

EVALUACIÓN DEL USO DE UN ACTIVADOR ORGÁNICO FOLIAR ELABORADO A BASE DE LEONARDITA EN EL CULTIVO DE MAÍZ HÍBRIDO (F2) EN TERRENOS DE LA UNERG

Cándido Sumoza A.,^{1,2*} Angel Valera V.,^{1,2} Willians Tovar R.,^{1,2} José Mejías,^{2,3} Oscar Rengifo.^{2,3}

¹ Universidad Rómulo Gallegos, Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas (CIESA-UNERG), San Juan de los Morros, Estado Guárico, Venezuela, e-mail: sumagraz@gmail.com, willtov@gmail.com

² Universidad Rómulo Gallegos, Área de Ingeniería Agronómica, San Juan de los Morros, Estado Guárico, Venezuela, e-mail: angelvalera@unerg.edu.ve. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5500-1332>

³ Universidad Rómulo Gallegos, Centro Jardín Botánico, San Juan de los Morros, Estado Guárico, Venezuela, e-mail:

* Autor de correspondencia

Recibido: 20 /031/2026; **Aceptado:** 14 /04 /2026; **Publicado:** 30 /06 /2026.

RESUMEN

El paradigma agrícola mundial se enfrenta actualmente a un doble desafío: la necesidad de mantener altos rendimientos para garantizar la seguridad alimentaria y el imperativo de reducir la dependencia de insumos sintéticos debido a su elevado costo e impacto ambiental. En Venezuela, este escenario se intensifica por la dificultad económica para adquirir semillas híbridas certificadas, lo que ha llevado a muchos productores a utilizar semillas de segunda generación (F2), resultando en una segregación genética significativa y la pérdida de uniformidad fenotípica. Esta investigación evalúa el potencial bioestimulante de un activador orgánico foliar derivado de la leonardita —materia orgánica altamente oxidada rica en sustancias húmicas y fúlvicas— para mitigar estos efectos y optimizar la productividad del maíz híbrido Pioneer (F2) en los suelos de baja fertilidad del Jardín Botánico de la Universidad Rómulo Gallegos (UNERG). El estudio empleó un diseño experimental robusto con 160 unidades de muestreo (N=160) medidas a los 50 días después de la emergencia (DDE). El marco metodológico integró cuatro niveles de fertilización (T0: Control; T1 y T2: NPK más activador; T3: Solo activador) y dos condiciones de cobertura del suelo (Con Cobertura - CC; Sin Cobertura - SC). El análisis estadístico descriptivo reveló un alto coeficiente de variación (CV) para la altura de la planta (61,7%), confirmando la segregación genética esperada del material F2. Sin embargo, la aplicación del activador a base de leonardita, particularmente en el tratamiento T1, mostró una mejora sustancial en el rendimiento fisiológico, alcanzando un rendimiento promedio de 4.058 kg/ha y un índice

de clorofila del 47,4%, en comparación con los 1.998 kg/ha y el 28,3% del grupo control. Además, la integración del manejo físico del suelo mediante la cobertura (CC) demostró un efecto sinérgico, incrementando el rendimiento promedio en un 27% (3.332 kg/ha frente a 2.620 kg/ha en SC). El análisis de correlación de Pearson ($p < 0,05$) identificó una relación positiva muy fuerte ($r = 0,912$) entre el contenido de clorofila a los 50 DDE y el rendimiento de grano final, estableciendo esta variable fisiológica como un predictor altamente confiable para la estimación del rendimiento. Los resultados concluyen que, si bien los híbridos F2 exhiben una variabilidad inherente, el uso estratégico de activadores orgánicos y cobertura del suelo proporciona una vía técnica viable para estabilizar la producción, mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes y alcanzar rendimientos de hasta 4.884 kg/ha. Esta investigación proporciona una base científica para el manejo sostenible del maíz en condiciones tropicales utilizando alternativas orgánicas de bajo costo.

Palabras clave: *Zea mays*, Leonardita, Híbrido F2, Bioestimulantes, Cobertura del suelo, Clorofila.

EVALUATION OF THE USE OF AN ORGANIC FOLIAR ACTIVATOR BASED ON LEONARDITE IN HYBRID CORN (F2) CULTIVATION ON UNERG LANDS.

ABSTRACT

The global agricultural paradigm currently faces a dual challenge: the need to maintain high yields to ensure food security and the imperative to reduce dependence on synthetic inputs due to their high cost

and environmental impact. In Venezuela, this scenario is intensified by the economic difficulty in acquiring certified hybrid seeds, which has led many producers to use second-generation (F2) seeds, resulting in significant genetic segregation and loss of phenotypic uniformity. This research evaluates the biostimulant potential of a foliar organic activator derived from leonardite -highly oxidized organic matter rich in humic and fulvic substances- to mitigate these effects and optimize the productivity of Pioneer hybrid maize (F2) in the low-fertility soils of the Botanical Garden of the Romulo Gallegos University (UNERG). The study employed a robust experimental design with 160 sampling units (N=160) measured at 50 days after emergence (DAE). The methodological framework integrated four fertilization levels (T0: Control; T1 and T2: NPK plus activator; T3: Activator only) and two soil cover conditions (With Cover -WC; Without Cover -NC). Descriptive statistical analysis revealed a high coefficient of variation (CV) for plant height (61.7%), confirming the expected genetic segregation of the F2 material. However, the application of the leonardite-based activator, particularly in treatment T1, showed a substantial improvement in

physiological performance, achieving an average yield of 4,058 kg/ha and a chlorophyll index of 47.4%, compared to 1,998 kg/ha and 28.3% in the control group. Furthermore, the integration of physical soil management through cover (WC) demonstrated a synergistic effect, increasing the average yield by 27% (3,332 kg/ha versus 2,620 kg/ha in NC). Pearson correlation analysis ($p < 0.05$) identified a very strong positive relationship ($r = 0.912$) between chlorophyll content at 50 DAE and final grain yield, establishing this physiological variable as a highly reliable predictor for yield estimation. The results conclude that, although F2 hybrids exhibit inherent variability, the strategic use of organic activators and soil cover provides a technically viable pathway to stabilize production, improve nutrient use efficiency, and achieve yields of up to 4,884 kg/ha. This research provides a scientific basis for the sustainable management of maize under tropical conditions using low-cost organic alternatives.

Keywords: *Zea mays*, Leonardite, F2 hybrid, Biostimulants, Soil cover, Chlorophyll.

INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria global se encuentra en una encrucijada crítica, definida por la necesidad de alimentar a una población creciente en un contexto de degradación acelerada de los recursos naturales y variabilidad climática extrema. En este panorama, el maíz (*Zea mays* L.) se erige como un cereal de gran relevancia estratégica a nivel mundial, no solo por su versatilidad industrial, sino por ser la base calórica de millones de personas en países en desarrollo, siendo el rubro de mayor producción a nivel mundial, con una producción de 1.100 millones de toneladas" (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021). En Venezuela, la importancia de este rubro es indiscutible; el maíz representa el motor del complejo agroindustrial de harinas precocidas, donde aproximadamente el 80% de la producción nacional se destina al consumo humano directo y al procesamiento de alimentos balanceados para animales. Sin embargo, la brecha entre el

rendimiento potencial y el rendimiento real obtenido por los agricultores venezolanos sigue siendo amplia, influenciada por la obsolescencia de modelos de fertilización exclusivamente química que han comprometido la estructura y la biología de los suelos.

Una práctica común de algunos agricultores es la compra de semilla certificada de maíz para un año de siembra, de cuya cosecha obtienen semilla para los siguientes años, con la consecuente disminución en sus rendimientos (Roba, 2018). Bajo la percepción y conocimiento de que los híbridos F2 suelen ser menos vigorosos y productivos que los híbridos F1, se ha tratado de buscar alternativas comparativas que permitan la obtención de cosechas que beneficien al pequeño productor agrícola.

A pesar de las bondades genéticas del maíz, su desempeño óptimo depende de un manejo nutricional que trascienda el suministro simplista de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). La fertilización química intensiva

ha demostrado generar desequilibrios ambientales, acidificación del suelo y una pérdida crítica de la materia orgánica (Gutiérrez *et al.*, 2015). En respuesta, la utilización de sustancias húmicas extraídas de la leonardita emerge como una tecnología biotecnológica de alto impacto.

