

Revista Semestral del Área de Ingeniería Agronómica



JUNIO 30, 2026.

Autoridades Universitarias

Dr. Cesar Augusto Gómez García
RECTOR

Dra. Joali Moreno
VICERRECTORA ACADÉMICA

Dr. Juan Antonio Montenegro
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Dra. Grevimar Carpavire
SECRETARIA

Dra. Merly Orta Fernández
**DECANA DE INVESTIGACIÓN, PRODUCCIÓN Y SOCIALIZACIÓN DEL
CONOCIMIENTO**

Autoridades del Área de Ingeniería Agronómica

MSc. Ángel Lara
DECANO DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Dr. Junney Chong
DIRECTOR DE PRODUCCIÓN ANIMAL

MSc. Rafael Luis Pérez
DIRECTOR DE PRODUCCIÓN VEGETAL

Dra. María José Álvarez
DIRECTORA DE ESTUDIOS COMUNES

Revista Semestral del Área de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales “Rómulo Gallegos”

Volumen 7. N° 1 - San Juan de los Morros. Estado Guárico. Venezuela - 2026.

Depósito Legal: GU2018000037 - ISSN: 2665-0061

<https://unerg.edu.ve/unerg-agro-cientifica/>

Equipo Editorial

MSc. Ángel Lara

PRESIDENTE

Dr. Ángel Valera

DIRECTOR/ EDITOR

Dra. María Tovar León

COORDINADORA GENERAL

Dr. José Arcia, Dr. Pablo Pizzani, Dr. José Rafael Pérez M., MSc. Jeshua Nieves, Dra. Giovanna Demartino.

ASESORES ESPECIALISTAS

Dra. Merly Orta, MSc. Nieves Moyetón

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

COMITÉ EDITORIAL:

Dr. Luis Alexander Díaz (UCV), Dr. Miguel González (UNELLEZ), Dr. Enrique Lamarca (ULA), Dr. Iván Maza (UDO), Dr. Aquiles Montañez (UCV), Dr. Pedro Torrecillas (UCV), Esp. Miguel Reyes (UNERG), Dr. Junney Chong (UNERG), MSc. Rony Quijada (UNERG), Dr. Johnny Goncalves (UNERG), Dr. Ángel Tortolero (UNERG), MSc. Rafael Pérez (UNERG), MSc. José Amundaray (UNERG), Dr. Norberto Franco (UNERG), Dra. Deaneth Abreu (UNERG).



En la portada, una imagen representativa de una flor del girasol (*Helianthus annuus*), la cual es una inflorescencia en capítulo. Esta es el símbolo del Sol, el amor y la admiración. Pero también esta inflorescencia irradia la felicidad, la vitalidad, el positivismo y la energía. Desde los terrenos de la ilustre **Universidad Rómulo Gallegos (UNERG)**, los caminos y horizontes se engalanan con girasoles de luz, asociados a la felicidad, la positividad y la energía que fluye en las áreas académicas Unergistas, de la mano del Área de Ingeniería Agronómica, el Decanato de Investigación, Producción y Socialización del Conocimiento, y toda la comunidad.

Créditos: Comité Editorial UAC.

Se permite la reproducción y uso del contenido total o parcial de la revista sin fines de lucro, a condición de citar la fuente.

El contenido de los artículos publicados es de la entera responsabilidad de sus autores.

ÍNDICE

679 Editorial

682 Artículos Científicos

683 EVALUACIÓN DE RACIONES PARA CERDOS EN TODAS LAS FASES PRODUCTIVAS FORMULADAS PARCIALMENTE CON INGREDIENTES NO CONVENCIONALES BAJO UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN NO TRADICIONAL EN AGROINDUSTRIAS VIEIRA, TURMERO, EDO. ARAGUA.

695 BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA REGENERATIVA Y SABERES ANCESTRALES: UN ESTUDIO COMPARATIVO DESDE LA INVESTIGACIÓN-ACCIÓN PARTICIPATIVA EN COMUNIDADES DE CHILE Y VENEZUELA.

703 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.

726 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CLASES DE FERTILIDAD DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO DE MAÍZ INIA-7.

751 EVALUACIÓN DE UNA PLANTACIÓN DE NARANJA VALENCIA (*Citrus sinensis* L. Osbeck) MEDIANTE TELEDETECCIÓN CON VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO EN BEJUMA, ESTADO CARABOBO, VENEZUELA.

766 ASPECTOS GENERALES

767 INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES UNERG AGROCIENTÍFICA.

EDITORIAL

La presente edición de UNERG Agro-Científica consolida una verdad que hemos defendido desde la fundación de esta revista: la investigación agrícola de excelencia no solo es compatible con la resolución de problemas reales del campo venezolano, sino que encuentra en esos desafíos su mayor razón de ser. Como órgano de divulgación del Área de Ingeniería Agronómica de Producción Animal y Vegetal de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales "Rómulo Gallegos" (UNERG), nos enorgullece presentar un número que materializa el compromiso de nuestra institución con el avance del conocimiento agro-científico, anclado en las realidades del Estado Guárico y proyectado hacia el país y América Latina.

Este volumen 7(1) reúne cinco contribuciones que dialogan entre sí para trazar un arco narrativo coherente: cómo producir más, mejor y de manera sostenible en un contexto de limitaciones económicas y ambientales. Los trabajos abarcan desde la nutrición animal hasta la teledetección espacial, desde la biotecnología regenerativa hasta la geoestadística computacional, pero comparten un denominador común: la búsqueda de soluciones científicamente rigurosas para un campo venezolano que demanda urgencia e inteligencia.

El estudio sobre **raciones porcinas formuladas con ingredientes no convencionales** representa un hito en la nutrición animal tropical. En un contexto donde los alimentos balanceados concentrados representan el 65-70 % de los costos de producción porcina, estos investigadores demuestran que es posible reemplazar el 59% de ingredientes convencionales (maíz y soya) por subproductos agroindustriales, comprometer el desempeño productivo. Este trabajo no es solo nutrición; es economía aplicada al campo.

La investigación sobre **Biotecnología Regenerativa** trasciende lo disciplinario para adentrarse en lo epistemológico. Mediante Investigación-Acción Participativa en comunidades campesinas diversas, demuestra que las prácticas ancestrales de manejo de suelo, agua, semillas y control biológico no son rudimentos del pasado, sino biotecnologías de base cultural. La convergencia con principios de la biotecnología regenerativa moderna (sostenibilidad, diversificación productiva, preservación de biodiversidad) invita a una reflexión incómoda: ¿cuánto conocimiento científico convencional podría enriquecerse si abandonara su monocultivo epistemológico?

El trabajo sobre **Bioestimulantes Orgánicos** enfrenta un problema crítico: la imposibilidad económica de muchos productores venezolanos para adquirir semillas híbridas F1 certificadas, que los obliga a sembrar generaciones F2 con pérdida de vigor híbrido y segregación genética. Su respuesta es dada por el uso de un

bioactivador foliar, lo cual abre la puerta a una agricultura regenerativa de precisión biológica con menor incidencia de productos químicos.

La investigación sobre **Cartografía Digital de Suelos** eleva la apuesta metodológica integrando kriging ordinario con el algoritmo neuro-difuso para clasificar clases de fertilidad en una parcela experimental en los terrenos de la UNERG. El hallazgo más provocador: la clase de suelo con mayor rendimiento promedio no es la químicamente más favorable (pH neutro, P medio), sino una clase con moderada acidez, alta materia orgánica y baja densidad aparente, lo que evidencia de que la respuesta del cultivar INIA-7 está mediada por interacciones complejas entre propiedades químicas y físicas. La metodología permite delimitar zonas de manejo homogéneas con potencial de reducir 20-30 % la aplicación de fertilizantes sin sacrificar rendimiento, una contribución directa a la sostenibilidad económica y ambiental.

Finalmente, el trabajo sobre **Teledetección con vehículo aéreo no tripulado** demuestra que la agricultura de precisión no requiere infraestructura prohibitiva. Utilizando un Dron con cámara RGB estándar (tecnología de bajo costo) se evalúa una plantación de naranja Valencia de un año en Bejuma, estado Carabobo. La evaluación de la cobertura del dosel y el vigor de la plantación, combinados con un modelo digital de elevación que revela zonas de acumulación hídrica potencial, ofrecen un diagnóstico espacialmente explícito para decisiones de fertilización, riego o replante. Las evaluaciones señalan utilidad diagnóstica de esta herramienta accesible.

Más allá de sus objetivos específicos, estos cinco trabajos revelan tendencias estructurales que definen el perfil de la investigación agro-científica emergente en Venezuela, tales como: la sostenibilidad como imperativo económico, no solo ambiental; las tecnologías de precisión adaptadas a escala pequeña y mediana; la interdisciplinariedad como metodología, no como retórica, más la pertinencia territorial y soberanía alimentaria.

A nuestros lectores (docentes investigadores, estudiantes de posgrado, profesionales del sector productivo, tomadores de decisión en política agrícola), esta edición ofrece una constatación y una invitación. La constatación: en Venezuela existe capacidad científica de primer nivel para abordar los desafíos agropecuarios con rigor metodológico y relevancia social. La invitación: a multiplicar estos esfuerzos, a establecer alianzas interinstitucionales, a escalar las tecnologías validadas y a defender la investigación agro-científica como inversión estratégica para la soberanía alimentaria.

La UNERG, como puerta de entrada a los Llanos Centrales como epicentro histórico de la producción agrícola venezolana, asume su responsabilidad de generar conocimiento que transforme realidades. Los artículos que presentamos no son finales; son puntos de partida para procesos de innovación continua. La validación de estos

resultados en condiciones de producción a mayor escala, su adaptación a otros cultivos y regiones, y su incorporación en currículos formativos constituyen las próximas fronteras que esperamos ver conquistadas.

Agradecemos a los autores por su rigor, paciencia y disposición para enriquecer sus manuscritos mediante el proceso de revisión por pares. A los revisores anónimos por su labor científica y constructiva. A las instituciones colaboradoras: CIESA-UNERG, Jardín Botánico de la UNERG, SIAGRICA, SEHIVECA, empresas productivas y comunidades en general, por hacer posible la investigación aplicada. Y a nuestros lectores, por mantener viva la conversación científica que da sentido a esta publicación.

UNERG Agro-Científica seguirá siendo un espacio de encuentro para la ciencia agrícola que piensa globalmente, investiga regionalmente e impacta localmente. Bienvenidos a esta edición.



Dr. ANGEL RAFAEL VALERA V.

Director/ Editor

Revista UNERG Agro-Científica

Área de Ingeniería Agronómica/ Decanato de Investigación, Producción y Socialización del Conocimiento.

Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales "Rómulo Gallegos"
(UNERG) Estado Guárico, Venezuela

Artículos Científicos

EVALUACIÓN DE RACIONES PARA CERDOS EN TODAS LAS FASES PRODUCTIVAS FORMULADAS PARCIALMENTE CON INGREDIENTES NO CONVENCIONALES BAJO UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN NO TRADICIONAL EN AGROINDUSTRIAS VIEIRA, TURMERO, EDO. ARAGUA

Constanza Irene Rojas Milano^{1*}, Pablo Pizzani¹

¹ Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales "Rómulo Gallegos". Área de Ingeniería Agronómica, San Juan de los Morros, Estado Guárico, Venezuela. **e-mail:** constan274@gmail.com, pablopizzanic@gmail.com

* Autor de correspondencia

Recibido: 12 /03 /2026; **Aceptado:** 10 /05 /2026; **Publicado:** 30 /06 /2026

RESUMEN

Se desarrolló una investigación en Venezuela, Estado Aragua, en Agroindustrias Vieira en un Sistema de Producción Porcino Intensivo, con animales de razas y líneas genéticas predominantemente blancas, bajo confinamiento total, ciclo completo; con el objetivo de evaluar nutricional, productiva y económicamente las raciones para cerdos en todas las fases productivas formuladas parcialmente con ingredientes no convencionales bajo un sistema de alimentación no tradicional. Se encontró que en raciones para cerdos en las fases de desarrollo y engorde se logró un reemplazo del 59% de los ingredientes convencionales sin afectar significativamente el desempeño productivo de los cerdos. Los aminoácidos sintéticos, especialmente la lisina, fueron cruciales para cubrir los requerimientos nutricionales de los cerdos. No se observaron efectos negativos en la salud general de los animales, especialmente de las cerdas gestantes ni lactantes. Los cerdos alimentados con las raciones formuladas alcanzaron pesos y tasas de conversión alimenticia (CA) satisfactorias: peso al beneficio de 95 Kg en 181 días, con una CA global de 3,5, permitiendo un ahorro de 19 a 30 \$/Cerdo. Al hacer análisis por punto de proteína y de energía, se evidencia que la Hna. de Arroz, el Concentrín 21 y el Afrecho de Trigo (en ese orden) son recursos versátiles, considerando su aporte nutricional (PB y EM) y precio, muy ventajosos con respecto a los ingredientes principales. Se demostró que es posible reducir los costos de producción sin comprometer el desempeño animal.

Palabras clave: Raciones para cerdos, evaluación nutricional, ingredientes no convencionales, alimentación no tradicional.

EVALUATION OF SWINE RATIONS ACROSS ALL PRODUCTION PHASES PARTIALLY FORMULATED WITH UNCONVENTIONAL INGREDIENTS UNDER A NON-TRADITIONAL FEEDING SYSTEM AT AGROINDUSTRIAS VIEIRA, TURMERO, ARAGUA STATE.

ABSTRACT

A study was conducted in Venezuela, Aragua State, at Agroindustrias Vieira, an intensive pig production system with predominantly white genetic breeds and lines under total confinement and a complete cycle; with the objective of evaluating, from a nutritional, productive, and economic standpoint, the diets for pigs in all productive phases, partially formulated with non-conventional ingredients under a non-traditional feeding system. It was found that in diets for pigs during the development and finishing phases, a 59% replacement of conventional ingredients was achieved without significantly affecting the productive performance of the animals. Synthetic amino acids, particularly lysine, were crucial for meeting the nutritional requirements of the pigs. No adverse effects were observed on the overall health of the animals, especially in gestating and lactating sows. The pigs fed with the formulated diets achieved satisfactory weights and feed conversion ratios (FC): a slaughter weight of 95 kg in 181 days, with a global feed conversion ratio of 3.5, resulting in savings of 19 to 30 USD per pig. When performing a per-point analysis of protein and energy, it was evident that rice bran, corn gluten meal (Concentrín 21), and wheat middlings, in that order,

are versatile resources, considering their nutritional contribution (crude protein and metabolizable energy) and price, which are highly advantageous compared to the main ingredients. It was demonstrated that it is possible to reduce production costs without compromising animal performance.

INTRODUCCIÓN

La producción de cerdos está orientada a la obtención de utilidades. Se ha difundido en el mundo y se ha recomendado como una de las mejores formas de producción de cerdos, el uso de sistemas tradicionales de alimentación bajo un esquema de producción industrializado de cerdos basado en el uso de alimentos balanceados concentrados (ABAC), cuyos ingredientes principales son los cereales y soya como ingredientes convencionales, representando el ABA el 65 a 70% de los costos de producción porcina (Rodríguez *et al.*, 2012; González, 1994.). Sin embargo, esta elevada dependencia de ABA puede ser riesgoso para el desarrollo de una producción animal que sea creciente y sostenible bajo sistemas de alimentación tradicionales intensivos especialmente en países como el nuestro.

Entendiendo como ingredientes no convencionales los subproductos y desechos generados por las agroindustrias, y que pudieran utilizarse en la alimentación animal (Avilés *et al.*, 2009), y que la proteína ideal se define como el balance exacto de aminoácidos esenciales y el suministro adecuado de aminoácidos no esenciales, capaz de proveer, sin deficiencias o excesos, las necesidades absolutas de todos los aminoácidos necesarios para mantenimiento, producción y crecimiento corporal (Nutrinews, 2015). Por ello es de suma importancia formular dietas tomando en cuenta el concepto de proteína ideal, ya que permite optimizar la utilización de la proteína de la dieta (relación entre

Keywords: pig rations, nutritional evaluation, unconventional ingredients, non-traditional feeding.

retención y consumo de proteína) minimizando la excreción de nitrógeno disminuyendo el impacto ambiental de estos tipos de sistemas de producción (Paulino, 2016).

Por otro lado, con respecto a la formulación de raciones PIC (2022) acota que se pueden encontrar distintas estrategias para la formulación de dietas las cuales deberían equilibrar el máximo desempeño animal, minimizar los costos de producción y maximizar la rentabilidad. Estévez (2016) considera que el mantenimiento de la rentabilidad de las producciones intensivas de Cerdos, sólo tienen dos alternativas: mejorar los índices productivos y económicos mediante una intensificación y sistemas de baja inversión y uso de alimentos de menor costo. En la formulación de las raciones evaluadas en este trabajo, prevaleció el criterio de minimizar los costos de producción del alimento coincidiendo con el planteamiento de Estévez (2016).

En nuestro país la producción de cerdos, ha representado en orden de aporte proteico a la dieta del venezolano, el tercer rubro de producción animal más importante. En años recientes, la situación cambiaria y arancelaria nacional ha cambiado, derivando en procesos de crisis económica que han afectado de manera especial los sistemas de producción intensivos de aves y cerdos (Agudo, 2018), ocasionando un deterioro en la oferta de ABA e incremento de su costo; esta realidad pone de manifiesto la necesidad de plantear nuevas estrategias de formulación de raciones desde lo que hoy se conoce

como Nutrición de precisión, recurriendo al diseño de estrategias nutricionales que consideren la sustitución parcial de ingredientes convencionales y tomando en cuenta el concepto de Proteína ideal y el uso de Aminoácidos sintéticos.

El objetivo general de este trabajo de investigación fue evaluar las raciones para Cerdos en todas las fases productivas formulados parcialmente con ingredientes no convencionales bajo un sistema de alimentación no tradicional para cerdos en todas las fases productivas en Agroindustrias Vieira, Turmero, Estado Aragua. Los objetivos específicos incluyeron: 1) Caracterizar nutricionalmente las raciones para cerdos elaboradas en Agroindustria Vieira; 2) Analizar los resultados productivos de cerdos bajo un sistema de alimentación no tradicional de Agroindustria Vieira; y 3) Valorar económicamente las raciones elaboradas en Agroindustria Vieira para cerdos en todas las fases productivas formulados parcialmente con ingredientes no convencionales bajo un sistema de alimentación no tradicional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y caracterización del sistema productivo

La investigación se desarrolló en Agroindustrias Vieira C.A., ubicada en el Estado Aragua, Municipio Santiago Mariño, Parroquia Arévalo Aponte, Sector Guayabita, Turmero, Venezuela. Se trata de una unidad de producción porcina intensiva con ciclo completo y confinamiento total, que opera con animales de razas y líneas genéticas predominantemente blancas. La empresa cuenta con dos áreas productivas: el galpón 1, destinado a reproductoras en gestación, maternidad e iniciación, y el galpón 2, para las fases de levante y engorde. La unidad dispone

de 250 hembras reproductoras (madres) que producen 2,6 partos al año, con camadas de tamaño promedio de 12 lechones nacidos vivos por parto, generando un volumen de 135 nacimientos semanales y una venta de 130 cerdos cebados de aproximadamente 100 kg. Adicionalmente, la empresa posee su propia planta de alimento balanceado para la elaboración de raciones, lo cual constituye una ventaja estratégica para la implementación de sistemas de alimentación no tradicionales. No obstante, una de las debilidades identificadas fue la ausencia de un sistema de registro completo, ya que no se realizaban controles de peso de los animales en las distintas etapas productivas, con excepción del área de maternidad donde se pesaban los lechones al nacer (peso promedio de 1,2 kg) y al destete a los 21 días (peso promedio de 6 kg).

