas y rendimiento en maíz bajo riego. *Revista de Producción Agrícola*, 14(2), 22-37.
- Silva, R., Mendoza, P., & Vargas, D. (2023). Grosor del tallo y eficiencia en el transporte de nutrientes bajo estrés hídrico. *Fisiología Vegetal*, 16(3), 70-83.
- Singh, R., & Kumar, V. (2025). Synergies between leaf area expansion and nitrogen use efficiency in maize. *Plant and Soil*, 489(1-2), 89-104. <https://doi.org/10.1007/s11104-025-05987-8>
- Sistema de Información Pública Agropecuaria SIPA. (2021). Cifras Agroproductivas. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Quito, Ecuador. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Torres, E., Soto, K., & Ríos, M. (2023). Estrés hídrico y partición de recursos en maíz: Enfoque en semillas por mazorca. *Agricultura y Sequía*, 16(3), 90-105.
- Towsend, G. R. y Heuberger, J. W. (1948). Methods for estimating losses by diseases in fungicides experiments. *Plant Dis. Report*. 27: 340-343.
- Zambrano Mendoza, J. L., & Caviedes C., M. (2022). Estado actual de la producción de maíz en Ecuador. Quito, EC: INIAP-EESC, 2022. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5886>