La leonardita es una forma oxidada de lignito mineralizada a lo largo de millones de años, rica en ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF) (Ramos-Gómez *et al.*, 2021), los cuales actúan no como simples fertilizantes, sino como potentes bioestimulantes de los procesos fisiológicos (Castillo y Rodríguez, 2020). El mecanismo de acción de estos ácidos orgánicos es complejo y multifacético. A nivel de la rizosfera, las sustancias húmicas mejoran la estabilidad de los agregados del suelo, incrementan la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y promueven el desarrollo de microflora beneficiosa como el *Azotobacter* (Gutiérrez *et al.*, 2015; Ramos-Gómez *et al.*, 2021). A nivel fisiológico foliar, su aplicación estimula la actividad de la enzima H^+ -ATPasa en las membranas celulares, facilitando el transporte activo de nutrientes y la absorción de iones de baja movilidad.¹⁶ Además, se ha documentado que estos compuestos inducen respuestas similares a las de las fitohormonas, promoviendo la expansión foliar, la síntesis de clorofila y la resistencia al estrés oxidativo mediante la activación de enzimas antioxidantes como la catalasa y la superóxido dismutasa (Nabi *et al.*, 2025).

En este trabajo de investigación se utilizó la leonardita activada o humato potásico, la cual se obtiene mediante un proceso de hidrólisis alcalina de la leonardita mineral, del cual se extraen de forma eficiente los ácidos húmicos del mineral y un porcentaje representativo de ácidos fúlvicos (Gutiérrez *et al.*,

2025). Las sustancias húmicas de este bioactivador foliar ha demostrado tener efectos bioestimulantes relacionados con la absorción, asimilación y distribución de nutrientes en la planta.

En este contexto, surgió la necesidad de estudiar el impacto del bioactivador foliar Carboplant-Plus, la cual es una formulación artesanal obtenida mediante la hidrólisis alcalina de leonardita con hidróxido de potasio (KOH), que garantiza una alta concentración de sustancias húmicas (40% AH y 85% AF) y micronutrientes esenciales como el hierro (Fe), calcio (Ca), cobre (Cu), zinc (Zn) y magnesio (Mg). Este trabajo de investigación tuvo como objetivo central evaluar el efecto de un bioactivador orgánico foliar a base de Leonardita en el cultivo de maíz Pioneer (F2) (*Zea mays* L.), en terrenos de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales "Rómulo Gallegos" (UNERG).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

La fase experimental se desarrolló en las parcelas del Jardín Botánico de la UNERG, ubicado en San Juan de los Morros, Estado Guárico. Esta región se caracteriza por una climatología de bosque seco tropical con temperaturas medias elevadas y una marcada estacionalidad en las precipitaciones. Los suelos de la zona suelen ser de origen aluvial con texturas francas a franco-arcillosas, donde la degradación por laboreo intensivo ha sido una limitante histórica para la productividad del maíz.

El trabajo experimental se llevó a cabo en una parcela de investigación con una superficie de 400 m², ubicada en los terrenos del Jardín Botánico de la Universidad Nacional Experimental de los

Llanos Centrales "Rómulo Gallegos" (UNERG), Sector El Castrero, municipio autónomo Juan Germán Roscio, San Juan

de los Morros, Estado Guárico, Venezuela (Coordenadas: 9°43' N, 67°22' W) (Figura 1).

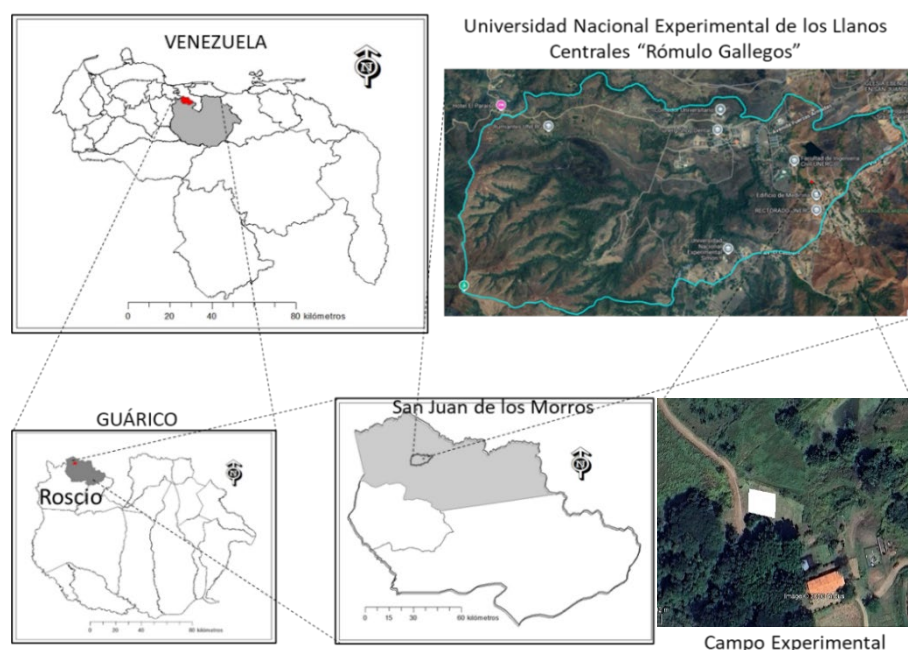


Figura 1. Ubicación relativa del área experimental en terrenos de la Universidad Rómulo Gallegos.

Material Biológico

Se utilizó como material de siembra una semilla F2 obtenida de híbrido de maíz, seleccionada de las mejores mazorcas de una cosecha anterior⁶ Este híbrido se caracteriza por un ciclo vegetativo intermedio, con floración masculina y femenina alrededor de los 55-60 días y madurez fisiológica cerca de los 110-120 días bajo condiciones locales.

Fertilidad del Suelo

Los suelos de la parcela experimental del Jardín Botánico de la UNERG presentan una textura franca (40,4% arena, 37,3% limo y 22,3% arcilla), complementado con un pH ligeramente ácido de 6,5 que favorece la disponibilidad de nutrientes, y una salinidad muy baja (0,05 dS/m) que elimina riesgos de estrés osmótico. Sin embargo, su aptitud productiva está condicionada por una fertilidad química limitada, manifestada

en niveles bajos de materia orgánica (1,53%), fósforo (7 mg/kg) y potasio (32 mg/kg), además de deficiencias críticas de microelementos metálicos como el zinc (0,86 mg/kg) y el hierro (0,80 mg/kg).

Este déficit contrasta con una presencia alta de calcio (620 mg/kg) y magnesio (220 mg/kg), junto a niveles muy elevados de manganeso (28,8 mg/kg), lo que señala un desequilibrio nutricional que requiere de una fertilización integral y balanceada para satisfacer las altas exigencias de los cultivos.

Diseño Experimental y Tratamientos

Se estableció un diseño de bloques al azar con un arreglo factorial de 4 tratamientos de fertilización y 2 modalidades de cobertura del suelo, generando 16 unidades experimentales con dos repeticiones para cada combinación. Esta estructura permitió aislar el efecto de la nutrición del efecto de la preservación física de la humedad edáfica. Los

tratamientos evaluados se detallan en el Cuadro 1:

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en la evaluación del maíz híbrido Pioneer (F2)

Tratamiento	Código	Composición Técnica y Dosis
Testigo	T0	Sin aplicación de fertilizantes químicos ni bioestimulantes.
Fertilización Química	T1	600 kg/ha de fórmula completa 15-15-15 + 175 kg/ha de urea en reabono.
Fertilización Combinada	T2	50% de la dosis de T1 + 50% de la dosis de T3 (Bioactivador foliar).
Fertilización Orgánica	T3	2 L/ha del bioactivador foliar Carboplant-Plus (base leonardita).

La variable de cobertura vegetal (Factor B) se aplicó en dos niveles: Sin Cobertura (SC) y Con Cobertura (CC), utilizando rastros vegetales para simular condiciones de agricultura de conservación y monitorear su impacto en la termorregulación del suelo y la retención de agua.

Bioactivador Carboplant-Plus

El producto Carboplant-Plus es una formulación obtenida por "digestión química" de leonardita mineral. El proceso de extracción alcalina es fundamental para romper los complejos macromoleculares de la leonardita y liberar los ácidos húmicos en forma de humatos potásicos solubles, los cuales son más asimilables por las estomas y las cutículas foliares (Maffia *et al.*, 2025). El aporte de potasio (K) derivado del agente extractor (KOH) actúa sinérgicamente con las sustancias húmicas para mejorar la eficiencia del uso del agua y la apertura estomática bajo condiciones de estrés (Altaf *et al.*, 2023).