Diseño de la investigación y raciones evaluadas

Se empleó un diseño descriptivo-analítico con enfoque no experimental, orientado a evaluar nutricional, productiva y económicamente las raciones para cerdos en todas las fases productivas formuladas parcialmente con ingredientes no convencionales bajo un sistema de alimentación no tradicional basado en la estrategia de minimización de costos de producción. Las raciones evaluadas correspondieron a siete fases productivas: preiniciador, iniciador, desarrollo, engorde, engorde extra, gestación y lactancia. Estas raciones fueron formuladas parcialmente sustituyendo ingredientes convencionales como el maíz amarillo (*Zea mays*) y la soya por subproductos y desechos generados por agroindustrias, entendidos como ingredientes no convencionales. Entre las materias primas utilizadas se encontraron la fécula de maíz o almidón (Nenerina), la harina

de maíz precocida, la harina de arroz (Hna. de Arroz), la harina de maíz remolida, el gluten de maíz (Concentrín 21), el germen desgrasado del maíz (SAGMD) y el afrecho de trigo. Para garantizar el cumplimiento de los requerimientos nutricionales, especialmente en lo concerniente a la proteína ideal, se incorporaron aminoácidos sintéticos, particularmente lisina, metionina y treonina, siendo la lisina el aminoácido de mayor relevancia dado su papel como aminoácido limitante en las dietas porcinas.

Análisis nutricional de las raciones

Se realizaron análisis de composición química de las raciones elaboradas en la planta de alimentos de Agroindustrias Vieira durante diciembre de 2022, empleando la técnica de espectrofotometría de reflectancia en infrarrojo cercano (NIRS) en un equipo espectrofotómetro NIR modelo 6500 (*Foss NIRSystems, Inc., Silver Spring, MD, EE.UU.*). Las calibraciones se realizaron utilizando el software WinISI y mediante el servicio de calibración de la red Provimi. Los análisis fueron ejecutados por dos laboratorios independientes: el Departamento de Aseguramiento de Calidad de Alimentos Súper S. y el Departamento de Aseguramiento de Calidad de Purolomo. Los parámetros analizados incluyeron humedad, proteína bruta, grasa, fibra y ceniza. Los resultados analíticos obtenidos se compararon con los requerimientos nutricionales establecidos por las Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos (Rostagno *et al.*, 2017) y las Normas FEDNA (De Blas *et al.*, 2013) para ganado porcino.

Evaluación productiva

Los resultados productivos de Agroindustrias Vieira fueron analizados a partir de la información disponible en la empresa,

enfocándose especialmente en los parámetros reproductivos y productivos de las madres y el desempeño de los cerdos en ceba. Los indicadores evaluados incluyeron el peso al nacer, el peso al destete a los 21 días, el tamaño de camada, los días abiertos, los partos por año por madre, el peso al beneficio, la conversión alimenticia global y la duración del ciclo productivo. Es importante señalar que, dado que la empresa no contaba con un sistema de registro completo ni realizaba controles de peso en las distintas etapas productivas (excepto en maternidad), los resultados productivos se obtuvieron de la información a la cual se tuvo acceso en la unidad de producción, lo cual constituye una limitación metodológica del estudio. Los valores obtenidos se compararon con los resultados productivos promedios nacionales reportados por la Federación Venezolana de Porcicultura (FEPORCINA) según Escalona (2022).

Evaluación económica

Se determinó el costo del alimento elaborado expresado en dólares (\$) por tonelada y por saco de 40 kg, de manera que posteriormente se pudiera comparar con el precio de alimentos comerciales disponibles en el mercado. Se consideraron dos referencias comerciales (Comercial 1 y Comercial 2) para el análisis comparativo. El análisis económico integró la conversión alimenticia global, el ciclo productivo y el costo de alimentación por kilogramo de cerdo producido, calculando el consumo de alimento por cerdo hasta alcanzar 100 kg de peso vivo, el costo total de alimentación por cerdo y el ahorro económico obtenido con respecto a las alternativas comerciales. Adicionalmente, se realizó un análisis por punto de proteína y de energía para evaluar la versatilidad de los ingredientes no

convencionales, considerando su aporte nutricional (proteína bruta y energía metabolizable) y precio en relación con los ingredientes convencionales principales.

Consideraciones de bienestar animal

Durante el desarrollo de la investigación se garantizó el bienestar animal, verificando que no se observaran efectos negativos en la salud general de los animales, especialmente en las cerdas gestantes y lactantes, conforme a los principios de producción animal responsable. El análisis de los datos se realizó mediante estadística descriptiva, comparando los valores obtenidos en los análisis de laboratorio con los estándares teóricos de las tablas nutricionales de referencia, calculando diferencias porcentuales y evaluando el cumplimiento de los requerimientos nutricionales por fase productiva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de los análisis de las raciones elaboradas en Agroindustrias Vieira bajo un sistema de alimentación no tradicional. El primer análisis fue realizado por el Departamento de aseguramiento de calidad de Alimentos Súper S. en un equipo espectrofotométrico NIR modelo 6500 (Foss- NIRSystems, Inc., Silver Spring, MD, EE.UU.); las calibraciones se realizaron utilizando el software Winisis, y mediante el servicio de calibración de la red Provimi. Y el segundo análisis fue realizado por el Departamento de aseguramiento de calidad de Purolomo. También se analizó la fracción proteica y de aminoácidos de las raciones elaboradas (Cuadro 2).

Cuadro 1. Resultados de análisis NIRS de Raciones para Cerdos en las distintas fases productivas elaboradas en Agroindustrias Vieira durante diciembre 2022.

Tipo de Alimentación/ Contenido	Pre iniciador	Iniciador	Desarrollo	Engorde Extra	Engorde	Gestante	Lactante	Laboratorio
% Humedad ^{1/}	12,1	10	10,9	9,7	11,2	11	9,7	1
^{2/}	9,64	10,34			10,52		10,28	2
% Proteína	15,4	15	14,9	17	14,4	15	14,6	1
	15,64	16,01			16,06		15,38	2
% Grasa	6,16	7,87	6,69	7,79	6,2	6,63	8,46	1
	8,83	8,34			8,48		7,13	2
% Fibra	3,65	3,28	4	2,99	3,64	3,69	3,82	1
	4,74	4,79			4,64		5,07	2
% Ceniza	5,78	5,22	5,14	5,76	5,18	5,36	5,32	1
	4,76	5,64			4,97		5,37	2

Fuentes: ^{1/}Departamento de aseguramiento de calidad de Alimentos Súper S. ^{2/} Departamento de nutrición Purolomo.

Cuadro 2. Diferencia de Proteína entre las raciones sugeridas por distintas Tablas nutricionales y las raciones de Agroindustrias Vieira C.A.

PB (%)	Pre Iniciador	Iniciador	Desarrollo	Engorde	Gestación	Lactancia
Promedio Teórico ^{1/}	20,5	19	16	16	14,5	16,5
Promedio Vieira C.A. Dic- 2022	15,5	15,5	15	15	15	15
Diferencia	5	3,50	1	1	-0,50	1,5

^{1/} FEDNA (2013) y Rostagno *et al.* (2017)

Al comparar los resultados de análisis NIRS de raciones para Cerdos en las distintas fases productivas elaboradas en Agroindustrias Vieira, tomando en cuenta la fracción proteica de las raciones elaboradas (Cuadro 2) se observó que con respecto a la composición del alimento, la ración de Preiniciador elaborado en Agroindustrias Vieira, mostró una diferencia de 5% con respecto a lo recomendado (20,5% PB) por las Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos (Rostagno *et al.*, 2017) y De Blas *et al.* (2013). Sin embargo, Fernández (2004) demostró que en la fase de preinicio, se pueden emplear dietas con 15% de PB sin afectar negativamente los parámetros productivos, siempre que se garanticen los aminoácidos esenciales en la proporción adecuada a esa edad.

El alimento Iniciador elaborado por Agroindustrias Vieira C.A. presentó 3,5% menos de PB que la proporción de proteína del alimento Iniciador propuesto por las Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos

(Rostagno *et al* 2017; De Blas *et al.*, 2013). Sin embargo, este resultado coincide con González *et al* (2014), que redujeron el nivel de proteína entre 16,5 a 14,5 en dietas para lechones de más de 12 Kg, incluso mejorando la CA.; adicionando AAs sintéticos.

Para la fase de Engorde, sin embargo, se ha encontrado que la ración de Engorde elaborada en Agroindustrias Vieira, mostró una diferencia muy pequeña a lo recomendado por las Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos (Rostagno *et al.*, 2017; De Blas *et al.*, 2013). Desde el punto de vista de un mejor desempeño de los animales Wang *et al.* (2022) encontraron que se pueden reducir incluso el nivel de PC de la dieta a 10%, sin afectar el crecimiento.

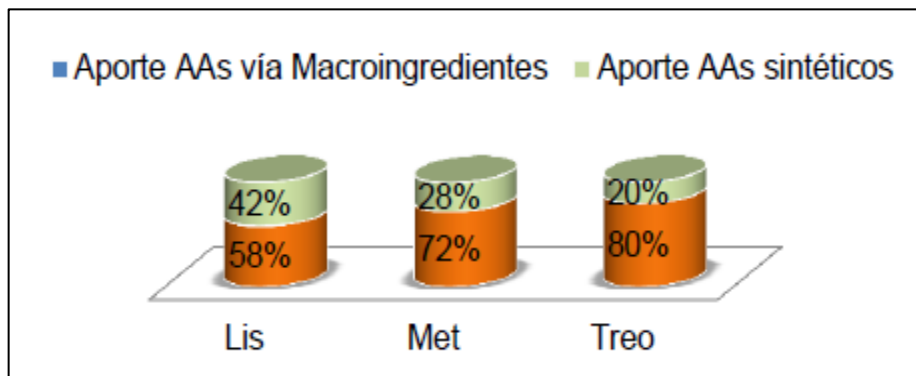
Se estimó la diferencia de Aminoácidos entre la ración para Engorde de Agroindustrias Vieira C.A. y la recomendada por FEDNA, tomando en cuenta especialmente los aminoácidos limitantes (Cuadro 3)

Cuadro 3. Diferencia de Aminoácidos entre la ración para Engorde de Agroindustrias Vieira C.A. y la recomendada por FEDNA.

Aminoácidos (AAs)	Lisina	Metionina	Treonina
Aporte Ración	0,920	0,266	0,545
Recomendación FEDNA	0,83	0,25	0,56
Aporte AAs vía Macroingredientes	0,535	0,191	0,434
Aporte AAs sintéticos	0,385	0,074	0,111
Diferencia Ración/ FEDNA	0,095	0,018	-0,016

Con respecto al contenido de aminoácidos (Aas) de la ración para Engorde elaborado en Agroindustrias Vieira C.A. se encontró que el resultado es muy cercano a la recomendación de FEDNA. Este indicador se logra cubrir, gracias a la adición de AAs sintéticos. Entonces, es importante destacar la importancia del uso de los AAS

sintéticos en la formulación de las raciones, como se evidencia en la figura 1, particularmente para el caso de la Lisina, donde con una pequeña fracción del mismo en la ración (0,4%), dada su elevada concentración se cubre el 42% de lo requerido por los animales en la fase de engorde.

**Figura 1.** Aporte (%) de Aminoácidos sintéticos según su tipo de fuente.

Se analizaron los resultados productivos de Agroindustrias Vieira (Cuadro 4), de acuerdo a la información a la cual se tuvo acceso, destacando aquellos a través de los

cuales se evalúa especialmente a las madres, y con ello las raciones para las fases de Gestantes y Lactantes elaboradas en esta investigación. Se observa que las Madres tienen un desempeño favorable.

Cuadro 4. Comparación de resultados productivos de Agroindustrias Vieira con los Resultados productivos promedios nacionales

	Parámetro	Valor Agroindustrias Vieira C.A.	Valor Nacional*
Maternidad	Peso al nacer (kg)	1,27	1,30
	Peso al destete 21 (Kg)	6,05	6,0
	Camada (Lechones)	12,3	12,0
	Días abiertos	5,0	7,0
	Partos al año/ Madre	2,6	2,52
	Peso promedio al beneficio (kg)	95	100
	CA (global)	3,5	2,75

*FEPORCINA. Escalona Franklin (2022).

El Peso al beneficio coincide con el Peso al beneficio reportado por FEPORCINA (Escalona F. 2022). La CA de 3,5 difiere negativamente con respecto a resultados de investigaciones donde se han disminuido los niveles de PC en las raciones especialmente de Desarrollo y Engorde o se ha sustituido parcialmente el Maíz amarillo (*Zea mays*) por germen desgrasado del maíz (SAGMD); las cuales obtuvieron valores de CA de 3,11-3,16 (Hernández *et al.*, 2022; López *et al.*, 2003) pero coincide con lo referido por Wang Ch. *et al.* (2022) que obtuvo Ca de 3,73 y 3,48. Esta CA de 3,5, expresa que se requiere 0,75 Kg más de alimento por Kg de Peso vivo por encima de la CA promedio reportada por FEPORCINA. Los alimentos comerciales pueden producir animales de 100 Kg con una inversión de 275 Kg de alimento, mientras que con el alimento elaborado en Agropecuaria Vieira

C.A. se requieren 350 gk de alimento para producir animales de 100 kg. Lo cual quiere decir que Agropecuaria Vieira C.A.

debe emplear 75 kg más de alimento por animal al beneficio. Es importante resaltar, que la estrategia empleada para la formulación de las dietas, se ha basado en la Minimización de costos de producción, con lo cual, como se ha constatado se ha sacrificado parcialmente el desempeño animal (PIC, 2022).

Para el análisis económico de las raciones elaboradas en Agroindustria Vieira C.A se determinaron los costos del alimento elaborado expresado en dólares (\$) por Tonelada y dólares (\$) por saco de Alimento de 40 Kg, de manera que posteriormente se pueda comparar con el precio de alimentos comerciales (Cuadro 5).

Posteriormente se consideró la conversión alimenticia (CA) (Cuadro 6); tomando en cuenta que la formulación se ha basado en la Minimización de costos de producción, a pesar de que la CA es superior a la reportada como promedio nacional o por otras empresas comerciales, se logró disminuir de manera importante el Costo de producción de los Cerdos.

Cuadro 5. Costos del alimento elaborado en Agroindustrias Vieira durante diciembre 2022

Tipo de Alimento	\$/ Ton	\$/ Sacos (40 Kg)
Pre iniciador	528,72	21,15
Iniciador	507,63	20,31
Desarrollo	461,35	18,45
Engorde Extra	464,21	18,57
Gestante	396,15	15,85
Lactante	423,88	16,96

Cuadro 6. Análisis de CA, Ciclo productivo, y Costo de Alimentación en Agroindustria Vieira

Indicador	Agroindustrias Vieira C.A	Comercial 1	Comercial 2
Conversión Alimenticia	3,5	2,7	2,8
Ciclo (días)	181,00	140,00	145,00
Costo alimento (\$/Kg)	0,464	0,715	0,649
Consumo Kg/Cerdo 100Kg	350	270	280
Costo (\$/ Kg Cerdo)	1,62	1,93	1,82
Costo (\$/ Cerdo)	162,47	192,92	181,72
Tiempo adicional (días) del Ciclo Agroindustrias Vieira/ Comercial		41,00	36,00
Ahorro (\$/ Cerdo)		30,44	19,25

Se obtuvo un resultado económico favorable a pesar de que la CA (3,5) y el Ciclo productivo (181 días) son mayores en Agroindustrias Vieira en comparación con los otros dos casos comerciales, favoreciendo el ahorro de entre 30 a 19\$ por cerdo.

CONCLUSIONES

El estudio presenta un caso exitoso de utilización de ingredientes no

convencionales en la alimentación de cerdos, demostrando que es posible reducir los costos de producción sin comprometer el desempeño animal.

Se encontró que, en raciones para Cerdos en las fases de desarrollo y engorde, reemplazando el 59% de los ingredientes convencionales se logró una proporción de PB solo de 1 punto inferior a lo recomendado por las tablas nutricionales (De Blas *et al.*, 2013; Rostagno *et al.*, 2017). Sin embargo, al analizar la

ración para engorde, se encontró, que con respecto a los AAs limitantes (Lisina, Meteonina y Treonina) se logró cubrir el requerimiento de los animales, a través de la inclusión de AAs sintéticos.

Se destaca la importancia del uso de los AAs sintéticos en la formulación de las raciones para garantizar una mayor eficiencia en la producción de carne, particularmente para el caso de la Lisina, donde con una pequeña fracción del mismo en la ración (0,4%), dada su elevada concentración cubre el 42% de lo requerido por los animales en la fase de engorde.

El uso de raciones formuladas parcialmente con ingredientes no convencionales bajo un sistema de alimentación no tradicional permitió un desempeño productivo general favorable. Alcanzando peso de 95 Kg, una Conversión Alimenticia global de 3,5, lo cual quiere decir que se requiere 0,75 Kg más de alimento por Kg de Peso vivo por encima de la CA promedio nacional.

Las madres Gestantes y Lactantes presentan parámetros productivos y reproductivos acordes con los indicadores nacionales. Peso al nacer 1, 27 Kg, Peso al destete a los 21 días de 6 Kg, Tamaño promedio de la camada de 12,3 lechones, Días abiertos 5, Partos al año por madre 2,6.

El uso de raciones formuladas parcialmente con ingredientes no convencionales bajo un sistema de alimentación no tradicional basado en la estrategia de Minimización de costos de producción permitió disminuir de manera importante el Costo de producción de los Cerdos, representando un ahorro entre 30,44 ó

19,25 \$/Cerdo respectivamente o por cada 100 kg de Cerdo.