Variables Evaluadas y Procedimientos de Medición

La siembra de maíz Pioneer se realizó el 04 de abril de 2024, la emergencia inicio a los

tres días, y la cosecha se realizó a los 80 días después de la emergencia (DDE). Durante el ciclo vegetativo, se realizaron cuatro (4) mediciones de parámetros morfométricos agronómicos para construir las curvas de crecimiento: a) Altura de la planta (cm), medida desde la base del tallo hasta la lígula de la última hoja totalmente expandida o el ápice de la panícula en etapas tardías; 2) Grosor del tallo (mm), determinado en el primer entrenudo sobre la superficie del suelo mediante un vernier digital; 3) Intensidad de clorofila (SPAD), evaluada en el tercio medio de la hoja de la mazorca utilizando un medidor de clorofila portátil, como indicador indirecto del estatus nitrogenado y la capacidad fotosintética; y 4) Rendimiento (kg/ha), el cual se estimó en etapa de mazorca inmadura (jojoto). Las mediciones se realizaron a los 22, 29, 36 y 50 DDE. Los componentes del rendimiento incluyeron el número de hileras, granos por hilera y peso de 1000 granos.

Análisis Estadístico

Los datos recolectados se sometieron a un análisis exploratorio y de correlación entre variables vegetativas y rendimiento.

También se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores (Tratamiento y Cobertura) con interacción. Para la comparación de medias de las unidades experimentales, se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0,05$). Se generaron modelos de regresión lineal múltiple para explicar la respuesta del rendimiento en función de los factores controlados y se calcularon estadísticos descriptivos detallados para cada tratamiento. El procesamiento estadístico se realizó con el software Minitab® v.16.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estadísticos descriptivos de las variables del cultivo de maíz

Los resultados de los estadísticos descriptivos de las variables se muestran en el Cuadro 2. El cultivo muestra una alta variabilidad fenotípica, característica esperada en una generación F2. El promedio general del rendimiento es de 2.931 kg/ha, pero con una desviación estándar amplia (1.158 kg/ha) y un coeficiente de variación (CV) del 39,4%, lo que indica una respuesta muy heterogénea en el campo. La altura de la planta es la variable con mayor dispersión (CV = 61,7%), con plantas desde los 26.7 cm hasta los 190,7 cm, lo que refleja la segregación genética del híbrido F2 y la influencia de los tratamientos.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de variables del cultivo de maíz Pioneer (F2).

Estadístico	Variable			
	Altura (cm)	Grosor (cm)	Clorofila (%)	Rendimiento (kg/ha)
Mínimo	26,7	1,0	22,5	759
Máximo	190,7	2,5	56,2	4.884
Media	83,4	1,79	36,5	2.931
Mediana	59,8	1,77	33,6	2.656
Desv.Est.	51,5	0,35	9,27	1.158
Varianza	2.657	0,12	85,9	1.340.092
CoefVar	61,7	19,3	25,3	39,4
Asimetría	0,91	-0,09	0,36	0,07
Curtosis	0,72	0,81	1,26	0,97

1/Datos basados en la 4ta medición (50 DDE), N= 160

Los resultados sobre la alta varianza en altura de la planta y el rendimiento confirman que trabajar con F2 implica una pérdida de uniformidad, lo que requiere un manejo agronómico más preciso para compensar la variabilidad.

Al analizar los tratamientos (T), se observa que la nutrición es el factor determinante del vigor y la productividad (Cuadro 3). Los tratamientos T1 y T2 (Tratamientos

Superiores) presentan los mejores promedios en todas las variables, y T1 alcanzó el mayor rendimiento promedio (4,058 kg/ha) y la mayor estabilidad (menor CV de 11.6%).

Asimismo, la Clorofila en T1 (47.4%) y T2 (41.7%) es significativamente superior al control (T0: 28.3%), lo que valida la eficacia del activador orgánico y la fertilización en la eficiencia fotosintética. Sin embargo, el T3 (posiblemente dosis bajas o solo activador

sin base NPK) muestra rendimientos mínimos de 759 kg/ha, evidenciando que el componente genético F2 por sí solo, sin soporte nutricional adecuado, no alcanza el potencial productivo.

Los resultados obtenidos sugieren que la combinación de una fertilización robusta (como en T1) con el uso de cobertura del suelo maximiza el rendimiento, acercándolo al techo de los 4,884 kg/ha observados en los valores máximos.

Cuadro 3. Estadísticos descriptivos de variables del cultivo de maíz Pioneer (F2) por tratamiento aplicado.

Variable	Estadísticos Descriptivos							
	T	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	DE	Varianza	CV (%)
Altura (cm)	T0	26,75	59,25	39,7	36,7	10,14	102,7	25,5
	T1	51,75	190	120,8	120,8	49,51	24.51	40,9
	T2	61,25	190,7	123,4	114,7	45,1	2.033	36,5
	T3	34,5	70	49,86	47,63	7,72	59,6	15,5
Grosor (cm)	T0	1,25	1,9	1,62	1,61	0,14	0,02	8,9
	T1	1,65	2,5	2,14	2,16	0,22	0,04	10,4
	T2	1,65	2,2	1,98	2	0,17	0,02	8,6
	T3	1	2,0	1,43	1,32	0,25	0,06	17,7
Clorofila (%)	T0	22,4	36,8	28,3	28,6	2,69	7,24	9,5
	T1	38,3	55,0	47,4	48,2	4,28	18,3	9,0
	T2	32,1	56,2	41,7	40,6	5,67	32,2	13,6
	T3	22,7	35,0	28,6	28,8	3,02	9,12	10,5
Rendimiento (kg/ha)	T0	1.774	2.506	1.998	1.857	299	89.393	14,9
	T1	3.399	4.709	4.058	4.062	469	220.782	11,6
	T2	2.470	4.884	3.696	3.716	889	791.186	24,1
	T3	759	2.807	1.972	2.162	790	624.560	40,1

T: tratamiento basado en fertilización; DE: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Si se considera la presencia de cobertura (CC) y la ausencia de esta (SC), es posible mostrar beneficios tangibles en el desarrollo del cultivo (Cuadro 4). La cobertura del terreno favorece un mayor rendimiento (+27% respecto a SC). Esto suele atribuirse a una mejor retención de humedad y regulación de la temperatura del suelo, lo que optimiza la absorción de nutrientes y se refleja en el mayor grosor del tallo (1.8 cm) y niveles de

clorofila.

De los datos anteriores se infiere que la clorofila muestra una relación directa con el rendimiento; el tratamiento con mejor nutrición (T1) tiene casi el doble de clorofila que el testigo, lo que confirma que a los 50 DDE el estado nutricional ya define el potencial de cosecha.

Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de variables del cultivo de maíz Pioneer (F2) por cobertura del terreno.

Variable	Estadísticas							
	T	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
Altura (cm)	CC	31,8	190,8	91,9	76	54,2	2.941,2	59,0
	SC	26,8	190,0	76,9	55,13	48,7	2.367,5	63,3
Grosor (cm)	CC	1,2	2,5	1,8	1,825	0,34	0,116	18,5
	SC	1,0	2,4	1,8	1,7125	0,35	0,122	19,9
Clorofila (%)	CC	22,5	56,2	38,7	35,59	10,3	106,4	26,7
	SC	22,7	53,325	34,9	32,212	8,0	64,6	23,0
Rendimiento (kg/ha)	CC	1.878	4.884	3.332	2.807	1.127	1.270.328	33,8
	SC	759	4.023	2.620	2.506	1.089	1.184.972	41,6

T: tratamiento basado en cobertura; CC: Con cobertura; SC: Sin cobertura.

Análisis de correlación entre variables vegetativas y el rendimiento de maíz

Los resultados de la correlación lineal entre las variables evaluadas se presentan en la figura 2. El rendimiento presenta una correlación muy fuerte y positiva con todas las variables vegetativas, lo que confirma que el vigor de la planta a los 50 DDE es un predictor confiable del éxito productivo. La relación más estrecha se obtuvo entre el nivel de clorofila y el rendimiento del cultivo ($r = 0,912$), lo cual indica que una alta eficiencia fotosintética en esta etapa es crítica.