RECOMENDACIONES

Los residuos agroindustriales Fécula de maíz o Almidón (Nenerina), Hna. de Maíz precocida, Hna. de Arroz y Hna de Maíz Remolida; en ese orden, son las materias primas energéticas más económicas para ser utilizadas como reemplazos parciales del Maíz amarillo (*Zea mays*).

No se recomienda la sustitución de Harina de Maíz por Gluten de Maíz (Concentrín 21), Germen desgrasado del maíz (SA-GMD) (Nutricon) y Afrecho de Trigo puesto que son más costosas que la Harina de Maíz.

Es importante continuar con la valoración de otros ingredientes no convencionales como potenciales fuentes de nutrientes. Para esto es favorable realizar análisis NIRS a una mayor cantidad de ingredientes para obtener una caracterización más precisa de su composición nutricional.

Establecer mejores sistemas de registros productivos, que incluyan controles de peso en las distintas fases productivas, con el fin de garantizar una mejor evaluación del efecto de las raciones formuladas, y permitan realizar los correctivos oportunos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a Agropecuaria Vieira C.A. por el apoyo logístico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudo, Rodrigo. (2018). Sector Agroalimentario. El hambre como negocio. Transparencia Venezuela. En línea: <https://transparenciave.org/wp->

content/uploads/2018/11/EPE-II-Sector-Agroalimentario.pdf

Avilés Ríos, Edgar David, Espinosa García, José Antonio, Rentería Flores, José Antonio, Mejía Guadarrama, César Augusto, Mariscal Landín, Gerardo, y Cuarón Ibargüengoytia, José Antonio. (2009). Disponibilidad de ingredientes no tradicionales con potencial de ser usados en la alimentación de cerdas gestantes en el Bajío mexicano. *Veterinaria México*, 40(4), 357-370. Recuperado en 28 de noviembre de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-50922009000400002&lng=es&tlng=es.

De Blas C., Gasa J. y Mateos G.G. 2013. NECESIDADES NUTRICIONALES PARA GANADO PORCINO NORMAS FEDNA (2ª edición). En línea: https://www.fundacionfedna.org/sites/default/files/Normas%20PORCINO_2013_rev2_0.pdf

Escalona, Franklin. (2022). Situación actual de la porcicultura venezolana y perspectivas para el 2023. Federación Venezolana de Porcicultura (FEPORCINA). Expoavisa 2022.

Estévez Alfayate, Jorge A. (2016). Manejo alimentario en las etapas de preceba y ceba en una unidad integral de producción porcina. *Revista de Producción Animal*, 28(2-3), 12-19. Recuperado en 16 de julio de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S222479202016000200002&lng=es&tlng=es.

Fernández, José A. (2004). Suministro de Aminoácidos esenciales a lechones (8- 20 Kg) en dietas con contenido proteico reducido. Instituto Danés de Ciencias Agrícolas. En línea: [https://www.portalveterinaria.com/porcino/articulos/2756/suministro-](https://www.portalveterinaria.com/porcino/articulos/2756/suministro-de-aminoacidos-esenciales-a-lechones-8-20-kg-en-dietas-con-contenido-proteico-reducido.html)

[de-aminoacidos-esenciales-a-lechones-8-20-kg-en-dietas-con-contenido-proteico-reducido.html](https://www.portalveterinaria.com/porcino/articulos/2756/suministro-de-aminoacidos-esenciales-a-lechones-8-20-kg-en-dietas-con-contenido-proteico-reducido.html)

González, C. (1994). Alimentación Alternativa de Cerdos en Venezuela. En línea: <https://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/ALIMENTACION%20ALTERNATIVA%20DE%20CERDOS%20EN%20VENEZUELA.pdf>

González, RM, Figueroa, VJL, Vaquera, HH, Sánchez-Torres, MT, Ortega, CME, Cordero, MJ.L., Copado, BJMF y Narciso, GC. (2014). Niveles de proteína para lechones de destete: un metanálisis. *Archivos de Zootecnia*, 63 (242), 315-325. En línea: <https://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922014000200010>

Hernández López Carlos Horacio; Lainez Cruz Elder Audeni; Castillo Rogel; y Martínez Yordan. (2022). Reducción de proteína cruda en la dieta y su efecto en el desempeño y la excreción de nitrógeno en cerdos de engorde. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria. Ingeniería Agronómica. Honduras. En línea: <https://www.engormix.com/porcicultura/articulos/reduccion-proteina-cruda-dieta-t49903.htm>

López, Nelly, Chicco, Claudio F, y Godoy, Susmira. (2003). Valor nutritivo del afrecho y germen desgrasado de maíz en la alimentación de cerdos. *Zootecnia Tropical*, 21(3), 219-236. Recuperado en 30 de abril de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692003000300001&lng=es&tlng=es.

NutriNews. (2015). Nuevas alternativas al uso de aminoácidos sintéticos - NutriNews, la revista de nutrición animal. (2015, October

21). En línea: <https://nutrinews.com/nuevas-alternativas-al-uso-de-aminoacidos-sinteticos/>

Paulino Joaquín A. (2016). Nutrición de los cerdos en crecimiento y finalización. En línea: <https://www.elsitioporcino.com/articulos/2683/nutrician-de-los-cerdos-en-crecimiento-y-finalizacian-1-introduccion/>

Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Hannas, M. I., Donzele, J. L., Sakomura, N. K., Perazzo, F. G., Saraiva, A., Teixeira de Abreu, M. L., Rodrigues, P. B., Oliveira, R. F. de, Barreto, S. L. de T., y Brito, C. O. (2017). Tablas brasileñas para aves y cerdos: Composición de alimentos y requerimientos nutricionales (4ª ed.). Departamento de Zootecnia, Universidad Federal de Viçosa. ISBN: 978-85-8179-122-7

BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA REGENERATIVA Y SABERES ANCESTRALES: UN ESTUDIO COMPARATIVO DESDE LA INVESTIGACIÓN-ACCIÓN PARTICIPATIVA EN COMUNIDADES DE CHILE Y VENEZUELA.

Carlos Luis Navas Ibarra¹

¹ universidad Politécnica Territorial de Yaracuy "Aristides Bastidas". Coordinación de Posgrado en Biotecnología, San Felipe, Estado Yaracuy, Venezuela, e-mail: navasibarracarlos@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5603-3553>

* Autor de correspondencia

Recibido: 23 /04 /2026; **Aceptado:** 30 /05 /2026; **Publicado:** 30 /06 /2026.

RESUMEN

El presente estudio analiza la relación entre la biotecnología agrícola regenerativa y los saberes ancestrales en dos contextos territoriales de América Latina: comunidades campesinas del estado Yaracuy (Venezuela) y comunidades indígenas mapuche en la región de La Araucanía (Chile). La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, enmarcado en el paradigma sociocrítico y sustentado en la metodología de Investigación-Acción Participativa (IAP), siguiendo los planteamientos de Fals Borda. La recolección de datos se realizó mediante entrevistas semiestructuradas, observación participante y talleres comunitarios, con una muestra intencional de 20 participantes (10 por país). El análisis se llevó a cabo a través de procesos de categorización y triangulación de la información, organizando los hallazgos en torno a ejes temáticos como manejo del suelo, gestión del agua, conservación de semillas y control biológico. Los resultados evidencian que las prácticas desarrolladas por ambas comunidades constituyen formas de biotecnología de base cultural, caracterizadas por el manejo intencional de procesos biológicos en estrecha relación con los ciclos naturales. Asimismo, se identifican convergencias significativas en principios como la sostenibilidad, la diversificación productiva y la preservación de la biodiversidad, junto con diferencias asociadas a las cosmovisiones y contextos ecológicos. Estos hallazgos dialogan con los planteamientos de Boaventura de Sousa sobre la ecología de saberes y la justicia cognitiva. Se concluye que la articulación entre biotecnología agrícola regenerativa y saberes ancestrales ofrece un marco pertinente para la formación de profesionales en biotecnología con enfoque intercultural, territorial y sustentable, destacando la necesidad de integrar conocimientos

científicos y tradicionales en procesos educativos y productivos.

Palabras clave: Biotecnología agrícola regenerativa; saberes ancestrales; Investigación-Acción Participativa; diálogo de saberes; justicia cognitiva.

REGENERATIVE AGRICULTURAL BIOTECHNOLOGY AND ANCESTRAL KNOWLEDGE: A COMPARATIVE STUDY FROM PARTICIPATORY ACTION RESEARCH IN COMMUNITIES IN CHILE AND VENEZUELA.

ABSTRACT

This study analyzes the relationship between regenerative agricultural biotechnology and ancestral knowledge in two territorial contexts in Latin America: peasant communities in Yaracuy State (Venezuela) and Mapuche indigenous communities in the Araucanía region (Chile). The research was conducted under a qualitative approach, framed within the socio-critical paradigm and based on the Participatory Action Research (PAR) methodology, following the contributions of Fals Borda. Data collection was carried out through semi-structured interviews, participant observation, and community workshops, with a purposive sample of 20 participants (10 per country). The analysis was developed through categorization and data triangulation processes, organizing the findings around thematic axes such as soil management, water management, seed conservation, and biological control. The results show that the practices developed by both communities constitute forms of culturally based biotechnology, characterized by the intentional management of biological processes in close

relation to natural cycles. Significant convergences were identified in principles such as sustainability, productive diversification, and biodiversity conservation, as well as differences associated with cosmopolitan's and ecological contexts. These findings are consistent with the framework of Boaventura de Sousa regarding the ecology of knowledge and cognitive justice. It is concluded that the articulation between regenerative agricultural biotechnology and ancestral knowledge provides a relevant framework

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la agricultura a nivel global ha enfrentado profundas tensiones derivadas de modelos productivos intensivos que han generado impactos significativos en los ecosistemas, incluyendo la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y el agotamiento de recursos hídricos. En este contexto, han emergido enfoques alternativos orientados hacia la sostenibilidad, entre los cuales destaca la biotecnología agrícola regenerativa, entendida como un conjunto de prácticas que promueven la restauración de los sistemas ecológicos mediante el aprovechamiento de procesos biológicos.

Paralelamente, diversas comunidades campesinas e indígenas han desarrollado históricamente sistemas de producción basados en conocimientos ancestrales que integran prácticas ecológicas, culturales y espirituales en la gestión del territorio. Estos saberes han demostrado una alta capacidad de adaptación a condiciones ambientales cambiantes, constituyéndose en referentes fundamentales para la construcción de modelos agrícolas sostenibles (Food and Agriculture Organization, 2020).

Sin embargo, persiste una brecha significativa entre los enfoques científicos convencionales y los conocimientos tradicionales, debido a la predominancia de paradigmas tecnocientíficos que han tendido a

for the training of biotechnology professionals with an intercultural, territorial, and sustainable perspective, highlighting the need to integrate scientific and traditional knowledge in educational and productive processes.

Keywords: Regenerative agricultural biotechnology; ancestral knowledge; Participatory Action Research; dialogue of knowledge; cognitive justice.

subvalorar otras formas de producción de conocimiento. En este sentido, el concepto de diálogo de saberes y la propuesta de una ecología de conocimientos, desarrollada por Boaventura de Sousa (2010), plantean la necesidad de reconocer la validez de múltiples epistemologías en la construcción del conocimiento científico.

En América Latina, esta discusión adquiere especial relevancia debido a la diversidad cultural y ecológica de sus territorios, así como a la vigencia de prácticas agrícolas tradicionales en comunidades rurales e indígenas. Desde esta perspectiva, la articulación entre biotecnología agrícola regenerativa y saberes ancestrales representa un campo de estudio emergente con potencial para contribuir a la sostenibilidad agroecológica y a la formación de profesionales con enfoque intercultural (Altieri y Nicholls, 2013).

La biotecnología agrícola regenerativa se fundamenta en el uso de procesos biológicos orientados a la restauración de los sistemas productivos, priorizando la salud del suelo, la biodiversidad funcional y la sostenibilidad ecológica. A diferencia de enfoques convencionales centrados en la maximización de rendimientos, este paradigma promueve la integración de prácticas como el uso de bioinsumos, la diversificación de cultivos y la gestión ecológica de plagas (Altieri y Nicholls, 2013).

En paralelo, los saberes ancestrales

constituyen sistemas de conocimiento cons-
truidos históricamente por comunidades
campesinas e indígenas, basados en la ob-
servación de los ciclos naturales, la experi-
mentación empírica y la transmisión interge-
neracional. Estos conocimientos se caracte-
rizan por su enfoque holístico, integrando di-
mensiones ecológicas, sociales y culturales
en la relación con la naturaleza.

El concepto de diálogo de saberes emerge
como una propuesta epistemológica que
busca superar la dicotomía entre conoci-
miento científico y tradicional, promoviendo
la interacción horizontal entre diferentes for-
mas de conocimiento. Desde esta perspec-
tiva, Boaventura de Sousa (2010) plantea la
necesidad de avanzar hacia una ecología
de saberes que reconozca la pluralidad
epistemológica y contribuya a la construc-
ción de una justicia cognitiva.

Asimismo, la Investigación-Acción Participa-
tiva, desarrollada por Orlando Fals Borda,
se constituye en un enfoque metodológico
coherente con estos planteamientos, al pro-
mover la participación activa de las comuni-
dades en la generación de conocimiento,
así como la articulación entre teoría y prác-
tica en procesos de transformación social.

En este sentido, la convergencia entre bio-
tecnología agrícola regenerativa y saberes
ancestrales puede ser comprendida como
un campo de intersección entre ciencia y
cultura, donde el conocimiento se construye
de manera contextualizada, participativa y
orientada a la sostenibilidad.

En este marco, el presente estudio tiene
como objetivo analizar las convergencias y
diferencias entre prácticas de biotecnología
agrícola regenerativa y saberes ancestrales
en dos contextos territoriales de América La-
tina: comunidades campesinas del estado

Yaracuy (Venezuela) y comunidades indíge-
nas mapuche en la región de La Araucanía
(Chile). Para ello, se adopta un enfoque cua-
litativo basado en la Investigación-Acción
Participativa (IAP), la cual permite compren-
der los procesos sociales desde la participa-
ción activa de los sujetos involucrados (Fals
Borda, 1986).

METODOLOGÍA

El presente estudio se desarrolló bajo un en-
foque cualitativo, enmarcado en el para-
digma sociocrítico, el cual concibe la inves-
tigación como un proceso orientado a la
comprensión de la realidad social y a la
transformación de las condiciones en las
que esta se desarrolla. Este enfoque resulta
pertinente para el análisis de prácticas agrí-
colas y saberes ancestrales, en tanto per-
mite interpretar los significados construidos
por los actores sociales en su contexto terri-
torial.

La estrategia metodológica adoptada fue la
Investigación-Acción Participativa (IAP),
sustentada en los aportes de Fals Borda
(1986), quien plantea la necesidad de inte-
grar la producción de conocimiento con la
acción transformadora y la participación ac-
tiva de las comunidades. En este sentido, la
investigación no se limitó a la recolección de
información, sino que promovió espacios de
interacción, reflexión y construcción colec-
tiva del conocimiento.

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en dos contextos
territoriales diferenciados:

- Venezuela: comunidad campesina El Prado, municipio Bruzual, estado Yaracuy.
- Chile: comunidades indígenas mapuche en la región de La Araucanía.

Estos territorios fueron seleccionados por su

relevancia en la conservación de prácticas agrícolas tradicionales y su potencial para el análisis comparativo en torno a la biotecnología agrícola regenerativa y los saberes ancestrales.

Población y muestra

La población estuvo conformada por actores vinculados a prácticas agrícolas en ambas comunidades. Se empleó un muestreo intencional, seleccionando participantes con experiencia directa en el manejo de prácticas agroecológicas y conocimientos tradicionales.

La muestra estuvo integrada por un total de 20 participantes, distribuidos de la siguiente manera:

- 10 participantes en Venezuela
- 10 participantes en Chile

La selección de este tamaño muestral responde a criterios de profundidad cualitativa y saturación teórica, priorizando la riqueza de la información sobre la representatividad estadística, en coherencia con los principios de la investigación cualitativa (Hernández Sampieri *et al.*, 2014).

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de la información se emplearon las siguientes técnicas:

- Entrevistas semiestructuradas, orientadas a explorar las experiencias, conocimientos y percepciones de los participantes en relación con las prácticas agrícolas.
- Observación participante, que permitió el registro directo de las dinámicas productivas y las interacciones comunitarias.
- Talleres participativos, concebidos como espacios de diálogo y construcción colectiva del conocimiento.

Como instrumentos se utilizaron guías de entrevista, registros de observación y sistematización de experiencias, siguiendo los planteamientos de Jara Holliday (2018).

Técnicas de análisis de la información

El análisis de la información se realizó mediante un proceso de categorización temática, a partir de la identificación de patrones y relaciones en los discursos y prácticas observadas. Posteriormente, se aplicó un proceso de triangulación de datos, integrando la información obtenida a través de las diferentes técnicas empleadas.

Los resultados fueron organizados en torno a ejes analíticos previamente definidos: 1) Manejo del suelo; 2) Gestión del agua; 3) Conservación de semillas; 4) Control biológico, y 5) Cosmovisiones.

Este proceso permitió identificar convergencias y divergencias entre los contextos estudiados, así como interpretar los significados asociados a las prácticas de biotecnología agrícola regenerativa.

Consideraciones éticas

La investigación se desarrolló bajo principios éticos fundamentales, garantizando el consentimiento informado de los participantes, la confidencialidad de la información y el respeto por los saberes tradicionales. Asimismo, se promovió la devolución de los resultados a las comunidades, en coherencia con el enfoque participativo de la IAP.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan a partir de un análisis comparativo entre las prácticas observadas en los contextos estudiados, organizados en ejes temáticos que permiten identificar convergencias y divergencias en la relación entre biotecnología agrícola regenerativa y saberes ancestrales. Estos

resultados se presentan en los Cuadros 1 al 5, con base en los ejes analíticos de manejo de suelo, gestión del agua, conservación de semillas, control biológico y cosmovisiones. Los resultados evidencian que en ambos contextos el manejo del suelo (Cuadro 1) se fundamenta en el uso de insumos biológicos y prácticas regenerativas, lo cual coincide con los planteamientos de Altieri y Nicholls

(2013), quienes destacan la importancia de la materia orgánica y la biodiversidad en la sostenibilidad agrícola. Asimismo, estas prácticas pueden ser interpretadas como formas de biotecnología de base cultural, en tanto implican el manejo intencional de procesos biológicos, articulando conocimiento empírico y observación ecológica.

Cuadro 1. Análisis comparativo sobre las prácticas de manejo del suelo.