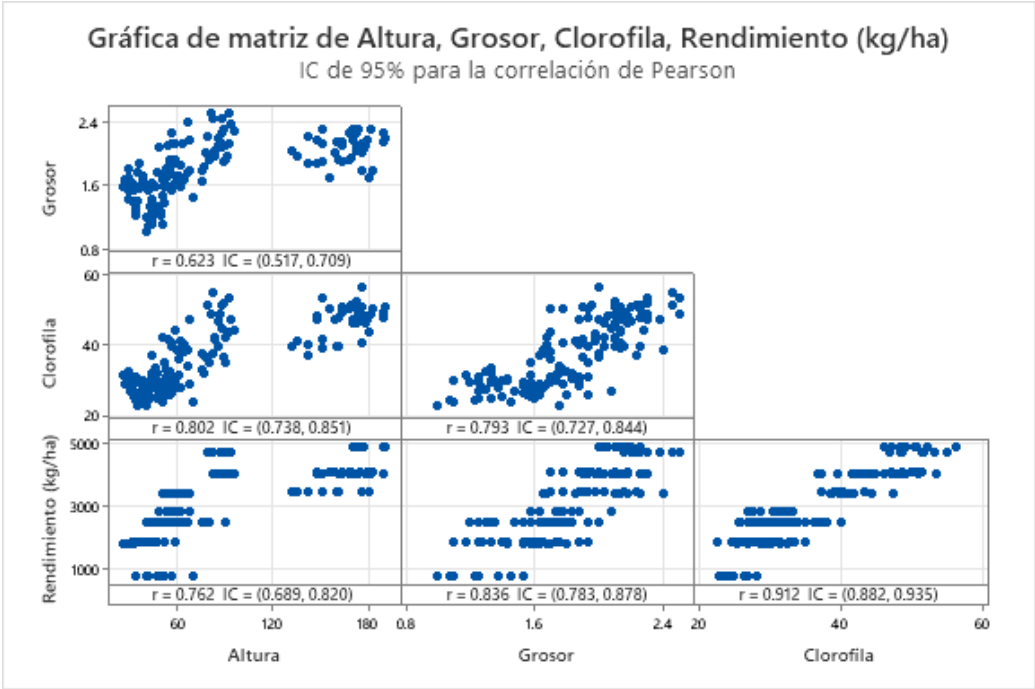


Figura 2. Correlación entre variables vegetativas y el rendimiento de maíz Pioneer (F2).

De manera similar, el diámetro del tallo actúa como una reserva de fotoasimilados y soporte estructural que impacta directamente en la capacidad de carga de la mazorca, ya que el valor de $r = 0,836$. Además, la relación entre altura y rendimiento (r

= 0,762), aunque es una correlación fuerte, es la menor de las tres variables respecto al rendimiento, sugiriendo que el grosor y el verdor son ligeramente más determinantes que la altura *per se*.

En cuanto a la dinámica de las variables vegetativas, entre la altura y el nivel de clorofila Existe una sinergia clara ($r = 0,802$); plantas más altas tienden a presentar mayores índices de clorofila, posiblemente por una mayor superficie foliar y capacidad de interceptación lumínica. Entre el grosor del tallo y el nivel de clorofila existe una relación sólida que vincula el estado nutricional (clorofila) con el desarrollo robusto del tallo ($r = 0,793$). Finalmente, la correlación más moderada del grupo está determinada por la altura de la planta y el grosor del tallo ($r = 0,623$), lo cual es común en híbridos F2, donde la segregación genética puede causar que algunas plantas ganen altura sin necesariamente aumentar proporcionalmente el grosor del tallo.

Los coeficientes de correlación son consistentemente altos (superiores a 0,60), y los

intervalos de confianza (IC) no incluyen el cero, lo que valida estadísticamente estas relaciones. Para el manejo agronómico, esto sugiere que cualquier práctica que optimice la clorofila y el grosor del tallo antes de la floración (como el reabastecimiento de nitrógeno en esta etapa de (50 DDE) tendrá un impacto directo y proporcional en el rendimiento final del maíz.

Comportamiento del Crecimiento Vegetativo y Fisiología Foliar

El análisis morfométrico final reveló diferencias significativas en la arquitectura de la planta según el régimen de fertilización aplicado. Los tratamientos que incluyeron una base mineral (T1 y T2) superaron sistemáticamente al testigo (T0) y al bioactivador puro (T3) en altura y grosor de tallo, evidenciando la alta demanda inicial de macronutrientes por parte del híbrido. A continuación, se presentan los valores descriptivos promedio obtenidos en la cuarta toma de datos (etapa de madurez reproductiva inicial):

Cuadro 5. Valores medios de variables del cultivo de maíz Pioneer (F2).

Tratamiento	Cobertura	Altura Media (cm)	Agrupación (Tukey 0.05)	Clorofila (SPAD)
T1	CC	127,13	2,145	49,93
T1	SC	114,50	2,126	45,04
T2	SC	121,15	2,011	40,78
T2	CC	125,71	1,956	42,70
T3	CC	51,98	1,574	29,46
T0	SC	41,66	1,657	28,87
T0	CC	33,95	1,500	26,66

T: tratamiento basado en cobertura; CC: Con cobertura; SC: Sin cobertura.

En términos de altura de planta, el tratamiento T1 con cobertura (CC) alcanzó el

máximo desarrollo (127.13 cm), seguido muy de cerca por el tratamiento combinado

T2 (125.71 cm en CC). Es notable que el tratamiento combinado (T2), que utiliza solo el 50% de la carga química mineral complementado con Carboplant-Plus, no mostró diferencias estadísticas de gran magnitud respecto al químico puro (T1), lo que sugiere una optimización en la eficiencia de uso del nitrógeno inducida por las sustancias húmicas.

El grosor del tallo se mantuvo en un rango de 1,95 a 2,15 mm para los tratamientos T1 y T2, valores considerados óptimos para evitar el acame de las plantas bajo las condiciones de viento de la zona (Gutiérrez *et al.*, 2015). El contenido de clorofila fue significativamente mayor en T1 CC (49.93 SPAD), indicando una alta tasa de síntesis de proteínas y una maquinaria fotosintética robusta (Jiang *et al.*, 2024). En contraste, el tratamiento T3 (solo bioactivador) mostró alturas (51.98 cm) y niveles de clorofila (29.46 SPAD) muy similares al testigo (T0), lo que confirma que el bioactivador por sí solo no puede compensar la ausencia total de fertilización de fondo en suelos con baja fertilidad natural.

El comportamiento de las variables del cultivo se refleja en las figuras 2 y 3. En cuanto a la altura de planta y grosor del tallo, las variables muestran una correlación positiva fuerte con el tiempo, siguiendo una curva de crecimiento exponencial típica en la fase vegetativa del maíz. Entre los 22 y 36 DDE se observa la mayor tasa de elongación. A los 50 DDE, las plantas bajo el tratamiento T1 (Fertilización mineral completa) presentan los valores más altos, superando significativamente al testigo (T0). Esto significa que el grosor del tallo se estabiliza más rápido que la altura, lo que indica que la planta prioriza la reserva de fotoasimilados en la estructura antes de la fase de floración.

A diferencia de la altura, la clorofila presenta fluctuaciones, ya que se observa un pico cerca de los 36 DDE, seguido de un ligero descenso o estabilización hacia los 50 DDE. Esto sugiere que a los 36 DDE la planta alcanza su máxima eficiencia fotosintética. El tratamiento T2 (Combinado) suele mostrar niveles de verdor más sostenidos, posiblemente por el efecto sinérgico entre el fertilizante mineral y el orgánico/estimulante.

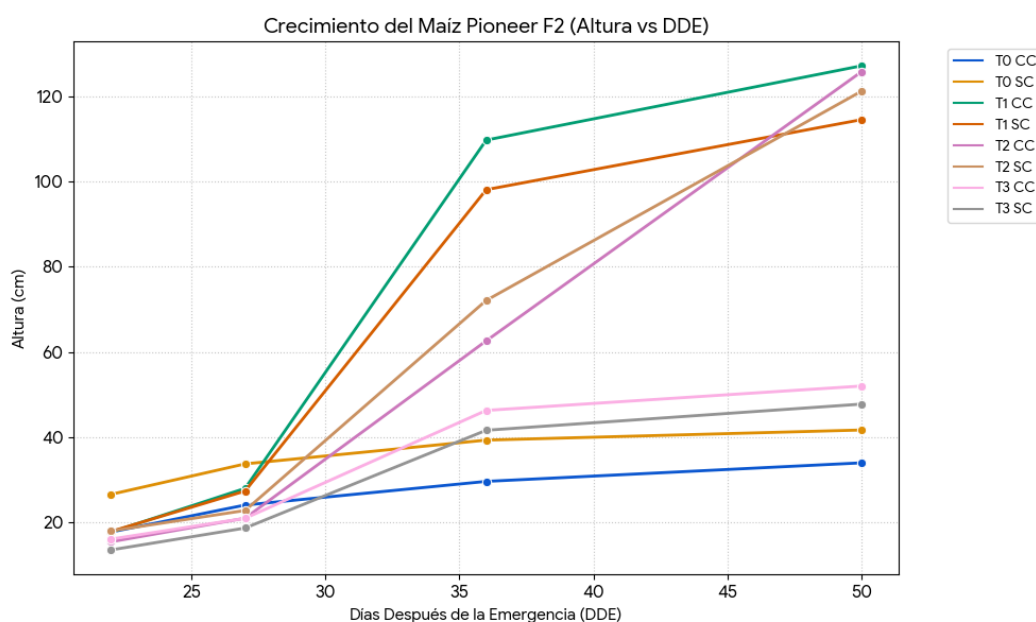


Figura 2. Variación de la altura de las plantas de maíz Pioneer (F2).