Categoría	Venezuela (Yaracuy)	Chile (La Araucanía)	Análisis comparativo
Prácticas	Uso de compost, bo-cashi y materia orgánica	Uso de abonos naturales y manejo de cobertura vegetal	Ambas prácticas priorizan la regeneración del suelo mediante procesos biológicos
Enfoque	Productivo y ecológico	Espiritual y ecológico	En Chile se integra una dimensión cosmovisional más explícita
Finalidad	Mejorar fertilidad y rendimiento	Mantener equilibrio con la naturaleza	Coinciden en sostenibilidad, difieren en enfoque simbólico

La gestión del agua en ambos contextos (Cuadro 2) refleja estrategias adaptativas frente a condiciones ambientales específicas, en concordancia con lineamientos de sostenibilidad promovidos por la *Food and Agriculture Organization* (2020).

La diferencia radica en la dimensión cultural, donde en comunidades mapuche el agua es concebida como un elemento sagrado, lo cual refuerza prácticas de protección más allá de su uso productivo.

Cuadro 2. Análisis comparativo sobre la Gestión del agua.

Categoría	Venezuela	Chile	Análisis comparativo
Prácticas	Captación y almacenamiento de agua	Protección de vertientes naturales	Ambas orientadas a conservación del recurso hídrico
Enfoque	Funcional y adaptativo	Cultural y espiritual	En Chile el agua posee valor simbólico
Estrategia	Uso eficiente	Protección ecosistémica	Complementariedad entre eficiencia y conservación

La conservación de semillas constituye una práctica clave en ambos territorios (Cuadro 3), vinculada a la soberanía alimentaria y la resiliencia de los sistemas productivos. Estas prácticas coinciden con enfoques promovidos por organismos internacionales como la Food and Agriculture Organization,

que destacan la importancia de la diversidad genética en la seguridad alimentaria. En el caso chileno, el trafkintu representa además un espacio de transmisión cultural, lo que evidencia una mayor integración entre producción y cosmovisión.

Cuadro 3. Análisis comparativo sobre la Conservación de semillas

Categoría	Venezuela	Chile	Análisis comparativo
Prácticas	Intercambio local de semillas	Trafkintu (intercambio tradicional)	Ambas promueven diversidad genética
Objetivo	Adaptación productiva	Preservación cultural	Diferencia en énfasis
Resultado	Resiliencia agrícola	Identidad cultural	Convergencia en sostenibilidad

Las prácticas de control biológico observadas (Cuadro 4) evidencian una reducción significativa en el uso de agroquímicos, lo cual se alinea con los principios de la agroecología (Altieri y Nicholls, 2013).

Estas estrategias pueden ser consideradas biotecnológicas en tanto implican la manipulación de organismos vivos para el control de plagas, integrando conocimiento tradicional y principios ecológicos.

Cuadro 4. Análisis comparativo sobre el Control biológico

Categoría	Venezuela	Chile	Análisis comparativo
Prácticas	Uso de biopreparados	Asociaciones de cultivos	Ambas reducen uso de químicos
Enfoque	Técnico-empírico	Ecológico-integral	Diferencia en sistematización
Impacto	Control de plagas	Equilibrio ecosistémico	Convergencia en sostenibilidad

Las cosmovisiones representan uno de los elementos diferenciadores más significativos entre los contextos estudiados (Cuadro 5). Mientras que en Venezuela predomina un enfoque basado en la observación de ciclos naturales, en las comunidades mapuche se evidencia una concepción espiritual de la naturaleza.

Estos hallazgos se articulan con la propuesta de Boaventura de Sousa (2010), quien plantea la necesidad de reconocer la pluralidad epistemológica en la producción de conocimiento.

Cuadro 5. Análisis comparativo sobre Cosmovisiones.

Categoría	Venezuela	Chile	Análisis comparativo
Elementos	Calendario lunar, indicadores naturales	Itrofill mongen, Ñuke Mapu	Ambas integran naturaleza y cultura
Enfoque	Observacional	Espiritual	Mayor profundidad simbólica en Chile
Relación con la tierra	Productiva-armónica	Sagrada	Diferencias epistemológicas

CONCLUSIONES

El presente estudio permitió analizar la relación entre la biotecnología agrícola regenerativa y los saberes ancestrales en dos contextos territoriales de América Latina, evidenciando que las prácticas desarrolladas por comunidades campesinas en Venezuela y comunidades indígenas mapuche en Chile constituyen formas de biotecnología de

base cultural, fundamentadas en el manejo intencional de procesos biológicos en estrecha interacción con los ecosistemas.

En términos comparativos, se identificaron convergencias estructurales en aspectos clave como el manejo del suelo, la gestión del agua, la conservación de semillas y el control biológico, donde ambas comunidades priorizan la sostenibilidad, la

diversificación productiva y la preservación de la biodiversidad. Estos hallazgos coinciden con los planteamientos de Altieri y Nicholls (2013), quienes destacan la importancia de los sistemas agrícolas diversificados y ecológicamente equilibrados.

No obstante, las diferencias más significativas se ubican en el plano epistemológico y cultural, particularmente en las cosmovisiones que orientan la relación con la naturaleza. Mientras que en el contexto venezolano predomina un enfoque basado en la observación empírica de los ciclos naturales, en las comunidades mapuche se evidencia una comprensión espiritual del territorio, donde elementos como la ñuke mapu y el itrofill mongen configuran una relación sagrada con el entorno.

Estos resultados refuerzan la pertinencia del enfoque de diálogo de saberes y la necesidad de avanzar hacia una ecología de conocimientos, en los términos propuestos por Boaventura de Sousa Santos, reconociendo la validez de múltiples formas de producción de conocimiento en la construcción de alternativas sostenibles.

Desde el punto de vista metodológico, la aplicación de la Investigación-Acción Participativa, basada en los aportes de Orlando Fals Borda, permitió no solo la recolección de información, sino también la generación de espacios de interacción y construcción colectiva, fortaleciendo la comprensión contextualizada de las prácticas estudiadas.

En consecuencia, se concluye que la articulación entre biotecnología agrícola regenerativa y saberes ancestrales constituye un enfoque pertinente para el desarrollo de modelos agrícolas sostenibles y para la formación de profesionales en biotecnología con una perspectiva intercultural, territorial y éticamente comprometida con la sostenibilidad. Este enfoque implica trascender visiones reduccionistas de la ciencia, integrando conocimientos científicos y tradicionales en procesos formativos y productivos orientados al equilibrio ecológico y la justicia cognitiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri, M. A., and Nicholls, C. I. (2013). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(4), 869–890.
- Food and Agriculture Organization. (2020). *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*. FAO.
- Fals Borda, Orlando. (1986). *Investigación-acción participativa*. Bogotá: Editorial La Rosca.
- Boaventura de Sousa, Santos. (2010). *Descolonizar el saber, reinventar el poder*. Montevideo: Trilce.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Jara Holliday, O. (2018). *La sistematización de experiencias: práctica y teoría para otros mundos posibles*. Centro de Estudios y Publicaciones Alforja.

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).

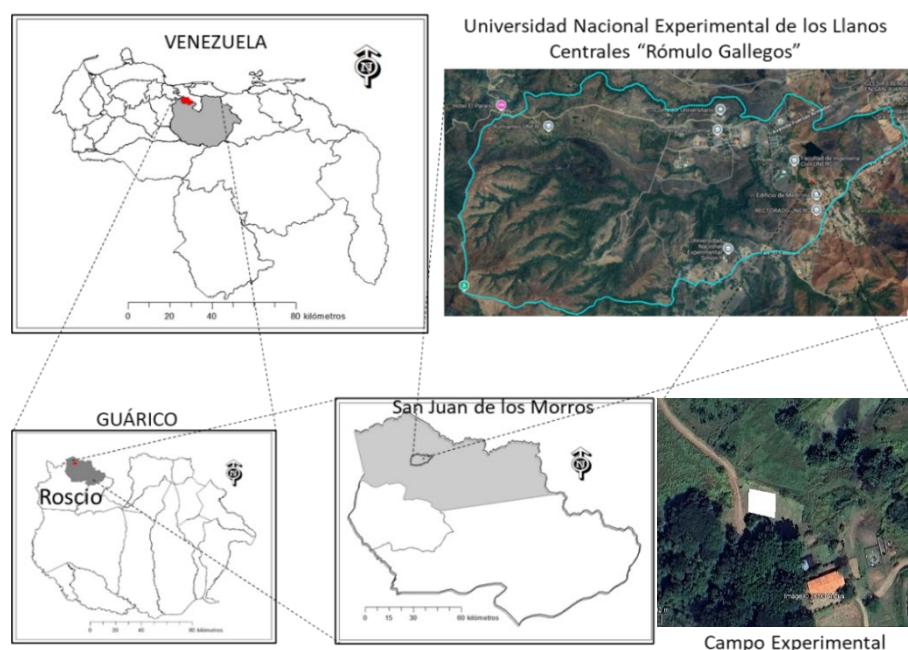


Figura 1. Ubicación relativa del área experimental en terrenos de la Universidad Rómulo Gallegos.

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.

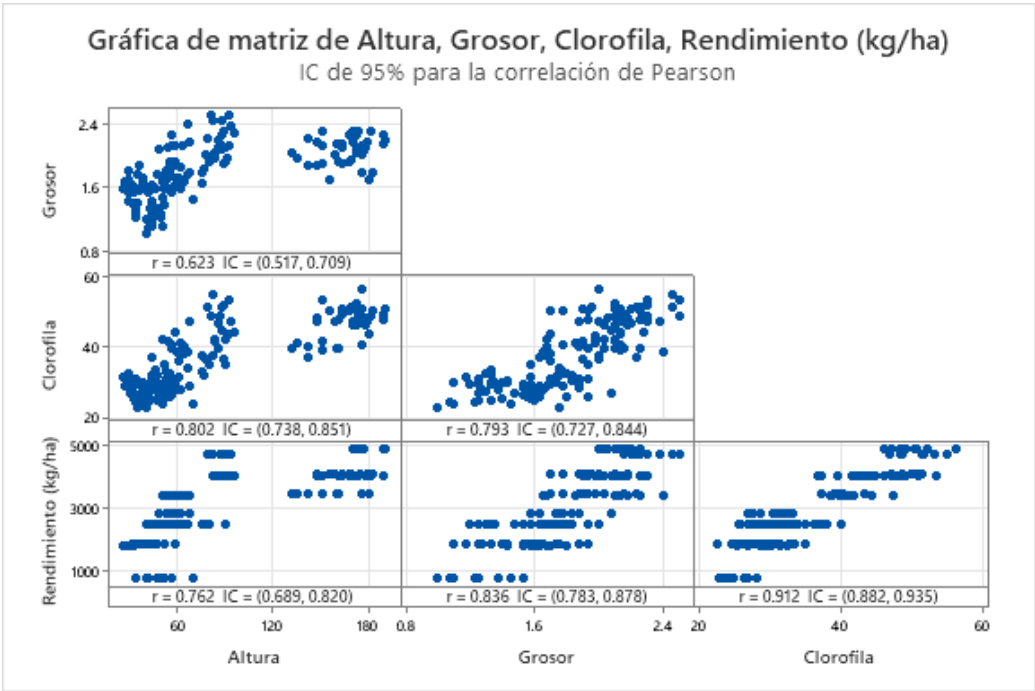


Figura 2. Correlación entre variables vegetativas y el rendimiento de maíz Pioneer (F2).

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.

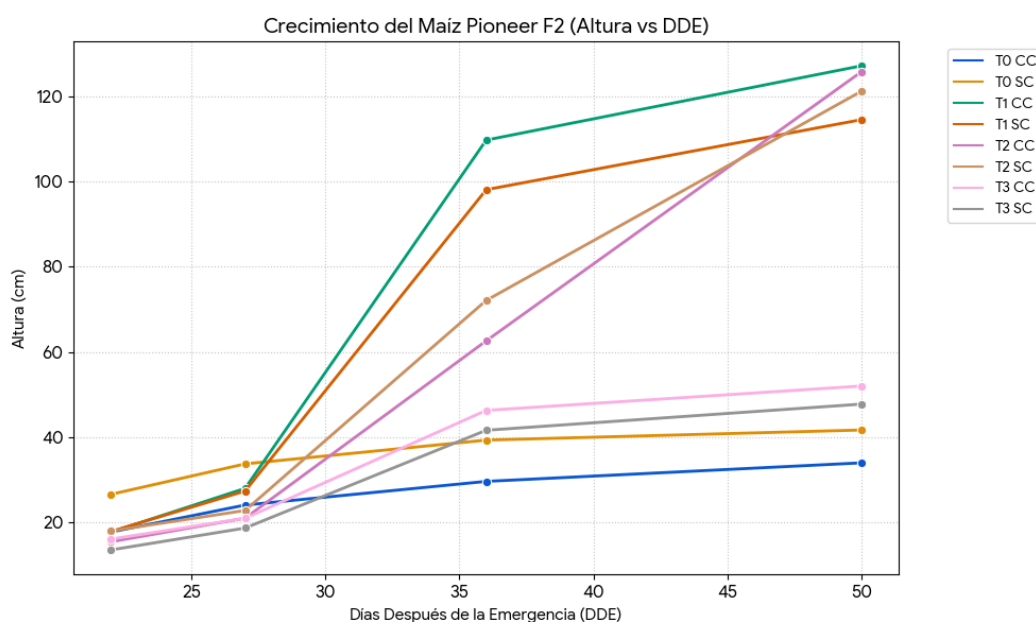


Figura 2. Variación de la altura de las plantas de maíz Pioneer (F2).

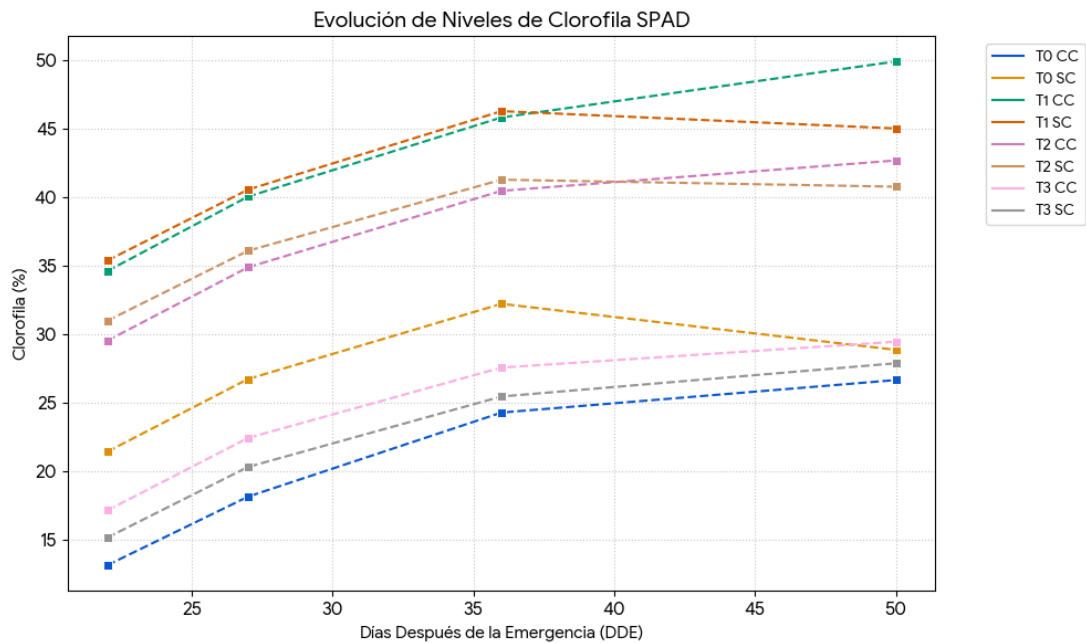


Figura 4. Variación de los niveles de clorofila en el cultivo de maíz.

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).

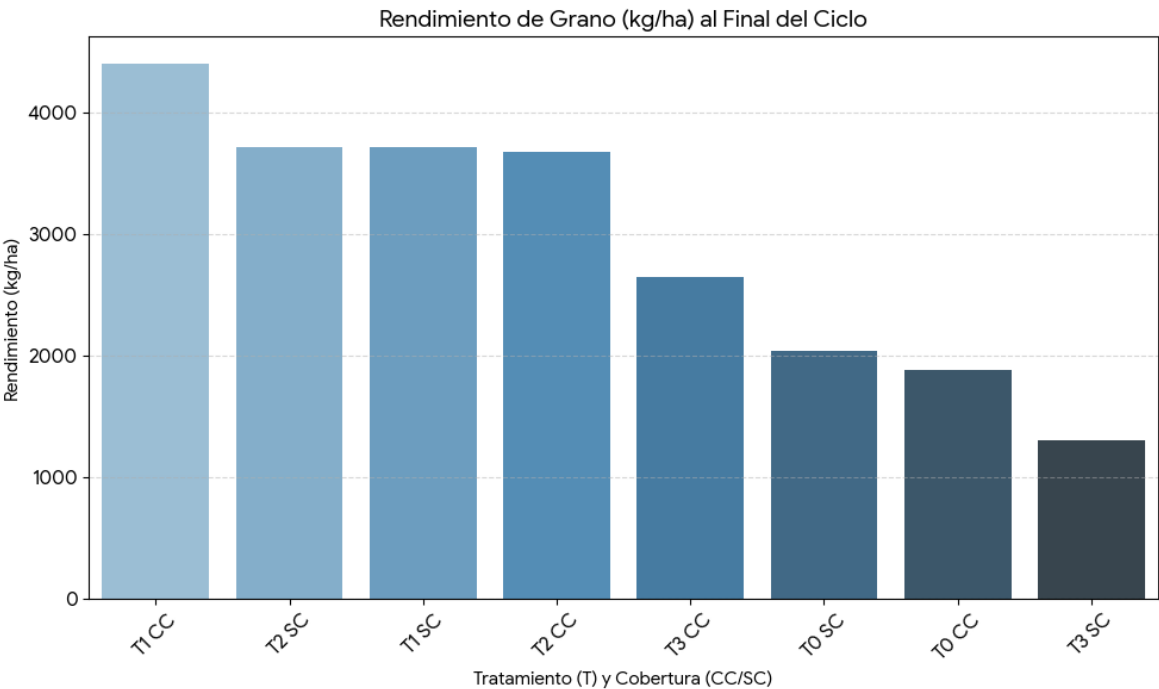


Figura 3. Rendimiento del cultivo por tratamiento y cobertura.

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.

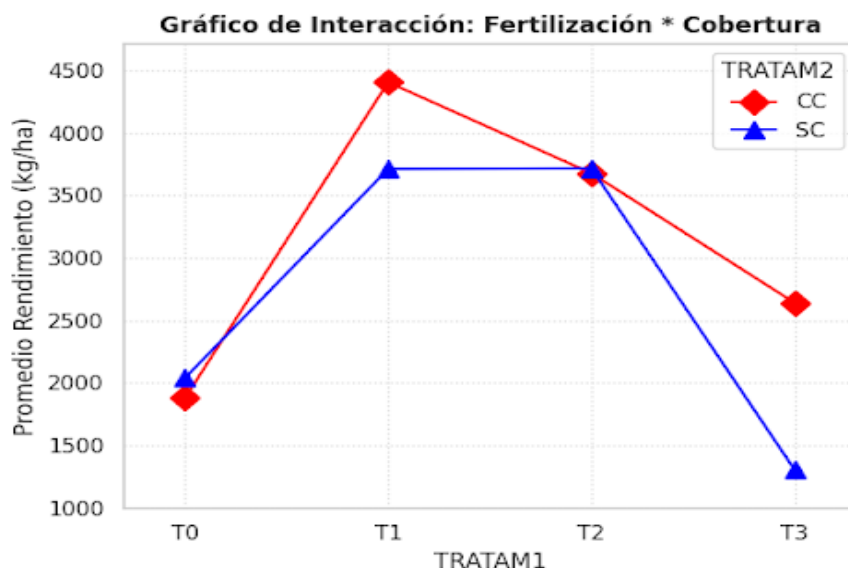


Figura 4. Interacción entre los tratamientos de fertilización y la cobertura.

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.

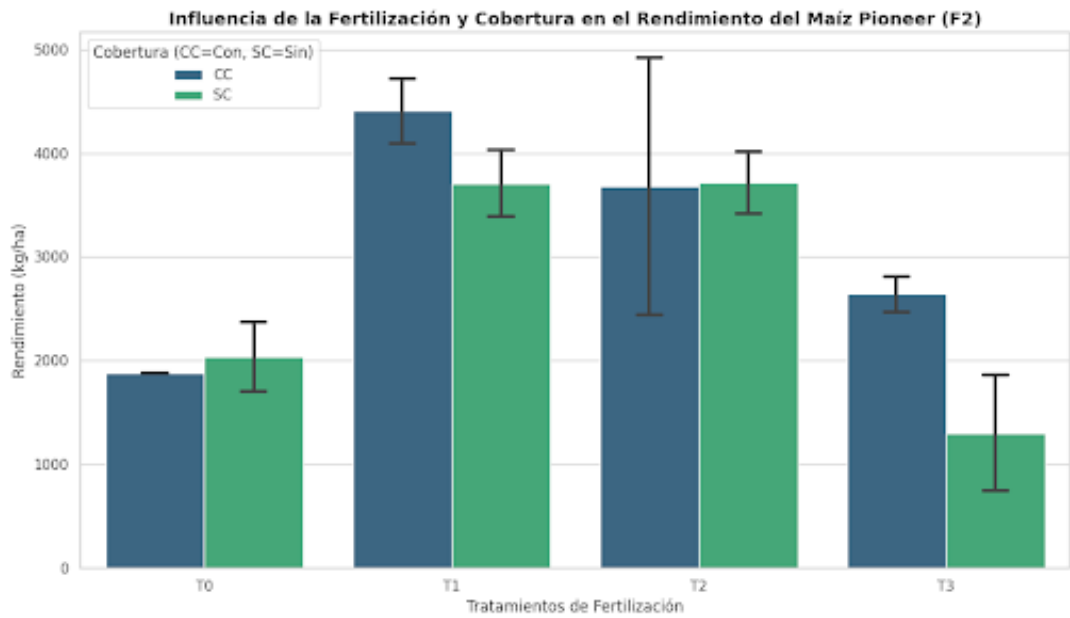


Figura 5. Influencia de la fertilización y cobertura en el rendimiento del maíz Pioneer (F2).

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/>

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CLASES DE FERTILIDAD DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO DE MAÍZ INIA-7.

Ángel Valera,^{1,2} Cándido Sumoza,^{1,2} William Tovar,^{1,2} Keiber Alvarado¹, Evert Bolívar¹

¹ Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales "Rómulo Gallegos". Área de Ingeniería Agronómica, San Juan de los Morros, Estado Guárico, Venezuela. **e-mail:** angelvalera@unerg.edu.ve, keiber24215.vl@gmail.com, evertbolivar@gmail.com; **Orcid:** <https://orcid.org/0009-0007-1819-0315>

² Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas de la Universidad Rómulo Gallegos (CIESA).

e-mail: sumagraz9@gmail.com, willtov@gmail.com

* Autor de correspondencia

Recibido: 24 /01 /2026; **Aceptado:** 20 /13 /2026; **Publicado:** 30 /06 /2026

RESUMEN

El conocimiento de la variabilidad espacial de las propiedades edáficas constituye un pilar fundamental para la implementación de estrategias de manejo de sitio específico en sistemas de producción agrícola tropical. El presente estudio evaluó la relación entre la distribución espacial de la fertilidad del suelo y el rendimiento del cultivar de maíz INIA-7 (*Zea mays* L.) en una parcela experimental de 2.000 m² ubicada en terrenos de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales "Rómulo Gallegos" (UNERG), en las inmediaciones de la Serranía del Interior venezolana. Se implementó un muestreo sistemático de alta densidad (n=80) para caracterización edáfica (0-20 cm) y evaluación agronómica del cultivo. Las variables de suelo analizadas incluyeron: pH, conductividad eléctrica (CE), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), materia orgánica (MO), distribución de tamaño de partículas (arena, arcilla, limo) y densidad aparente (Da). Las variables del cultivo comprendieron altura de planta, área foliar, grosor del tallo, contenido de clorofila (SPAD) y rendimiento de grano. La interpolación espacial se realizó mediante kriging ordinario (KO) tras el ajuste de modelos de semivariogramas, mientras que la clasificación de clases de fertilidad se ejecutó mediante el algoritmo neuro-difuso de agrupamiento de Kohonen (FKCN). Los resultados revelaron una fuerte dependencia espacial (efecto pepita <25%) para la mayoría de las propiedades edáficas, con modelos de semivariogramas predominantemente esféricos y pentasféricos. El algoritmo FKCN identificó cuatro clases de fertilidad distintas (FPI=0,424; $\phi=1,20$), presentando una alta homogeneidad interna y rangos de

rendimiento entre 3.461 y 7.286 kg/ha (media=5.263 kg/ha). La Clase 1 (moderadamente ácida, P bajo, K medio) alcanzó el mayor rendimiento promedio (5.493 kg/ha), mientras que la Clase 2 (pH neutro, P medio) registró el menor rendimiento (4.474 kg/ha), sugiriendo una respuesta compleja no lineal del genotipo a las condiciones edáficas. Los mapas de fertilidad validan la aplicabilidad de la agricultura de precisión para delimitar zonas de manejo homogéneas, permitiendo la transición hacia sistemas de aplicación de insumos a tasa variable que optimicen la eficiencia de uso de fertilizantes y maximicen la expresión del potencial genético del cultivar INIA-7 en condiciones tropicales. La integración de técnicas geoestadísticas y de inteligencia artificial constituye una metodología robusta para la caracterización espacial de la fertilidad en suelos de venezolanos, contribuyendo a la sostenibilidad productiva de sistemas agrícolas en sectores con limitaciones severas de fertilidad.

Palabras clave: *Zea mays*, cartografía digital de suelos; FKCN; geoestadística; variabilidad espacial.

SPATIAL DISTRIBUTION OF SOIL FERTILITY CLASSES AND THEIR RELATIONSHIP WITH INIA-7 MAIZE YIELD

ABSTRACT

Knowledge of the spatial variability of edaphic properties constitutes a fundamental pillar for the implementation of site-specific management strategies in tropical agricultural production systems. The present study evaluated the relationship between the spatial distribution of soil fertility and the yield of the INIA-7

maize cultivar (*Zea mays* L.) in a 2,000 m² experimental plot located on lands of the Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales "Rómulo Gallegos" (UNERG), in the vicinity of the Venezuelan Interior Mountain Range. A high-density systematic sampling scheme (n=80) was implemented for edaphic characterization (0–20 cm) and agronomic evaluation of the crop. The soil variables analyzed included: pH, electrical conductivity (EC), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), organic matter (OM), particle size distribution (sand, clay, silt), and bulk density (BD). The crop variables comprised plant height, leaf area, stem diameter, chlorophyll content (SPAD), and grain yield. Spatial interpolation was performed through ordinary kriging (OK) following the fitting of semivariogram models, whereas fertility class classification was executed by means of the Kohonen fuzzy-neuro clustering algorithm (FKCN). The results revealed strong spatial dependence (nugget effect <25%) for the majority of edaphic properties, with predominantly spherical and pentaspherical semivariogram models. The FKCN algorithm identified four distinct fertility

classes (FPI=0.424; $\phi=1.20$), exhibiting high internal homogeneity and yield ranges between 3,461 and 7,286 kg/ha (mean=5,263 kg/ha). Class 1 (moderately acidic, low P, medium K) achieved the highest average yield (5,493 kg/ha), whereas Class 2 (neutral pH, medium P) recorded the lowest yield (4,474 kg/ha), suggesting a complex nonlinear genotypic response to edaphic conditions. The fertility maps validate the applicability of precision agriculture for delineating homogeneous management zones, enabling the transition toward variable-rate input application systems that optimize fertilizer use efficiency and maximize the expression of the genetic potential of the INIA-7 cultivar under tropical conditions. The integration of geostatistical techniques and artificial intelligence constitutes a robust methodology for the spatial characterization of fertility in Venezuelan soils, contributing to the productive sustainability of agricultural systems in sectors with severe fertility limitations.

Keywords: *Zea mays*, digital soil mapping; FKCN; geostatistics; spatial variability.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal estratégico por excelencia en Venezuela, fundamental para la seguridad alimentaria de la nación. El Estado Guárico, ubicado en la subregión de los Llanos Centrales, es un epicentro de la actividad agrícola nacional, reportando cifras récord de siembra en ciclos recientes, con rendimientos que frecuentemente superan los 5.000 kg/ha. Dentro de las opciones genéticas empleadas, la variedad INIA-7 se ha consolidado como una alternativa de alto valor agronómico. Este cultivar se caracteriza por su excelente adaptación a las condiciones climáticas y edáficas locales, exhibiendo resistencia a enfermedades comunes como punta loca, tizón sureño y roya, y un alto potencial productivo, usualmente superior a 6.000 kg/ha en condiciones óptimas de manejo (Schargel, 2015). La elección de esta variedad en parcelas experimentales dentro de la Universidad Nacional de los Llanos

Centrales "Rómulo Gallegos" (UNERG) permitió evaluar la respuesta agronómica bajo un genotipo conocido y adaptado.

Los suelos de los Llanos Centrales venezolanos, clasificados predominantemente como Ultisoles o Alfisoles, son conocidos por su susceptibilidad a la degradación, ya sea por factores climáticos (lluvias de alto poder erosivo) o por prácticas de manejo intensivo, como la labranza convencional.¹ Desde el punto de vista químico, estos suelos se caracterizan comúnmente por su acidez (bajo pH), bajo contenido de materia orgánica (MO), y deficiencias marcadas de fósforo (P) y bases intercambiables (Potasio, Calcio, Magnesio) (Ramírez, 2006).

Para contrarrestar estas limitaciones, la aplicación de fertilizantes es indispensable. En el presente estudio, se adoptó una práctica de fertilización de tasa fija, que incluyó 350 kg/ha de la fórmula completa 10-26-26 a los 8 días después de la siembra (DDS) y un reabono de 100 kg/ha de Urea

(fuente de N) a los 30 DDS. Si bien esta estrategia proporciona las altas cantidades de P y K necesarias para el arranque del cultivo en suelos fijadores de P, la respuesta del cultivo puede ser sumamente variable. La aplicación uniforme de insumos ignora la heterogeneidad espacial inherente a las propiedades del suelo, lo que resulta en la sobre-aplicación de nutrientes en algunas áreas y la sub-aplicación en otras, comprometiendo la eficiencia económica y ambiental.

La productividad del maíz en cualquier campo está determinada por la compleja interacción de factores genéticos, ambientales y de manejo. La variabilidad espacial de las propiedades edáficas, incluso en parcelas de tamaño reducido (2.000 m²), es un fenómeno demostrado que requiere herramientas avanzadas para su cuantificación y gestión (Cambardella et al., 1994).

La cartografía digital de suelos (DSM, *Digital Soil Mapping*), también conocida como cartografía predictiva de suelos (Scull et al., 2003) o mapeo pedométrico, consiste en la producción asistida por computadora de mapas digitales de los tipos y propiedades del suelo. El mapeo de suelos, en general, implica la creación y el llenado de información espacial del suelo mediante el uso de métodos de observación de campo y laboratorio, junto con sistemas de inferencia de suelos espaciales y no espaciales.

A través de los avances tecnológicos, existe una aplicación integral de métodos para el estudio de los suelos, mediante la utilización de datos ambientales auxiliares derivados del procesamiento de imágenes de satélite y modelos digitales de elevación. Entre estos se encuentran los métodos geoestadísticos, y los algoritmos de

aprendizaje automático, como la regresión lineal múltiple, las redes neuronales artificiales, la máquina de vectores de soporte, los árboles de decisión, la regresión cubista y los bosques aleatorios.

Muchos de los trabajos publicados sobre cartografía digital de suelos se han centrado en la representación cartográfica de la variación espacial de propiedades edáficas individuales (e.g. Zhu et al., 2006; Yang et al., 2007), y son diversos los usos empleando herramientas geoestadísticas. La Geoestadística, utilizando el análisis de semivariogramas, es la metodología de elección para caracterizar la dependencia espacial de las variables, y su posterior interpolación en áreas no muestreadas. El semivariograma permite determinar si la variabilidad de una propiedad, como el pH o el contenido de P, está estructurada espacialmente y hasta qué distancia (Rango) esta dependencia se mantiene. Posteriormente, el método de Kriging Ordinario (KO) utiliza esta estructura espacial definida por el semivariograma para interpolar valores en puntos no muestreados, produciendo mapas temáticos de distribución continua y con un error de estimación cuantificable. La generación de estos mapas es el paso fundamental en la agricultura de precisión para la delimitación de zonas de manejo homogéneas y la posterior aplicación de insumos a tasa variable.

Dentro de los algoritmos automáticos existen diversas opciones para apoyar la cartografía digital de suelos. Dentro de estas se encuentran las técnicas de análisis espacial basadas en inteligencia artificial, tales como la lógica difusa y las redes neuronales artificiales (RNA), las cuales son fundamentales para la clasificación digital de unidades de suelos y unidades

geomorfológicas (Ehsani y Quiel, 2008; Vilorio *et al.*, 2016). La combinación de la potencialidad de los conjuntos difusos y las RNA ha desarrollado una técnica integral de clasificación no supervisada denominada red de agrupamiento difuso de Kohonen o *Fuzzy Kohonen Clustering Network* (FKCN) (Lin y Lee, 1996; Bezdek *et al.*, 1992), que conjuga un algoritmo de mapas autoorganizados o *self organizing map* (SOM) (Kohonen, 1982) y el algoritmo *Fuzzy C-means* (FCM) (Bezdek, 1981). La red de agrupamiento difuso de Kohonen (FKCN) es una red neuronal difusa autoorganizada que utiliza valores de membresía difusa del algoritmo *Fuzzy c-Means* como tasas de aprendizaje, produciendo mejores resultados de agrupamiento, donde las membresías multivariadas o grados de similitud permiten tener en cuenta las estructuras de dispersión intraclase e interclase de los datos de entrada (Viloria *et al.*, 2016).

Tomando en cuenta la importancia del cultivo de maíz para diversas regiones venezolanas, la constante generación de datos de laboratorio sobre análisis de suelos con fines de fertilidad, y la disponibilidad de diversas técnicas de cartografía digital para evaluar la distribución espacial de propiedades y clases de suelo, en el Instituto para el Desarrollo Sostenible de Sistemas Agroambientales (IDESSA) se establecieron los siguientes objetivos: i) Aplicar técnicas de cartografía digital para caracterizar la variabilidad espacial de las propiedades físicas y

químicas del suelo (pH, P, K, MO, textura) en una parcela experimental de la UNERG; i) Generar mapas de distribución espacial de variables químicas y físicas del suelo, y del cultivo de maíz INIA-7; ii) Generar clases de fertilidad del suelo con la aplicación del algoritmo FKCN para identificar zonas de manejo agronómico que validen la transición hacia la aplicación de insumos a tasa variable en la parcela experimental; y iii) Relacionar las clases de fertilidad del suelo con el rendimiento del maíz INIA-7 mediante el análisis espacial de los mapas de suelo y rendimiento del cultivo de maíz. baja fertilidad química.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y Caracterización del Área de Estudio

El trabajo experimental se llevó a cabo en una parcela de investigación con una superficie total de 2.000 m² (0.20 ha), ubicada en los terrenos del Instituto de Desarrollo de Sistemas Ambientales (IDESSA) 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 (Figura 1). La zona se enmarca en la subregión de los Llanos Centrales dominada por la Serranía del Interior, caracterizada por un clima de Bosque Seco Tropical y suelos que, debido a su génesis y manejo histórico, presentan ciertas limitaciones significativas en fertilidad química y física.

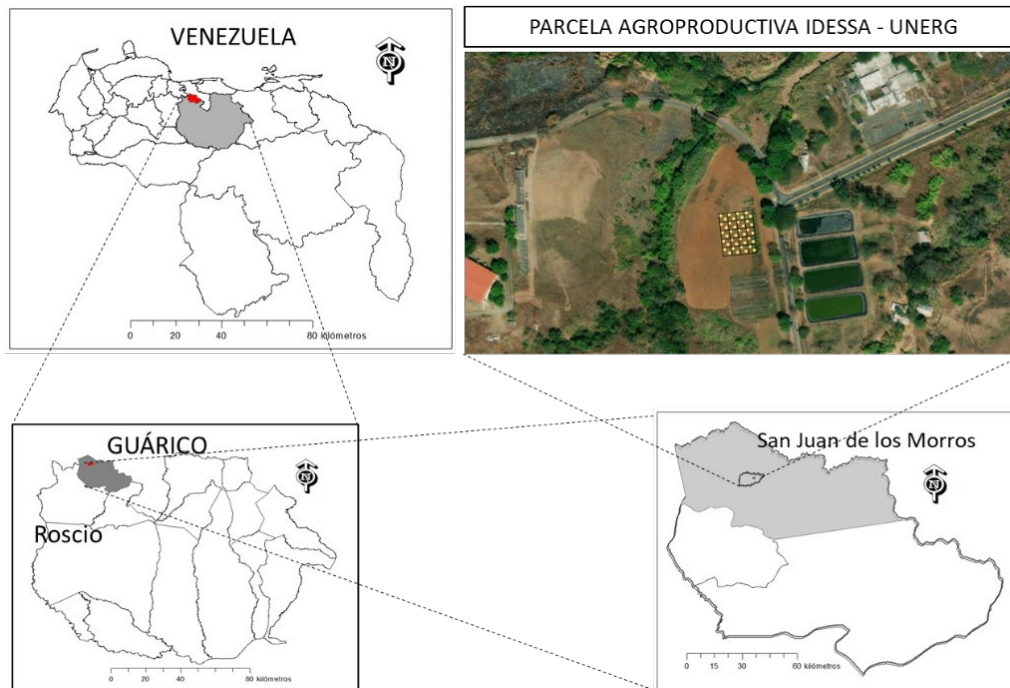


Figura 1. Ubicación relativa del área experimental en terrenos de la Universidad Rómulo Gallegos.