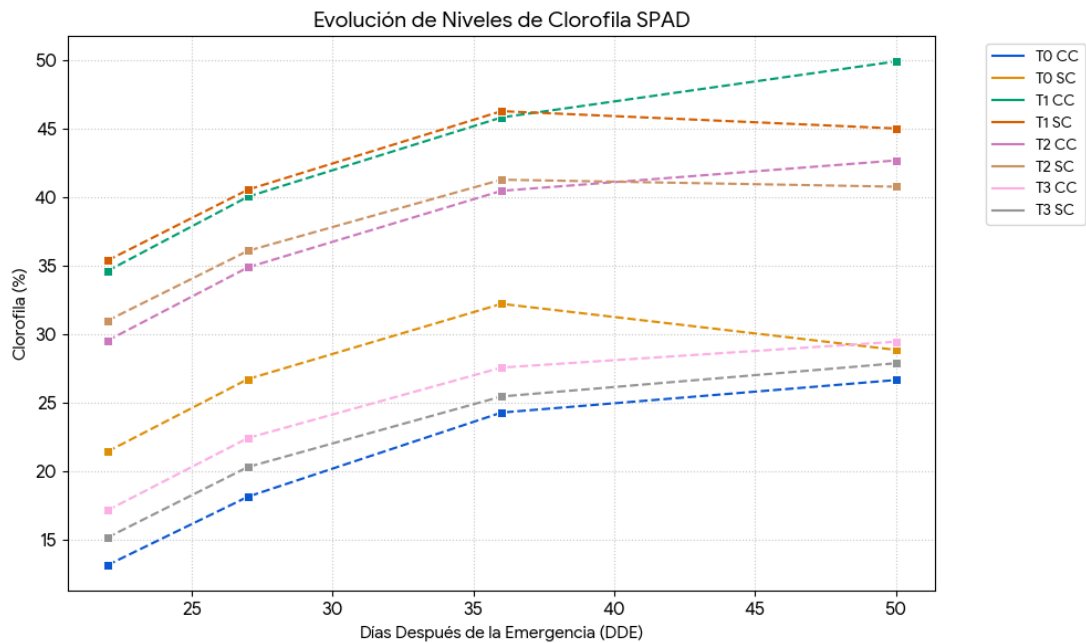


Figura 4. Variación de los niveles de clorofila en el cultivo de maíz.

Pruebas de comparación de medias de variables del cultivo

Las pruebas de comparación de medias para las variables de altura de la planta y nivel de Clorofila (%) a los 50 días después de la emergencia

se señalan en el Cuadro 6. Para la altura de la planta, el análisis muestra una división muy marcada en dos grandes bloques: los tratamientos con fertilización química (T1 y T2) y el resto (testigos y Carboplus solo).

Cuadro 6. Pruebas de comparación de medias para Altura de la planta del cultivo de maíz.

Tratamiento	Cobertura	Altura Media (cm)	Agrupación (Tukey 0.05)
T1 (Completo)	CC (Con)	127,13	A
T2 (Combinado)	CC (Con)	125,71	A
T2 (Combinado)	SC (Sin)	121,15	A
T1 (Completo)	SC (Sin)	114,49	A
T3 (Carboplus)	CC (Con)	51,98	B
T3 (Carboplus)	SC (Sin)	47,74	B
T0 (Testigo)	SC (Sin)	41,66	B
T0 (Testigo)	CC (Con)	33,95	B

T: tratamiento basado en cobertura; CC: Con cobertura; SC: Sin cobertura.

De acuerdo con estos resultados, no existen diferencias significativas dentro del Grupo A. Esto indica que, para el crecimiento vertical, el tratamiento T2 (dosis reducida) es tan efectivo como el T1. La cobertura no influyó significativamente en la altura final, lo que sugiere que el factor determinante aquí fue

estrictamente el aporte nutricional de los fertilizantes de síntesis.

En el caso de la clorofila, la respuesta es mucho más sensible y se observan más gradaciones entre los tratamientos.

Cuadro 7. Pruebas de comparación de medias para el nivel de clorofila foliar.

Tratamiento	Cobertura	Clorofila Media (%)	Agrupación (Tukey 0.05)
T1 (Completo)	CC (Con)	49,93	A
T1 (Completo)	SC (Sin)	45,04	B
T2 (Combinado)	CC (Con)	42,70	B, C
T2 (Combinado)	SC (Sin)	40,78	C
T3 (Carboplus)	CC (Con)	29,46	D
T0 (Testigo)	SC (Sin)	28,87	D
T3 (Carboplus)	SC (Sin)	27,89	D
T0 (Testigo)	CC (Con)	26,66	D

Con base en esta prueba de comparación de medias, T1 CC (Grupo A) es significativamente superior a todos los demás, incluso a T1 SC. Esto demuestra que la cobertura potencia la eficiencia en la absorción de nitrógeno o la retención de humedad, reflejándose en un mayor verdor foliar. Los tratamientos T3 y T0 (Grupo D) son estadísticamente iguales entre sí, lo que confirma que el uso de Carboplus sin fertilización adicional no mejora el estatus de clorofila de la planta bajo las condiciones de este ensayo.

Variación del Rendimiento del cultivo de maíz

De acuerdo con los resultados obtenidos en cuanto al efecto de la fertilización, se evidencio que la aplicación completa de fertilizantes (T1: 15-15-15 + Urea) resultó en el mejor desempeño biológico y productivo. El tratamiento T2 (combinación de T1 y T3) no

mostró diferencias significativas con T1 en algunas variables de crecimiento, lo que sugiere que la integración de acondicionadores como Carboplus puede optimizar el uso de fertilizantes químicos.

En cuanto a la influencia de la cobertura vegetal, se determinó que el uso de cobertura (CC) tuvo un impacto positivo estadísticamente significativo en el rendimiento promedio general (3.149,8 kg/ha en CC vs 2.692.3 kg/ha en SC). Esto probablemente se deba a una mejor retención de humedad y regulación térmica del suelo en el Jardín Botánico.

Con relación al comportamiento del Híbrido F2, Se observó una variabilidad considerable (coeficientes de variación de hasta 49% en altura para algunos grupos), lo cual es característico de las semillas F2. Al ser una segunda generación de un híbrido (Pioneer), la segregación genética reduce el

vigor híbrido inicial y genera plantas con desarrollos desiguales, un factor crítico a considerar en la planificación de siembras futuras (Poehlman y Allen, 2003; Gaytán-Bautista *et al.*, 2009).

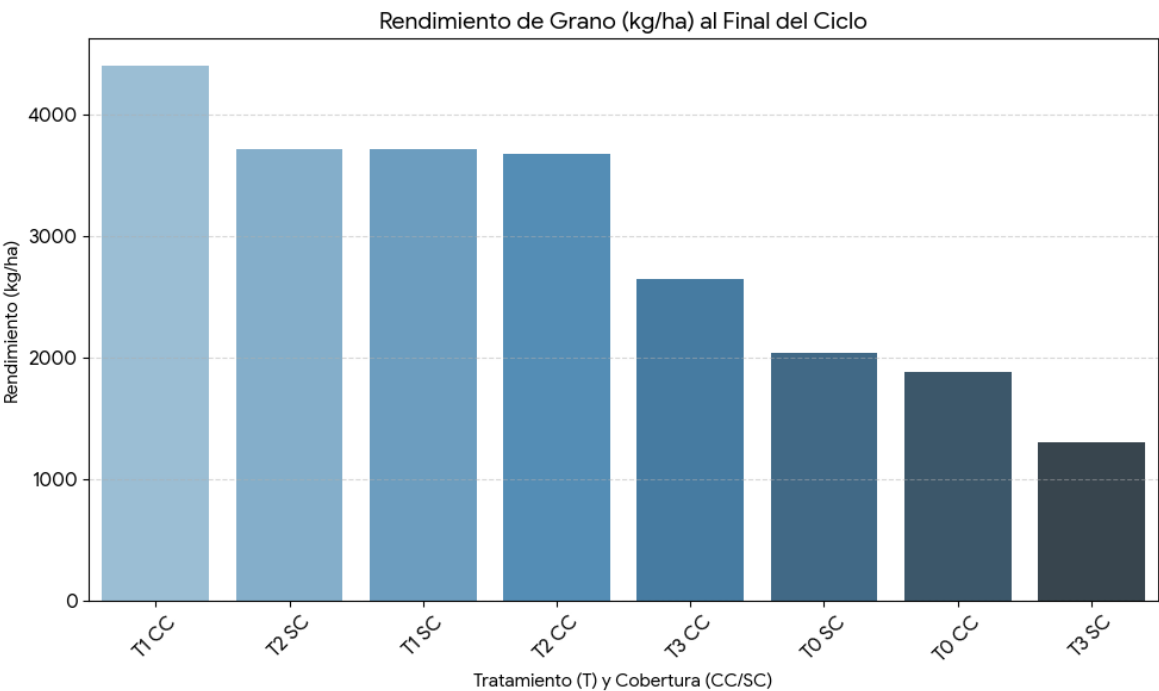


Figura 3. Rendimiento del cultivo por tratamiento y cobertura.