Muestreo de suelos

Para la evaluación de los suelos se realizó un muestreo sistemático en terrenos del Instituto para el Desarrollo Sostenible de Sistemas Agroambientales (IDESSA) de la Universidad Rómulo Gallegos. El muestreo se realizó en el horizonte superficial a 20 cm de profundidad, en cuadrículas espaciadas a 20 m, para un total de 80 muestras de suelos en una superficie de 2.000 m² (Figura 2). Cada punto de muestreo fue georreferenciado con apoyo de un sistema de posicionamiento global (GPS). A las muestras superficiales se les realizó un diagnóstico con fines de fertilidad, utilizando las metodologías del Laboratorio de análisis de suelos del Centro de Investigación en Suelos y Aguas de la Universidad Rómulo Gallegos (CIESA-UNERG). Se analizaron once variables de suelo: pH en agua (1:2,5), conductividad eléctrica en agua 1:5 (CE, dSm⁻¹), materia orgánica (MO, %), fósforo disponible (P, mgkg⁻¹), potasio asimilable (K, mgkg⁻¹), calcio (Ca, mgkg⁻¹) y magnesio

disponible (Mg, mgkg⁻¹), las cantidades relativas de arena, limo y arcilla (%), y la densidad aparente (g cm³).

Manejo del Cultivo

Se utilizó el cultivar de maíz amarillo INIA-7, siguiendo las prácticas agronómicas recomendadas para la siembra en la región. La variedad de maíz amarillo INIA-7 es producto del trabajo de mejoramiento genético que desarrolla el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) Portuguesa desde el año 2007, y es muy popular en los campos venezolanos. Esta variedad se caracteriza por ser un maíz de granos amarillos, y representa una opción tecnológica para la sostenibilidad de los sistemas de producción de pequeños y medianos productores de maíz del país, ya que posee un potencial de rendimiento alto, buenas características agronómicas y un amplio margen de adaptación ambiental (FAO, 2023).

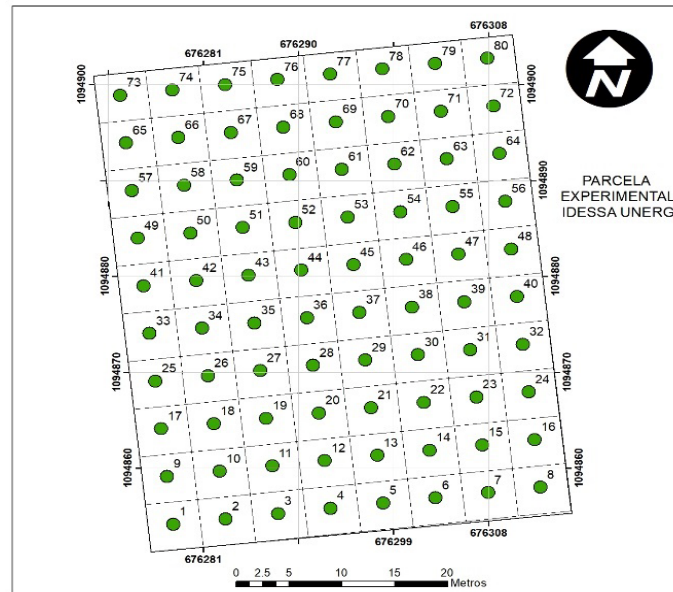


Figura 2. Distribución de los puntos de muestreo de suelos y del cultivo.

La siembra se realizó en forma manual a una distancia entre plantas de 0,20m y una distancia entre hileras de 0,90m para una población de 55.000 plantas/ha, emulando el sistema tradicional a escala de pequeños productores. La fecha de siembra fue el 26 de junio de 2025 y la cosecha se realizó el 27 de noviembre de 2025.

El régimen de fertilización se mantuvo uniforme a lo largo de toda la parcela, buscando replicar una práctica de manejo convencional: a) Fertilización de Base (8 DDS): Aplicación de 350 kg/ha de la fórmula completa NPK 10-26-26. Esta fórmula es altamente concentrada en P y K, respondiendo a la necesidad de estos nutrientes en los suelos fijadores de fósforo de la región. b) Reabono Nitrogenado (30 DDS): Aplicación de 100 kg/ha de Urea para satisfacer la alta demanda de nitrógeno del maíz durante su fase vegetativa crítica.

En el ciclo vegetativo y reproductivo del cultivo se evaluaron cinco variables clave del cultivo en la etapa de madurez o llenado de grano: Altura de la planta (cm), Grosor

del tallo (mm), Área foliar promedio (cm²), Porcentaje de Clorofila (%Clorofila o unidades SPAD), utilizado como un indicador rápido y no destructivo del estado nutricional de nitrógeno (N) en la planta, y Rendimiento del cultivo (kg/ha). La alta densidad de muestreo utilizada fue fundamental para capturar la variabilidad intrínseca a escala de micro parcelas, asegurando la precisión de los parámetros geoestadísticos a distancias cortas. Las coordenadas de cada punto se registraron con un dispositivo GPS de alta precisión. En cada cuadrícula se realizaron evaluaciones del cultivo en plantas de tres hileras distintas.

Análisis Estadístico

Los datos de las variables edáficas y del cultivo se sometieron a un análisis exploratorio (AED) con apoyo del programa Minitab 20.0®, con el propósito de determinar los estadísticos descriptivos, tales como: media, mediana, varianza, coeficiente de variación, valores máximos y mínimos, y los índices de asimetría y

curtosis. Se utilizó la metodología de cercas externas e internas de Tukey (1977), con el fin de detectar la presencia de valores atípicos. Adicionalmente se realizaron prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para evaluar la distribución de los datos, y pruebas de correlación de *Pearson* entre las variables del suelo y del cultivo de maíz INIA-7.

Interpolación de las propiedades del suelo

Para la interpolación de las propiedades del suelo se utilizó el método geoestadístico *kriging* ordinario, el cual utiliza un modelo de semivariograma para la obtención de los pesos que se asignan a cada punto de referencia empleado en la estimación del valor de las variables regionalizadas que presentan dependencia espacial. El semivariograma es definido por la función de la semivarianza [$\gamma(h)$], la cual se estima con la siguiente expresión (Upchurch y Edmonds, 1991; Ovalles, 1992):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{N(h)} [z(x_i) - z(x_{i+h})]^2 \quad (1)$$

donde N es el número de pares de puntos separados por una determinada distancia h ; $z(x_i)$ es el valor de la variable en una localidad x ; $z(x_{i+h})$ es el valor que toma la variable en otra localidad ubicada a una distancia h de x (Ovalles y Rey, 1994). El semivariograma contiene la información referente a la variable regionalizada, cuyos parámetros son: la varianza *nugget* (C_0), la varianza estructural (C_1), el umbral ($C_0 + C_1$) y el alcance (A_1), que indica la distancia dentro de la cual existe dependencia espacial [Burrough, 1986; Grunwald et al., 2011]. La estimación de los semivariogramas empíricos de las propiedades del suelo, y el ajuste a modelos

matemáticos se realizó con el programa *Vesper* 1.6 (Minasny et al., 2002). Con los parámetros ajustados se obtuvieron los estimados óptimos de las variables edáficas en los sitios no muestreados, a través de la interpolación con el método *kriging* ordinario (Webster y Oliver, 1990).

Los modelos de variación espacial de los atributos del suelo y del cultivo fueron generados con el total de los datos. La validación de la precisión de los mapas se realizó mediante validación cruzada y el cálculo de 5 (cinco) índices de error: Error Medio (EM), Error Cuadrático Medio (ECM), Error Medio Absoluto (EMA), Error Medio Estandarizado (EME), Raíz del Error Cuadrático Medio (RECM), Raíz del Error Cuadrático Medio Estandarizado (RECME) y Error Estándar Promedio (EEP) (Valera et al., 2023).

Modelo de Clases de Fertilidad de Suelo

Para la obtención de los modelos representativos de las clases de fertilidad del suelo se utilizó el algoritmo neuro-difuso FKCN implementado en ambiente Java (Windows) por Vilorio (2007; 2012). La arquitectura de la red neuronal FKCN utilizada en el análisis consta de tres capas (Figura 3). La capa de entrada contiene los valores normalizados de las once (11) variables edáficas procedentes de los modelos de predicción de variables del suelo. La capa de distancias incluye las neuronas equivalentes al número preestablecido de clases digitales de suelo y la tercera capa calcula la función de pertenencia de cada celda a cada una de las clases de suelo, basada en las distancias calculadas en la capa anterior y los valores preestablecidos del coeficiente difuso (ϕ). En la capa de distancia se calcula la separación d_{ij} existente entre un patrón de

entrada X_j y el peso del nodo w_i , con $i = 1, 2, \dots, c$, donde c representa el número de clases del modelo a estimar. Posteriormente, la capa de membresía grafica las distancias d_{ij} en valores de membresía U_{ij} , donde U_{ij} representa el grado de pertenencia de un patrón de entrada X_j a una clase c . Se debe tener en cuenta que a lo largo del proceso de aprendizaje ocurre una retroalimentación de la capa de funciones de pertenencia a la capa de distancia, con la finalidad de ajustar los centros de clase. Las variables del suelo fueron agrupadas en una matriz de datos para la aplicación del sistema FKCN, lo que **Integración Suelo-Cultivo y Análisis Espacial**

La relación entre clases de fertilidad y rendimiento del cultivo fue evaluada mediante reintegración de los mapas de rendimiento y clases de suelo mediante el algoritmo FKCN, generando estadísticas

permitió evaluar el agrupamiento de píxeles con diversos números de clases (2 a 6) y diferentes coeficientes difusos ($\phi = 1, 1$ a $1, 4$). A las clases de fertilidad obtenidas se les asignó el significado edafológico a través de la interpretación de su distribución espacial, las descripciones de los centroides de clases, y las matrices de los valores de similitud obtenidos mediante el algoritmo FKCN (Valera, 2018; Valera y Arias, 2025), conjuntamente con la información de los análisis de los suelos de la parcela experimental.

zonales (rendimiento mínimo y máximo, media, desviación estándar, coeficiente de variación) para cada categoría de manejo. La significancia de las diferencias entre clases fue evaluada mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

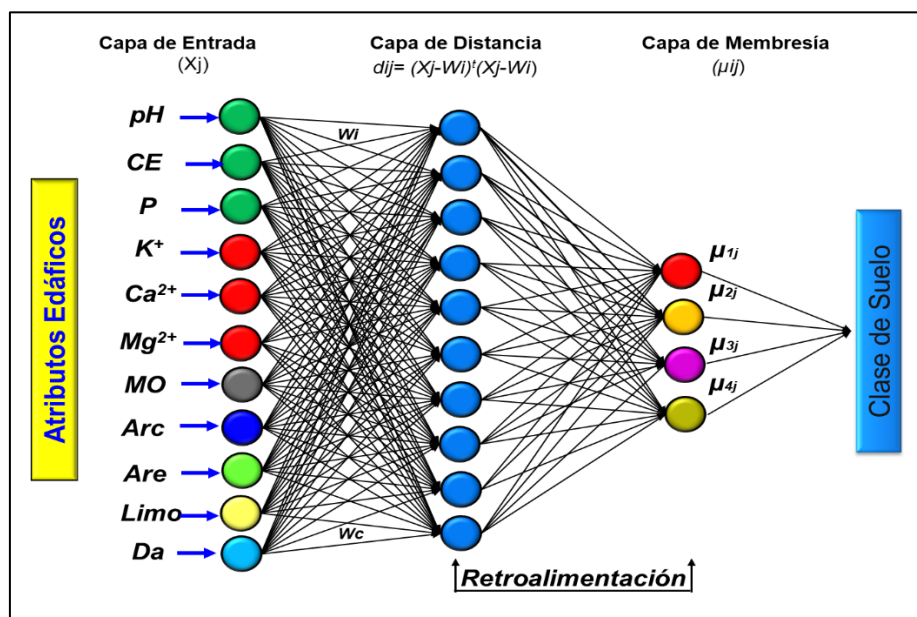


Figura 3. Estructura de la red neuronal difusa empleada en la predicción de clases de suelo.

Adaptado de Valera y Orta (2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estadísticos descriptivos de variables edáficas y del cultivo

Los estadísticos descriptivos de las variables de suelo (Cuadro 1) revelaron amplios rangos de variación para nutrientes críticos, con coeficientes de variación (CV) que oscilaron entre 5,0% (arcilla) y 53,5% (fósforo). El fósforo disponible presentó la mayor variabilidad (CV=53,5%; rango 1-19 mg/kg), seguido por la conductividad eléctrica (CV=36,7%) y el potasio (CV=25,1%), consistente con la alta heterogeneidad espacial reportada para nutrientes dinámicos en suelos tropicales

ácidos (Sánchez y Salinas, 1990; Bhagwan *et al.*, 2025).

El pH presentó distribución próxima a la normalidad ($As=0,52$) con valores entre 5,69 y 6,85 (media=6,23), indicando condiciones de moderadamente ácidas a ligeramente ácidas típicas de suelos con marcado grado de evolución en la zona (IAEA, 2000). La materia orgánica mostró valores entre 1,25 y 2,21% (media=1,90%; CV=13,8%), reflejando niveles moderadamente bajos asociados a prácticas de labranza convencional y climas tropicales cálidos que aceleran la mineralización (Sánchez *et al.*, 1982).

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos de los atributos químicos y físicos del suelo.

Variable	Min	Max	μ	Xd	k	As	S	S ²	CV (%)
pH (1:2,5)	5,69	6,85	6,23	6,20	1,02	0,52	0,05	0,22	3,6
CE (dS m ⁻¹)	0,11	0,49	0,17	0,15	17,73	3,71	0,06	0,00	36,7
P (mg kg ⁻¹)	1	19	8	9	-0,02	0,21	4,30	18,4	53,5
K (mg kg ⁻¹)	32	96	63	60	-0,74	0,22	15,7	248	25,1
Ca (mg kg ⁻¹)	640	1.900	1.104	1.040	4,49	1,60	234,7	55.115	21,3
Mg (mgkg ⁻¹)	160	423	312	315	0,97	-0,50	56,7	3224	18,2
MO (%)	1,25	2,21	1,90	1,95	0,42	-1,10	0,26	0,07	13,8
Arcilla (%)	32,3	38,3	34,5	34,3	-0,53	0,36	1,72	2,95	5,0
Arena (%)	29,2	39,2	34,2	33,3	-0,24	0,22	2,52	6,36	7,4
Limo (%)	26,4	36,4	31,0	30,4	-0,53	0,50	2,64	6,96	8,4
Da (gcm ³)	1,11	1,78	1,33	1,34	0,61	0,54	0,02	0,15	11,2

Las variables agronómicas del cultivo (Cuadro 2) mostraron variabilidad moderada a alta, con rendimientos que oscilaron entre 3.461 y 7.286 kg/ha (media=5.263 kg/ha; CV=14,1%). Esta amplitud de variación (>50% entre mínimo y máximo) en una parcela de solo 0,20 ha evidencia la intensa variabilidad espacial de la productividad en sistemas tropicales, consistente con reportes de Kihara *et al.* (2023) en Nigeria y

Bhagwan *et al.* (2025) en la India, quienes encontraron rangos similares de variación en parcelas experimentales de maíz bajo condiciones de fertilización uniforme.

El área foliar presentó el mayor coeficiente de variación (CV=13,7%), seguida por el rendimiento (CV=14,1%), sugiriendo que la variabilidad en la acumulación de biomasa foliar se traduce en diferencias significativas de producción de grano. La altura de planta

y grosor del tallo mostraron menor características estructurales al ambiente variabilidad ($CV \approx 10\%$), indicando una edáfico heterogéneo (CIMMYT, 2022). respuesta más conservadora de

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de las variables del cultivo de maíz INIA-7.

Variable	Min	Max	μ	Xd	k	As	S	S ²	CV (%)
Altura de planta (cm)	122	195	161,9	161,2	-0,29	-0,05	16,3	265,6	10,1
Grosor del tallo (mm)	16	25	19,9	19,9	-0,10	0,17	1,9	3,8	9,8
Área Foliar (cm ²)	384	876	625,2	617,6	0,70	0,29	85,6	7.335,0	13,7
Clorofila (%)	31	63	51,7	52,00	3,05	-0,77	4,8	23,1	9,3
Rendimiento (kg/ha)	3.461	7.286	5.263	5.328	0,28	-0,14	740,1	547.675	14,1

Relaciones Suelo-Cultivo

Con relación a las correlaciones entre las variables edáficas y del cultivo, los resultados se indican en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Resultados de la correlación entre variables química, físicas y atributos del cultivo.

Variable	pH (1:2,5)	CE (dS/m)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	MO (%)	Arc (%)	Are (%)	Limo (%)	Da (g/cm ³)
pH (1:2,5)	1										
CE (dS/m)	0.20	1									
P (mg/kg)	-0.06	0.16	1								
K (mg/kg)	0.07	0.33	0.54	1							
Ca(mg/kg)	-0.03	0.03	-0.16	-0.08	1						
Mg (mg/kg)	-0.11	0.12	-0.26	-0.33	0.50	1					
MO (%)	-0.13	-0.08	0.07	0.20	0.15	0.06	1				
Arc (%)	-0.42	-0.17	0.13	-0.05	-0.01	-0.03	0.03	1			
Are (%)	0.19	-0.14	0.06	0.28	-0.08	-0.22	-0.04	-0.39	1		
Limo (%)	0.08	0.26	-0.15	-0.26	0.10	0.25	0.02	-0.27	-0.78	1	
Da (g/cm ³)	-0.12	0.29	0.21	0.27	-0.28	-0.32	-0.13	-0.06	-0.15	0.20	1
Altura (mm)	0.15	0.14	0.13	0.15	-0.08	-0.05	-0.36	-0.09	0.15	-0.10	0.11
Grosor (mm)	-0.16	0.04	-0.30	-0.33	-0.03	0.25	-0.01	0.10	-0.25	0.20	0.07
Area F. (cm ²)	0.14	0.19	0.13	0.10	-0.24	-0.16	-0.58	-0.25	0.18	-0.02	0.12
Clorofila (%)	0.12	-0.15	-0.03	-0.32	-0.23	-0.05	-0.47	0.02	0.10	-0.12	0.00
Rend (kg/ha)	-0.02	0.11	-0.36	-0.06	0.05	0.00	0.34	-0.05	0.05	-0.01	0.07

El análisis de correlación de Pearson (Cuadro 3) reveló asociaciones complejas entre variables edáficas y agronómicas. La materia orgánica mostró correlación positiva moderada con el rendimiento ($r=0,34$; $p<0,01$), consistente con su rol como reservorio de nutrientes y regulador de la capacidad de retención hídrica en suelos tropicales (Sánchez y Salinas, 1990; IAEA, 2000). Sin embargo, la correlación negativa entre MO y área foliar ($r=-0,58$) sugiere posibles efectos de sombreado o exceso de humedad en zonas con mayor contenido de materia orgánica, fenómeno reportado por Enciso-Santacruz *et al.* (2025) en sistemas de siembra directa bajo condiciones tropicales.

La correlación positiva entre materia orgánica y rendimiento ($r=0,34$), aunque moderada, subraya la importancia de prácticas de manejo que incrementen los contenidos de carbono orgánico en suelos tropicales degradados. Estudios recientes en Nigeria (Kihara *et al.*, 2023) y Kenya (Koch *et al.*, 2004) han demostrado que incrementos de 0,5-1,0% en MO pueden generar mejoras de rendimiento de 500-800 kg/ha en maíz, independientemente de la aplicación de fertilizantes minerales, por efectos en la retención hídrica, provisión de N mineralizado y mejora de la estructura del suelo.

Los nutrientes individuales (P, K, Ca, Mg) mostraron correlaciones débiles con el rendimiento ($r<0,15$), indicando que la respuesta del cultivo no depende linealmente de la disponibilidad de un único nutriente, sino de interacciones complejas entre la fertilidad química, la estructura física del suelo y factores de manejo (Koch

et al., 2004; Munna *et al.*, 2024). Esta no-linealidad justifica el empleo de técnicas de inteligencia artificial como FKCN para capturar relaciones multivariadas entre suelo y productividad (Ehsani y Quiel, 2008).

La altura de planta y área foliar mostraron correlación positiva entre sí ($r=0,54$), formando un índice compuesto de vigor vegetativo que, sin embargo, no se tradujo directamente en mayor rendimiento de grano, sugiriendo que el cultivar INIA-7 puede presentar acumulación excesiva de biomasa vegetativa en condiciones de alta fertilidad nitrogenada sin necesariamente incrementar la eficiencia de removilización hacia los granos (CIMMYT, 2022).

Análisis Geoestadístico de atributos edáficos y del cultivo

La estimación de los semivariogramas empíricos de las variables del suelo, fueron ajustados a modelos matemáticos esféricos, exponenciales, estables, cuadráticos, cilíndricos, basados en ecuaciones diferenciales (*J-Bessel*) y sinusoidal (efecto *Hole*), considerando el comportamiento isotrópico de las variables. Los parámetros geoestadísticos derivados del ajuste de los semivariogramas a diferentes modelos teóricos, se expresan en el Cuadro 4, y en las Figuras 4, 5 y 6. Los modelos de semivariogramas ajustados revelaron patrones de dependencia espacial altamente estructurados para la mayoría de las variables. El efecto pepita relativo (NR) fue inferior al 25% en 12 de 15 variables analizadas, clasificándose como fuerte dependencia espacial según los criterios de Cambardella *et al.* (1994).

Cuadro 4. Parámetros geoestadísticos de los semivariogramas compuestos de las propiedades del suelo y atributos del cultivo.

Variable	Modelo	Nugget (C ₀)	Partial sill (C ₁)	Range (A ₁)	Sill (C ₀ +C ₁)	NR (%)	GDE
pH (1:2,5)	Sinusoidal	0,00	0,00	13,5	0,02	0,0	FDE
CE (dS m ⁻¹)	Cuadrático	0,00	0,00	14,0	0,00	0,1	FDE
	Racional						
P (mg kg ⁻¹)	Tetraesférico	0,00	19,4	13,5	19,3	0,0	FDE
K (mg kg ⁻¹)	Exponencial	40,8	316,1	62,5	357	11,4	FDE
Ca (mg kg ⁻¹)	Pentaesférico	0,00	56.421	13,5	56.421	0,0	FDE
Mg (mgkg ⁻¹)	J-Bessel	0,00	3.261	13,5	3.261	0,0	FDE
MO (%)	Estable	0,001	0,16	62,8	0,16	0,9	FDE
Arcilla (%)	Esférico	0,00	3,13	12,8	3,13	0,0	FDE
Arena (%)	Exponencial	4,12	4,00	46,5	8,12	50,8	MDE
Limo (%)	Pentaesférico	1,29	5,47	12,8	6,77	19,1	FDE
Da (g cm ³)	Exponencial	0.00	0.03	13.6	0.03	0.00	FDE
Altura (cm)	Pentaesférico	0,00	248	9,6	248	0,0	FDE
Grosor (mm)	Esférico	3,41	0,56	62,8	3,97	85,9	DDE
Area Foliar (cm ²)	Esférico	6378	1625	50,6	8002	79,7	DDE
Clorofila (%)	J-Bessel	0,00	19,5	9,4	19,52	0,0	FDE
Rend. (kg/ha)	Pentaesférico	0,00	560.594	10,1	560.594	0,0	FDE

NR: Varianza relativa, FDE: Fuerte dependencia especial, MDE: Moderada dependencia espacial, DDE: Débil dependencia espacial. Sinusoidal: Efecto Hole.

Este resultado indica que la variabilidad espacial está dominada por procesos estructurales (pedogénesis, topografía, drenaje) más que por variación aleatoria o error de muestreo, validando la aplicabilidad de técnicas geoestadísticas para interpolación (Goovaerts, 1997; Webster y Oliver, 2007).

El fósforo disponible mostró un modelo tetraesférico con rango de 13,5 m y NR=0%, indicando una dependencia espacial perfecta dentro de la escala de muestreo, consistente con la alta variabilidad de este nutriente en suelos con capacidad de fijación heterogénea (Sánchez *et al.*, 1982). El potasio presentó el mayor rango de dependencia espacial (62,5 m; modelo exponencial; NR=11,4%), sugiriendo que su

distribución está influenciada por procesos de transporte hidrológico a mayor escala que otros nutrientes (Bhagwan *et al.*, 2025).

Las propiedades físicas del suelo (textura, densidad aparente) mostraron rangos cortos (12,8-13,6 m), reflejando la influencia de microrelieve y procesos de sedimentación diferencial en la formación de horizontes superficiales (Burrough *et al.*, 2000). El rendimiento del cultivo presentó un modelo pentasférico con rango de 10,1 m y NR=0%, indicando que la variabilidad de producción está estrictamente controlada por factores edáficos que operan a escala de decenas de metros, validando la delimitación de zonas de manejo de tamaño reducido para este sistema (Fraisie *et al.*, 2001; Ortega y Santibáñez, 2007).

La fuerte dependencia espacial observada (NR<25% en 80% de variables) contrasta con reportes de suelos templados donde la variabilidad aleatoria suele ser mayor (Cambardella et al., 1994), pero es consistente con la estructura pedogenética de Ultisoles y Alfisoles tropicales donde los procesos de lixiviación y acumulación de arcillas generan patrones espaciales

altamente estructurados (Sánchez y Salinas, 1990; IAEA, 2000). El rango de dependencia espacial del rendimiento (10,1 m) sugiere que la resolución de muestreo empleada (20 m) fue adecuada, aunque podría optimizarse a 10-15 m para capturar variabilidad a escalas más finas (Webster y Oliver, 2007).

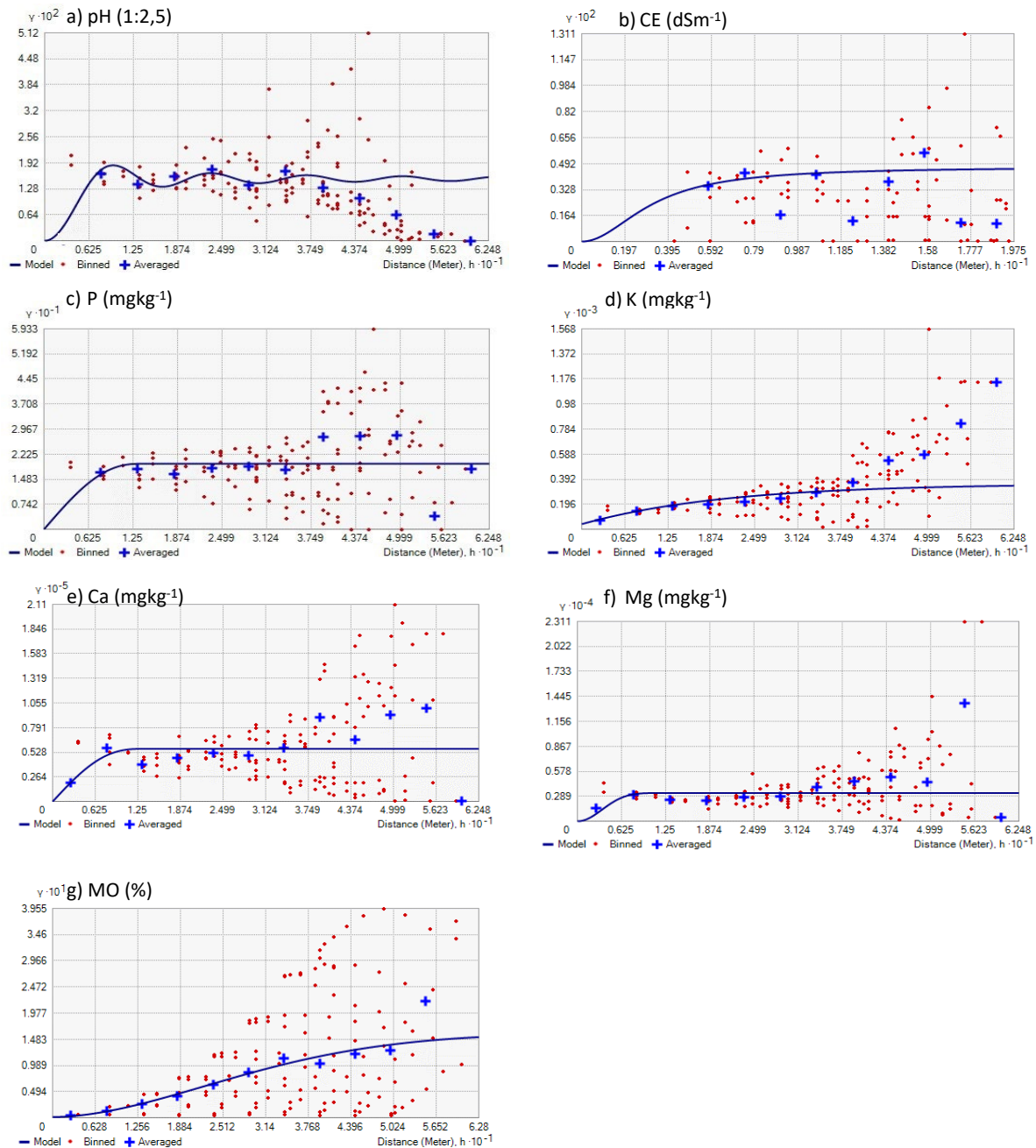


Figura 4. Semivariogramas de propiedades químicas y físicas del suelo.

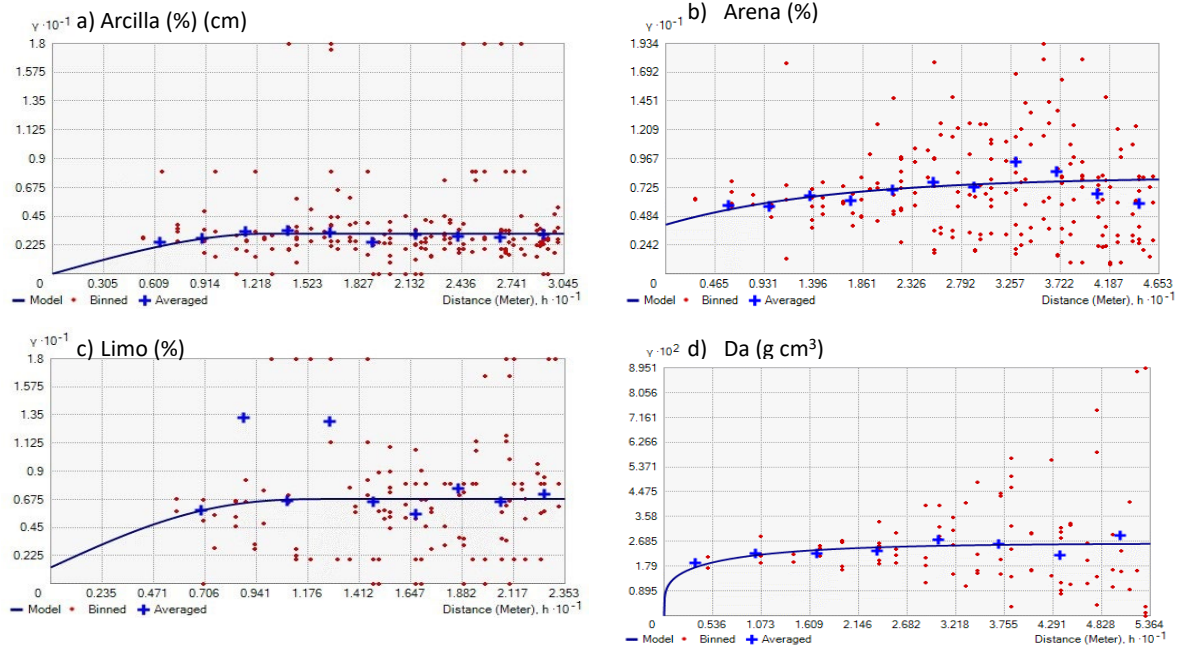


Figura 5. Semivariogramas de propiedades físicas del suelo.

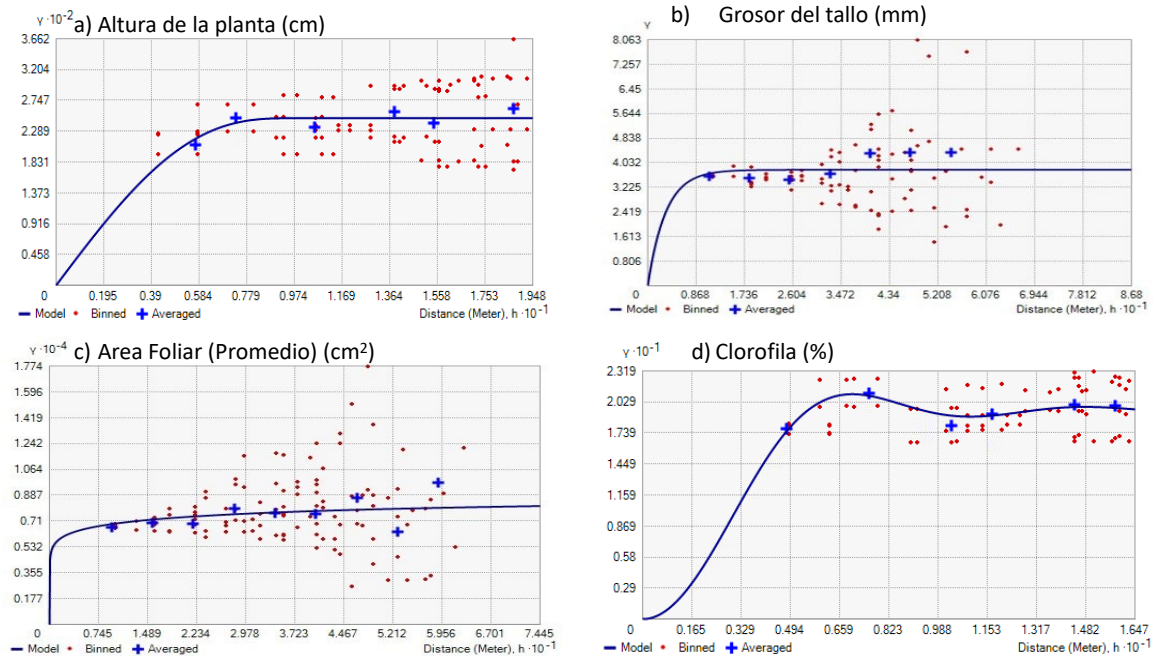


Figura 6. Semivariogramas de propiedades morfométricas del cultivo de maíz INIA-7.

Cartografía digital de atributos del suelo y del cultivo

Los resultados de la aplicación de la técnica kriging ordinario (KO) para el mapeo de atributos individuales del suelo y el cultivo expresan la variación espacial en el terreno evaluado. Esta variación se refleja en los mapas interpolados (Figuras 7, 8 y 9).