Análisis de Varianza (ANOVA) para Rendimiento

El ANOVA indicó que tanto la fertilización

como la cobertura (y su interacción) tienen efectos estadísticamente significativos sobre el rendimiento final ($p < 0,05$):

Cuadro 8. Resultados del análisis de varianza para el rendimiento de maíz

Fuente de Variación	df	F-Value	p-value (PR>F)	Significado
Factor A (Fertilización)	3	154,08	< 0,0001	Altamente significativo
Factor B (Cobertura)	1	31,92	< 0,0001	Altamente significativo
Interacción (A x B)	3	15,44	< 0,0001	Significativo

De acuerdo con los resultados, el efecto de la cobertura no es el mismo para todos los tratamientos. Por ejemplo, en el tratamiento T1, la cobertura (CC) potencia drásticamente el rendimiento en comparación con la parcela sin cobertura (SC). Sin embargo, en T2, los rendimientos son prácticamente

idénticos con o sin cobertura. El tratamiento completo (15-15-15 + Urea) sigue siendo el más robusto, especialmente cuando se combina con prácticas de conservación de suelo (CC).

Según las pruebas de Tukey, el grupo T1 CC se posiciona en el rango superior ("A") de rendimiento, diferenciándose significativamente de los testigos y de las parcelas sin cobertura en la mayoría de los casos.

Para la variable Altura, los resultados son distintos, ya que la fertilización es el único factor con efecto significativo ($p < 0,0001$). Además, la cobertura y la interacción no mostraron diferencias estadísticas significativas para la altura final. Esto sugiere que, aunque la cobertura ayuda a la producción de grano (posiblemente por retención de

humedad en etapas críticas), no altera significativamente el crecimiento vegetativo vertical del híbrido Pioneer F2.

La figura 4 representa los resultados del rendimiento del maíz Pioneer mediante la Interacción entre la fertilización aplicada y la cobertura utilizada. En este caso, es fundamental para observar cómo las líneas de "Con Cobertura" (rojo) y "Sin Cobertura" (azul) se cruzan o divergen. La divergencia más notable ocurre en T3 (Carboplus) y T1, donde la cobertura marca una diferencia positiva clara.

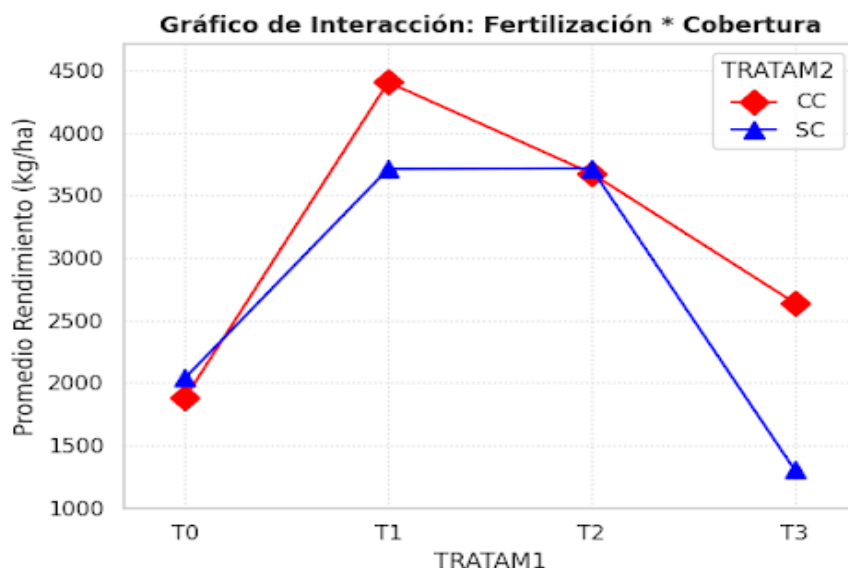


Figura 4. Interacción entre los tratamientos de fertilización y la cobertura.

De manera similar, la figura 5 representa el comportamiento de la variabilidad del rendimiento de maíz bajo los dos tratamientos: Esta visualización permite ver la variabilidad dentro de cada tratamiento. Se observa que el T2 CC presenta una mayor desviación, lo que indica una respuesta más heterogénea en esas parcelas específicas. El rendimiento de maíz mostró una respuesta contundente a la interacción de los factores. El análisis

de varianza detectó efectos altamente significativos ($p < 0.000$) para el tratamiento, la cobertura y la interacción entre ambos, con un coeficiente de determinación (R^2) ajustado del 79,2%, lo que demuestra que el modelo explica un alto contenido de la variabilidad observada.

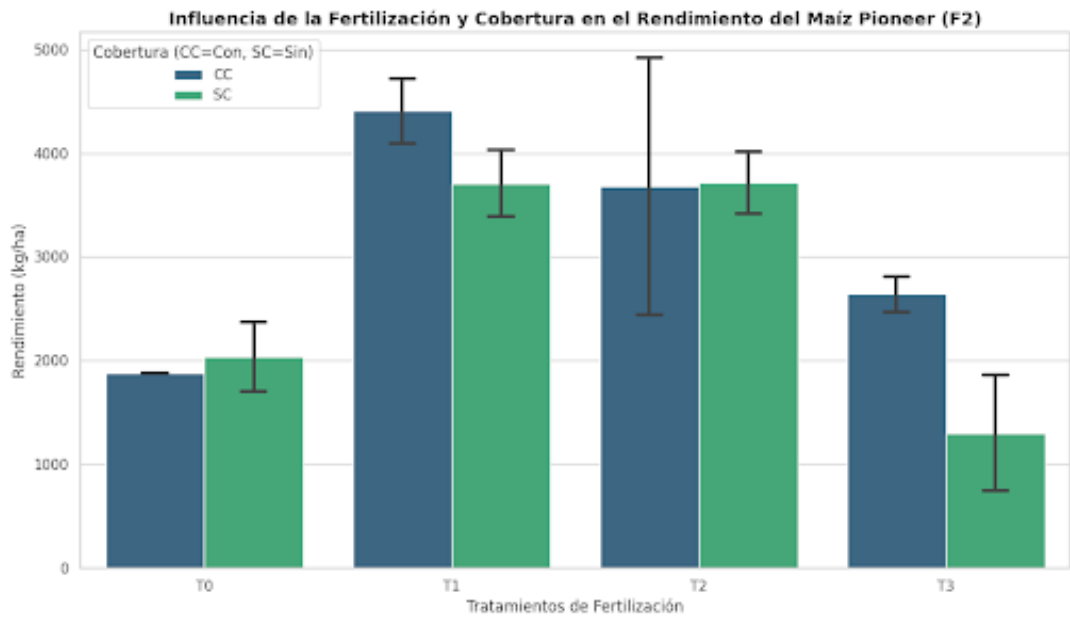


Figura 5. Influencia de la fertilización y cobertura en el rendimiento del maíz Pioneer (F2).

Cuadro 9. Análisis de varianza del rendimiento de maíz Pioneer (F2)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento 1 (Fertilización)	3	138921315	46307105	158,40	0,000
Tratamiento 2 (Cobertura)	1	7731075	7731075	26,45	0,000
Interacción (T1*T2)	3	13544607	4514869	15,44	0,000
Error	152	44435711	292340		

Modelo de regresión lineal del rendimiento del cultivo de maíz Pioneer (F2)

El modelo generado permitió cuantificar la influencia de los tratamientos de fertilización, el tipo de cobertura y la interacción entre ambos sobre el rendimiento final del "Jojoto" (maíz tierno), se generó un modelo de regresión lineal múltiple. La ecuación de regresión obtenida para el rendimiento de maíz (Jojoto) permite la predicción del impacto de cada componente mediante el siguiente modelo estadístico:

Rendimiento (kg/ha) = 2921,0 - 963,0 T0 + 1136,7 T1 + 775,0 T2 - 948,7 T3 + 228,8 CC - 228,8 SC - 309,2 *T0 CC + 309,2 *T0 SC + 118,2 *T1 CC - 118,2 *T1 SC - 248,2 *T2 CC + 248,2 *T2 SC + 439,2 *T3 CC - 439,2 *T3 SC

Los coeficientes demuestran un fuerte impacto positivo de los tratamientos T1 y T2 (1136.7 y 775 respectivamente). En este sentido, T1 (+1136.7) es el tratamiento con mayor impacto positivo. Incrementa el

rendimiento en más de una tonelada sobre la media, lo que confirma la alta respuesta del híbrido F2 a la fertilización mineral completa. T2 (+775.0) también tiene un efecto positivo considerable, aunque menor que el T1. Indica que la combinación de fuentes es efectiva pero menos vigorosa que la puramente mineral. Finalmente, T0 (-963.0) y T3 (-948.7) restan casi una tonelada al rendimiento base. Esto evidencia que tanto el testigo (T0) como el tratamiento con solo bioestimulante (T3) no satisfacen los requerimientos nutricionales del maíz en estos suelos, resultando en rendimientos deficientes.

En cuanto a la cobertura, el factor Con Cobertura (CC=+228.8) aporta un beneficio neto positivo. Esto suele asociarse a una mejor retención de humedad y regulación de la temperatura del suelo. Sin embargo, el escenario Sin Cobertura (SC=- 228.8) penaliza el rendimiento en la misma magnitud, exponiendo al cultivo a mayor estrés hídrico o térmico.

Al analizar el comportamiento de un tratamiento específico bajo una cobertura determinada, se observa que T3 CC (+439.2) es la interacción positiva más fuerte, lo cual indica que el tratamiento T3 (Carboplus) potencia su efectividad significativamente cuando se usa con cobertura. Esto sugiere que los componentes orgánicos o biológicos del T3 requieren de la humedad y protección que brinda la cobertura para actuar mejor.

La fertilización mineral también se ve favorecida por la cobertura (T1 CC: +118.2), aunque de forma más moderada,

posiblemente por una mayor solubilidad de los nutrientes. También se evidencia que hay casos donde la cobertura no compensó la falta de nutrientes (T0) o la mezcla (T2) de la misma forma, restando valor a la predicción en esos puntos específicos, (e.g. T0 CC: -309,2 y T2 CC: -248,2).

En general, el mejor escenario predictivo sería aplicar el T1 con Cobertura (CC), donde se suman el efecto base, el alto coeficiente de T1 y el beneficio de la cobertura. El maíz Pioneer F2 demostró ser muy sensible a la nutrición, ya que la diferencia entre el mejor tratamiento (T1) y el peor (T0) es de aproximadamente 2099.7 kg/ha (la suma de los valores absolutos de sus coeficientes). Por lo tanto, el modelo revela que, si se decide usar T3, es casi obligatorio usarlo con CC para mitigar su efecto negativo base mediante la interacción positiva de +439.2.

Comparación de medias del rendimiento de maíz

El tratamiento químico puro con cobertura (T1 CC) lideró la producción del cultivo con un rendimiento de 4.405 kg/ha (Cuadro 8). La alta producción de maíz en T1 CC (4.405 kg/ha) resalta la importancia de la disponibilidad hídrica y nutricional inmediata para el llenado temprano de la mazorca. No obstante, los tratamientos combinados se mantuvieron en el mismo grupo estadístico "B", confirmando su viabilidad productiva (Altaf et al., 2023). Aquí se cumple que el rendimiento del maíz está determinado por la interacción de factores genéticos, ambientales y de manejo (Pérez et al., 2018).

Cuadro 8. Prueba de comparación de medias de los rendimientos de maíz Pioneer (F2)

Tratamiento * Cobertura	Media Rendimiento (kg/ha)	Agrupación Tukey
T1 CC (Químico)	4404,8	A
T2 SC (Combinado)	3715,5	B
T1 SC (Químico)	3710,8	B
T2 CC (Combinado)	3676,7	B

Para la identificar los grupos que son diferentes entre sí, se presentan los resultados de comparación de medias de Tukey, con un nivel de confianza del 95%. Esta prueba

es fundamental para identificar qué combinaciones de fertilización y cobertura son realmente diferentes entre sí en términos de rendimiento.

Cuadro 9. Tabla de Comparación de Medias (Rendimiento kg/ha)

Tratamiento	Cobertura	Rendimiento Promedio (kg/ha)	Agrupación (Tukey 0.05)
T1 (Completo)	CC (Con)	4404,8	A
T2 (Combinado)	SC (Sin)	3715,5	B
T1 (Completo)	SC (Sin)	3710,8	B
T2 (Combinado)	CC (Con)	3676,7	B
T3 (Carboplus)	CC (Con)	2640,3	C
T0 (Testigo)	SC (Sin)	2038,5	D
T0 (Testigo)	CC (Con)	1877,6	D, E
T3 (Carboplus)	SC (Sin)	1304,3	E

Los grupos que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Con relación a las pruebas el tratamiento T1 con cobertura (CC) es el único en el grupo A, lo que significa que su rendimiento es superior de manera estadística a todos los

demás grupos del experimento. Esta combinación maximiza el potencial del híbrido F2. En el bloque intermedio (Grupo B) no existen diferencias significativas entre T2 SC,

T1 SC y T2 CC. Esto sugiere que, si no se cuenta con cobertura, el tratamiento T1 rinde igual que el T2 (que usa solo la mitad de la dosis química, pero incluye Carboplus). Esto es un hallazgo clave para la eficiencia de costos.

El tratamiento T3 sin cobertura (SC) resultó ser el de menor rendimiento, incluso por debajo del testigo en términos numéricos (aunque comparte el grupo E con el testigo T0 CC). Esto indica que el Carboplus por sí solo, sin el apoyo de fertilización química o cobertura, no es suficiente para sostener la producción en este suelo. De acuerdo con los resultados, es notable la diferencia entre T3 CC (2.640 kg/ha) y T3 SC (1.304 kg/ha). La cobertura casi duplicó el rendimiento cuando se usó solo el acondicionador de suelo.

Consideraciones de interés relacionados con el cultivo de maíz Pioneer (F2)

El hallazgo más relevante de este estudio es la validación de la sinergia metabólica lograda por el tratamiento combinado (T2). La obtención de rendimientos superiores a los 3.400 kg/ha con solo la mitad de la dosis de fertilizante mineral es consistente con investigaciones internacionales que proponen el Manejo Integrado de Nutrientes como el camino hacia la agricultura regenerativa (Roba, 2018).

A nivel molecular, las sustancias húmicas presentes en el Carboplant-Plus actúan como transportadores biológicos. Los grupos funcionales carboxílicos y fenólicos de los ácidos húmicos quelatan micronutrientes y facilitan su paso a través de la cutícula foliar.¹⁵ Esto es particularmente importante para el hierro y el zinc, cuya disponibilidad en los suelos de los llanos suele ser limitada por el pH o la fijación arcillosa.²⁹ Al aplicar leonardita de forma foliar, se activa la

bomba de protones H⁺-ATPasa, lo que no solo mejora la absorción de los nutrientes aplicados en la misma aspersión, sino que incrementa la movilización de nitratos ya presentes en el tejido vegetal hacia los puntos de crecimiento (Veobides-Amador et al., 2018).

Comparando con los rendimientos promedios en Venezuela, que oscilan entre 1,585 kg/ha para maíz en zonas con baja tecnificación hasta 3,459 kg/ha en municipios de alta productividad como Jiménez en Lara (Monasterio, 2016), el rendimiento de 3,453 kg/ha obtenido en T2 SC sitúa a esta tecnología orgánica en el nivel más alto de eficiencia productiva nacional. Esto respalda la tesis de que la leonardita mejora la Eficiencia en el Uso de Nutrientes (NUE), permitiendo que la planta de maíz alcance su potencial genético con una menor huella química (Eulenstein et al., 2017).

Otro aspecto importante fue el impacto de la cobertura vegetal fue evidente, aunque varió según el tratamiento nutricional. En el tratamiento químico puro (T1), la presencia de cobertura (CC) elevó el rendimiento de joto de 3.710,8 a 4.404,8 kg/ha. Este incremento de casi 700 kg/ha se atribuye a la capacidad de los rastrojos para reducir la temperatura superficial del suelo hasta en 2,5 °C y conservar una lámina de agua de hasta 17.650 L/ha adicional. En el maíz, el estrés hídrico durante la fase de floración y llenado de grano es devastador; la cobertura actúa como un amortiguador térmico que protege la viabilidad del polen y prolonga el período de llenado de grano.

La aplicación de leonardita no solo beneficia a la planta actual, sino que contribuye a la sostenibilidad del agroecosistema. Se ha demostrado que las aplicaciones de ácidos húmicos fomentan el desarrollo de la

microflora benéfica, aumentando significativamente las poblaciones de *Azotobacter* y otros fijadores de nitrógeno en la rizosfera. Este incremento en la actividad biológica mejora la mineralización de la materia orgánica y la estructura del suelo a largo plazo.³ En contraste, el uso exclusivo de fertilizantes químicos en T1, a pesar de sus altos rendimientos iniciales, conlleva riesgos de acidificación y degradación de la estructura edáfica.³ Los resultados de este estudio sugieren que la inclusión de Carboplant-Plus actúa como un agente amortiguador que estabiliza el pH y mejora la retención de cationes, protegiendo la fertilidad futura del suelo de la UNERG (Roba, 2018).

El maíz híbrido F2 demostró ser un material genético de alta respuesta. Su arquitectura foliar y su capacidad de asimilación permitieron capitalizar tanto el impulso químico del T1 como el estímulo biológico del Carboplant-Plus en T2. La consistencia en el grosor del tallo (2,1 cm) en los mejores tratamientos indica una baja susceptibilidad al acame, un factor crítico para la cosecha mecanizada. De esta manera, el maíz se posiciona así como el vehículo ideal para la implementación de paquetes tecnológicos de agricultura de conservación en Venezuela.

CONCLUSIONES

La investigación integral sobre el uso del bioactivador foliar Carboplant-Plus en el cultivo de maíz permite formular conclusiones de alto impacto para la ciencia agronómica y la práctica agrícola nacional.

En primer lugar, se ratifica que la fertilización combinada (T2: 50% química + 50% orgánica) es la estrategia nutricional más eficiente y productiva. Al alcanzar un rendimiento de grano seco de 3.453,05 kg/ha,

esta modalidad no solo igualó, sino que superó la efectividad de la fertilización química completa, demostrando que la bioestimulación con sustancias húmicas derivadas de leonardita permite un ahorro sustancial en insumos sintéticos sin comprometer la productividad.

En segundo lugar, la cobertura vegetal ejerce un rol fundamental como potenciador del rendimiento bajo esquemas de fertilización tradicional, al mitigar el estrés térmico e hídrico. Sin embargo, la bioestimulación foliar con leonardita parece conferir una resiliencia fisiológica adicional que permite a la planta mantener altos niveles de producción incluso bajo condiciones de menor humedad edáfica, subrayando su valor estratégico en escenarios de cambio climático.

En tercer lugar, el bioactivador Carboplant-Plus demostró ser un catalizador eficaz del crecimiento vegetativo y la salud fisiológica de la planta, reflejado en niveles de clorofila superiores a 40 SPAD y una arquitectura robusta. Su aplicación mejora la eficiencia en la absorción de nutrientes, transformando el manejo convencional en un sistema de mayor precisión biológica.

Se recomienda a las instituciones académicas y gubernamentales promover el uso de bioactivadores a base de leonardita como un componente esencial en los planes de siembra de maíz. Esta tecnología representa una solución viable para los pequeños y medianos productores, alineada con los objetivos de desarrollo sostenible, al reducir la huella ambiental de la agricultura y fortalecer la soberanía alimentaria mediante el uso de recursos locales y biotecnología de bajo costo, pero alta eficacia científica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Centro de Investigación y Extensión y Suelos y Aguas de la Universidad Rómulo Gallegos (CIESA UNERG) por el apoyo técnico-científico; al Centro Jardín Botánico de la UNERG por el apoyo con el espacio experimental, y a la Empresa Distribución y Producción Agropecuaria C.A. (DIPRO-AGRO) por el apoyo logístico para el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AgroBio. (2015). Estudio exhaustivo del impacto de la leonardita en el desarrollo de microorganismos en el suelo [Informe técnico]. AgroBio. <https://agro.bio/es/comprehensive-study-of-the-impact-of-leonardite>
- Altaf, A., Nawaz, F., Majeed, S., Ahsan, M., Ahmad, K. S., Akhtar, G., Hussain, K., Shahzad, B., Ullah, S., and Farman, M. (2023). Foliar humic acid and salicylic acid application stimulates physiological responses and antioxidant systems to improve maize yield under water limitations. *JSFA Reports*, 3(3), 119-128. <https://doi.org/10.1002/jsf2.106>
- Castillo, J., & Rodríguez, M. (2020). Uso de bioestimulantes orgánicos en la agricultura venezolana: Retos y oportunidades. Editorial Académica Española.
- Eulenstein, F., Lana, M. A., Schlindwein, S. L., Sheudzhen, A. K., Tauscke, M., Behrendt, A., Guevara, E., and Meira, S. (2017). Regionalization of maize responses to climate change scenarios, N use efficiency and adaptation strategies. *Horticulturae*, 3(1), 9. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3010009>
- Gutiérrez Carrillo, J. A., González Cervantes, G., Segura Castillo, M. A., Sánchez Cortés, I., Orozco Villeda, J. A., and Fortis Hidalgo, M. (2015). Effect of humic acids from Leonardite on the stability of soil aggregates and melon roots under greenhouse conditions. *Phyton- International Journal of Experimental Botany* 84(2), 298-305. <https://doi.org/10.32604/phyton.2015.84.298>
- Gaytán-Bautista, R., Palomo-Gil, A., Reta-Mendiola, D. G., Godoy-Avila, S., y García-Castorena, A. (2009). Rendimiento de grano y forraje en híbridos de maíz y su generación avanzada F2. *Revista mexicana de ciencias agrícolas (o Agric. Téc. Méx)*, 35(3), 275-287.
- INIA. (2026). Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA Venezuela - fecha de acceso: marzo 18, 2026, <https://www.inia.gob.ve/>
- Poehlman, J. M., and Allen, D. A. (2003). Mejoramiento genético de las cosechas. Editorial Limusa.
- Jiang, M., Dong, C., Bian, W., Zhang, W., and Wang, Y. (2024). Effects of different fertilization practices on maize yield, soil nutrients, soil moisture, and water use efficiency in northern China based on a meta-analysis. *Scientific Reports*, 14, 6480. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57031-z>
- Maffia, A., Oliva, M., Marra, F., Mallamaci, C., Nardi, S., and Muscolo, A. (2025). Humic substances: Bridging ecology and agriculture for a greener future. *Agronomy*, 15(2), 410. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020410>
- Monasterio, F. (2016). Efecto de la densidad de siembra en el rendimiento del maíz. *SIAN Revista de la Facultad de Agronomía*, 27(1), 27-33. <https://sian.inia.gob.ve>
- Nabi, F., Sarfaraz, A., Kama, R., Kanwal, R., and Li, H. (2025). Structure-based function of humic acid in abiotic stress alleviation in

- plants: A review. *Plants*, 14(13), 1916. <https://doi.org/10.3390/plants14131916>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). Perspectivas de cosechas y situación alimentaria. Informe trimestral N° 4. Roma.
- Pérez, A., García, L., y Martínez, J. (2018). Fisiología del rendimiento en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Ediciones Agrícolas Mundi-Prensa.
- Ramos-Gómez, M., Sánchez-López, E., y Torrijo, P. (2021). Propiedades físico-químicas de la leonardita y su aplicación como enmendador de suelos. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(3), 450-462.
- Roba, T. B. (2018). Review on: The effect of mixing organic and inorganic fertilizer on productivity and soil fertility. *Open Access Library Journal*, 5, e4618. <https://doi.org/10.4236/oalib.1104618>
- Sharma, S., Anand, N., Bindraban, P. S., and Pandey, R. (2023). Foliar application of humic acid with Fe supplement improved rice, soybean, and lettuce iron fortification. *Agriculture*, 13(1), 132. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010132>
- Veobides-Amador, H., Guridi-Izquierdo, F., y Vazquez-Padron, V. (2018). Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. *Cultivos Tropicales*, 39(4), 102-109. <https://www.redalyc.org/journal/1932/193260659015/html/>