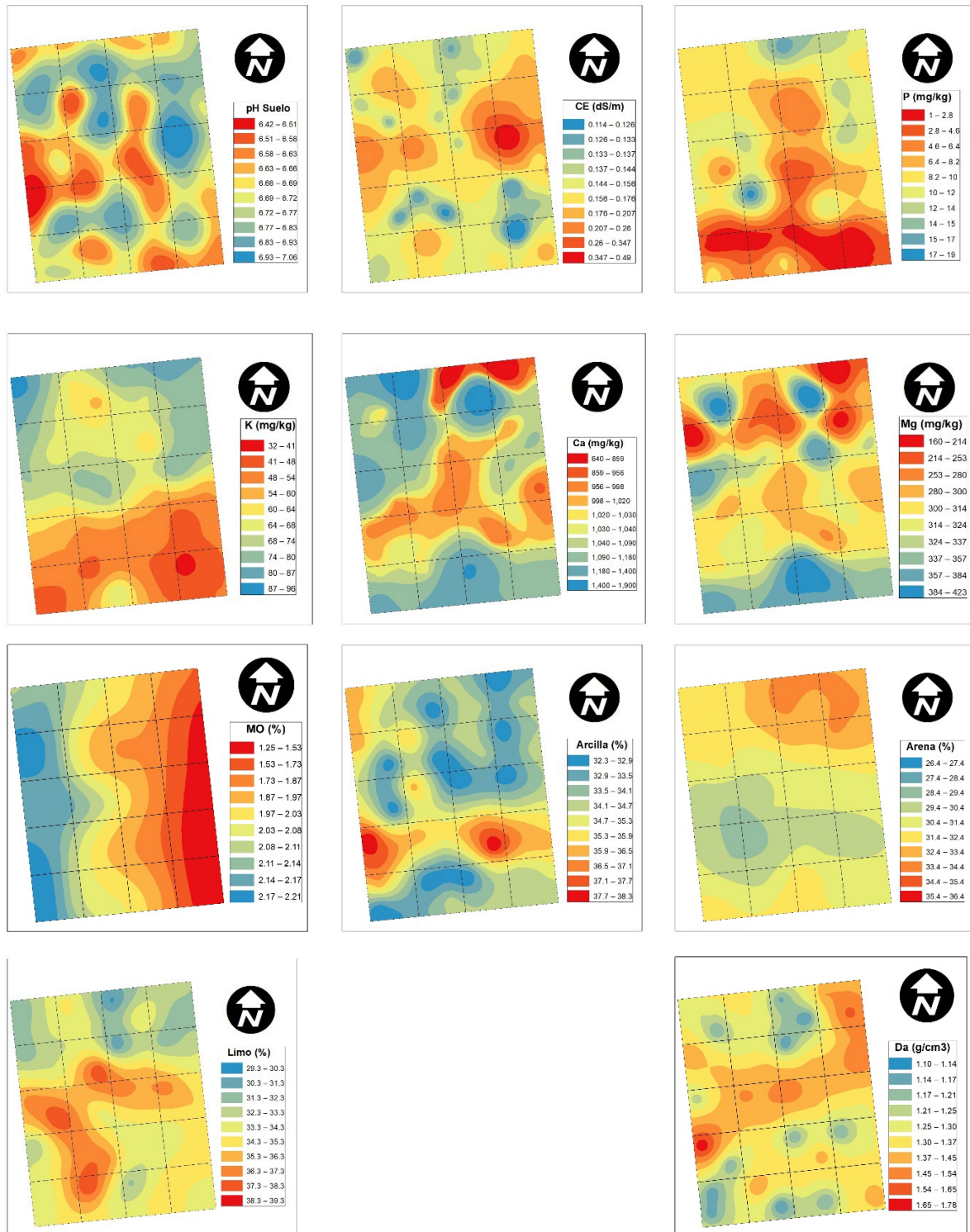


Figura 7. Variación espacial de propiedades químicas y físicas del suelo

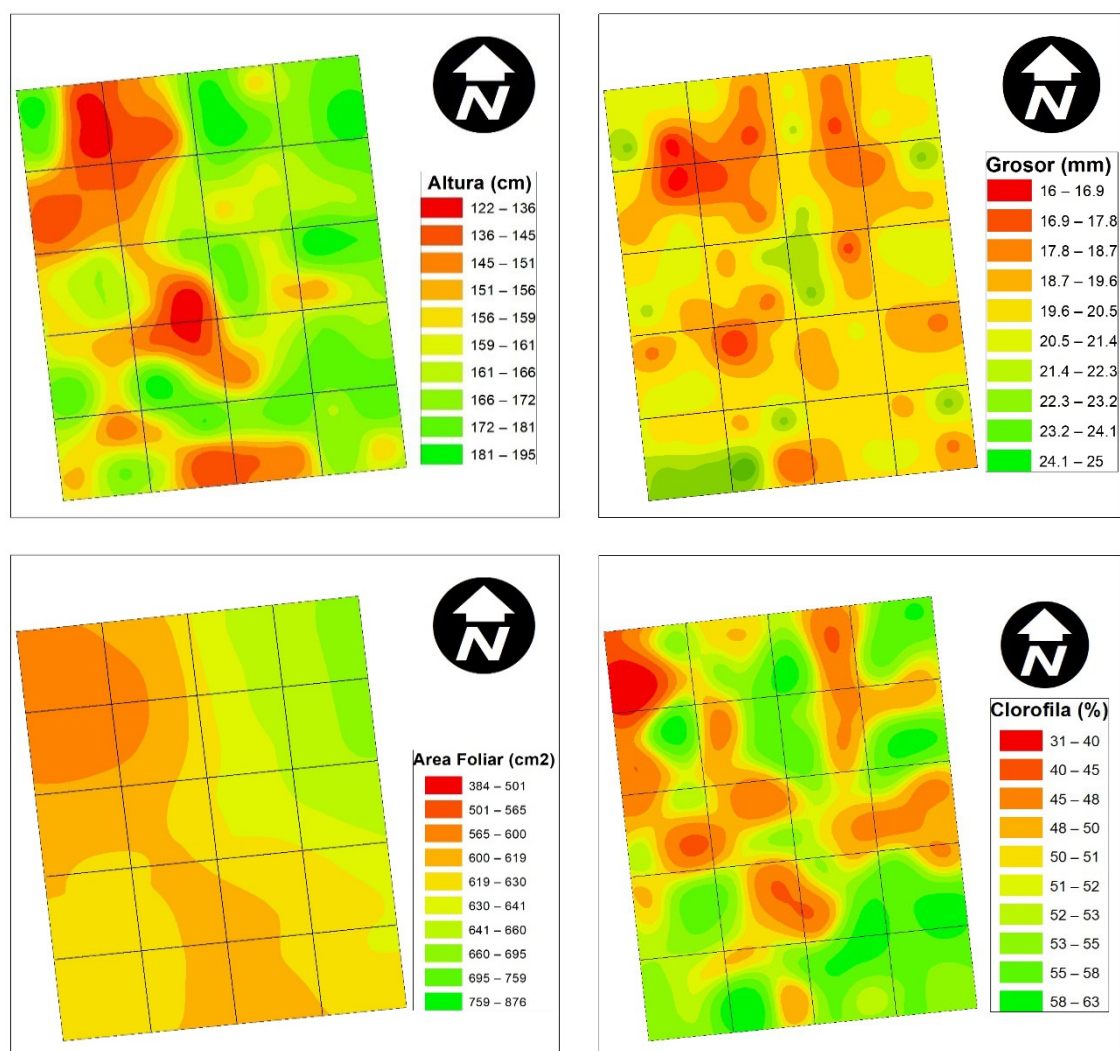


Figura 8. Variación espacial de variables agronómicas del cultivo de maíz INIA-7.

Los mapas revelaron patrones de variación espacial complejos con gradientes claros de fertilidad. Las propiedades químicas (pH, P, K, Ca, Mg) mostraron distribuciones irregulares con zonas de alta y baja fertilidad claramente delimitadas, mientras que las propiedades físicas presentaron

transiciones más graduales. El rendimiento del cultivo (Figura 9) exhibió un patrón de variación que no coincide exactamente con ninguna variable individual, confirmando la necesidad de enfoques multivariados para la delimitación de zonas de manejo (Ehsani y Quiel, 2008; Vilorio *et al.*, 2016).

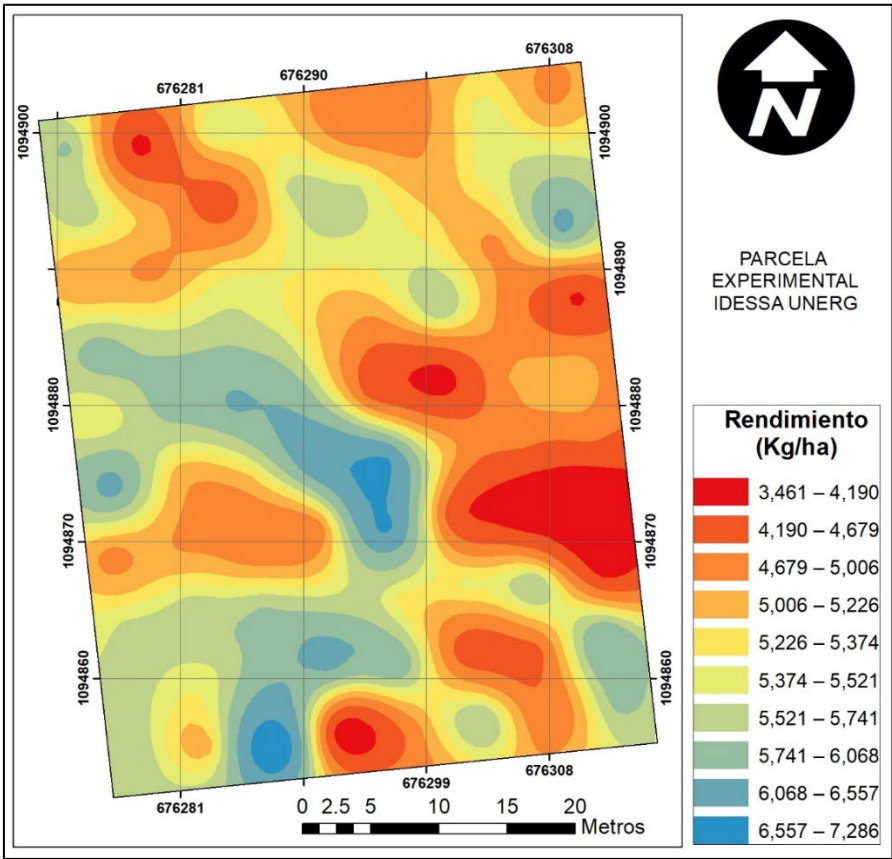


Figura 9. Variación espacial del rendimiento del cultivo de maíz en terrenos del IDESSA – UNERG.

Evaluación de los modelos de cartografía digital de suelos y del cultivo

Los errores de predicción obtenidos entre los valores reales y estimados con la interpolación de las variables se indican en el cuadro siguiente (5). La validación cruzada de los modelos mostró errores de predicción aceptables para la mayoría de variables, con valores RECME cercanos a 1,0 (indicando ausencia de sesgo sistemático en la varianza) y EM próximos a cero (sin tendencia de sub/sobre-estimación). El pH y la materia orgánica presentaron los menores errores (RECM=0,162 y 0,034 respectivamente), mientras que el calcio y el rendimiento mostraron mayores incertidumbres (RECM=290 y 798 kg/ha), consistente con la alta variabilidad de estos atributos en

sistemas agrícolas de suelos tropicales (Valera et al., 2023).

Agrupamiento de variables de suelo por FKCN

El algoritmo FKCN identificó cuatro clases de fertilidad como óptimas ($FPI=0,424$; $\varphi=1,20$), presentando una estructura de datos con alta cohesión interna y separación interclases (Cuadro 6). Los resultados de los valores de los centros de clase (centroides) para cada una de las variables agrupadas permitieron la extracción de los siguientes aspectos significativos:

La **Clase 1** (34% del área) está conformada por suelos moderadamente ácidos ($pH=5,93$), P bajo (7 mg/kg), K medio (62 mg/kg), el contenido de MO más alto (2,06%), Da baja (1,30 g/cm³). Textura franco-arcillosa con predominio de limo (35,6%).

Cuadro 5. Estimación del grado de incertidumbre de los modelos digitales.

Variable	Error de Predicción				
	EM	RECM	EME	RECME	EEP
pH (1:2,5)	0,009	0,162	0,052	1,196	0,136
CE (dS m ⁻¹)	0,001	0,063	0,008	0,953	0,067
P (mg kg ⁻¹)	-0,088	4,8	-0,013	1,184	4,168
K (mg kg ⁻¹)	-0,343	14,0	-0,014	1,162	12,02
Ca (mg kg ⁻¹)	0,412	290	0,003	1,245	233,2
Mg (mg kg ⁻¹)	-0,337	67	-0,005	1,133	59,0
MO (%)	0,000	0,034	0,002	0,611	0,053
Arcilla (%)	-0,040	2,095	-0,010	1,314	1,633
Arena (%)	-0,045	2,441	-0,014	0,981	2,505
Limo (%)	0,138	2,632	0,045	0,997	2,655
Da (g cm ³)	0,000	0,159	0,005	1,047	0,151
Altura (cm)	-0,104	15,821	-0,006	1,039	15,16
Grosor (mm)	-0,099	2,002	-0,050	1,040	1,932
Area Foliar (cm ²)	-0,306	85,838	-0,003	1,024	83,77
Clorofila (%) ^{/1}	0,082	4,565	0,017	0,989	4,611
Rend. (kg/ha)	-1,22	798	0,00	1,12	706

^{/1}: 52 Días Después de la Emergencia; EM: error medio, EME: Error medio estandarizado, RECM: error cuadrático medio; RECME: error cuadrático medio estandarizado; EEP: error estándar promedio.

Cuadro 6. Centros de clase obtenidas con la aplicación del algoritmo FKCN.

Variable	Clase de Fertilidad del Suelo			
	1	2	3	4
pH (1:2,5)	5,93	6,66	6,25	6,18
CE (dS m ⁻¹)	0,18	0,20	0,16	0,16
P (mg kg ⁻¹)	7	13	8	5
K (mg kg ⁻¹)	62	75	66	45
Ca (mg kg ⁻¹)	1.062	1.000	1.237	1.070
Mg (mg kg ⁻¹)	218	273	323	322
MO (%)	2,06	1,65	2,07	1,53
Arcilla (%)	34,7	33,6	34,3	35,2
Arena (%)	30,2	32,8	32,1	30,7
Limo (%)	35,6	33,0	33,3	34,4
Da (g cm ³)	1,30	1,42	1,25	1,35

La **Clase 2** (16% del área) está compuesta por suelos neutros ($\text{pH}=6,66$), con P medio (13 mg/kg), K medio-alto (75 mg/kg), y bajos contenidos de MO (1,65%), Da alta (1,42 g/cm³). Presentan el mayor contenido de arena (32,8%) de todos los suelos. La **Clase 3** (30% del área) corresponde a suelos ligeramente ácidos ($\text{pH}=6,25$), P bajo (8 mg/kg), K medio (66 mg/kg), medianos contenidos de MO (2,07%), Da muy baja (1,25 g/cm³). Tienen el mayor contenido de Ca (1.237 mg/kg) y Mg (323 mg/kg). La **Clase 4** (20%

del área) está formada por suelos ligeramente ácidos ($\text{pH}=6,18$), P muy bajo (5 mg/kg), K bajo (45 mg/kg), muy bajos contenidos de MO (1,53%), Da media (1,35 g/cm³).

La combinación de los grados de pertenencia de cada elemento (celda de 0,40 x 0,40 cm²) a determinada clase permitió la generación del mapa en formato ráster de las clases de suelo con base a las variables de fertilidad (Figura 10).

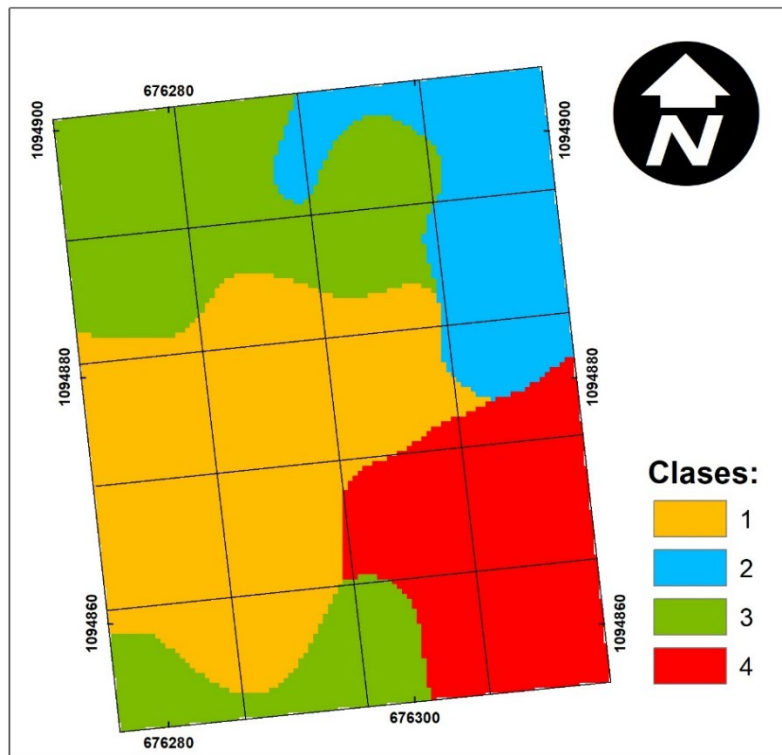


Figura 10. Variación espacial del rendimiento del cultivo de maíz en terrenos del IDESSA – UNERG.

El algoritmo FKC_N demostró ventajas comparativas respecto a técnicas de agrupamiento duro (*k-means*) o geoestadística pura, al permitir la clasificación difusa con grados de membresía que capturan transiciones graduales entre zonas, característica esencial en paisajes tropicales donde los límites entre unidades de suelo son

frecuentemente difusos (Viloria *et al.*, 2016). El valor óptimo de $\phi=1,20$ indica un grado de difusión moderado, generando clases con solapamiento controlado que reflejan mejor la realidad edáfica que clasificaciones rígidas (Bezdek *et al.*, 1992).

Relación del rendimiento del cultivo y clases de suelo con el algoritmo FKCN

La integración del mapa de rendimiento con el mapa de clases de suelo FKCN permitió determinar que la variabilidad espacial del

rendimiento no se distribuye aleatoriamente, sino que se organiza en patrones que coinciden parcialmente con las clases edáficas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Estadísticas zonales del rendimiento de maíz (kg/ha) por clase de suelo.

Estadísticas	Clases de Suelo			
	1	2	3	4
Área (m ²)	690	310	602	400
Mínimo	3.888	4.093	36.97	3.493
Máximo	7.271	6.189	7.007	6.720
Rango	3.384	2.096	3.310	3.227
Media ^{/1}	5.493	4.474	5.114	4.585
Desv. Est.	516	359	403	665
Mediana	9,4	7,0	7,7	13,4
CV intra-clase (%)	9,4	8,0	7,9	14,5

^{/1}: Valores de rendimiento (kg/ha) obtenidos por FKCN.

Esta integración reveló diferencias significativas entre zonas ($p < 0,001$), donde la Clase 1 alcanzó el mayor rendimiento promedio (5.493 kg/ha), a pesar de presentar pH moderadamente ácido y P bajo, posiblemente por la combinación favorable de MO alta, Da baja (mejor desarrollo radicular) y textura franco-arcillosa con buena retención hídrica. Esta aparente contradicción con la teoría de limitación por P puede explicarse por la alta eficiencia de uso de P del cultivar INIA-7 en condiciones de estrés moderado, o por la compensación mediante la alta mineralización de N desde la MO (CIMMYT, 2022; Kihara *et al.*, 2023).

La Clase 2, a pesar de presentar el pH más favorable y mayor contenido de P disponible, registró el menor rendimiento (4.474 kg/ha), sugiriendo posibles limitaciones físicas asociadas a la alta densidad aparente (1,42 g/cm³) que restringen el desarrollo radicular

y la exploración del volumen de suelo, fenómeno reportado por IAEA (2000) en suelos tropicales compactados. La Clase 3 mostró rendimiento intermedio (5.114 kg/ha), mientras que la Clase 4, con severa limitación de P y K, alcanzó rendimientos moderados (4.585 kg/ha) probablemente compensados por la alta disponibilidad de Ca y Mg.

La variabilidad intra-clase (CV) fue menor al 10% en tres de cuatro clases, validando la homogeneidad edáfica interna de las zonas delimitadas. La Clase 4 presentó una mayor variabilidad intra-clase (CV=14.54%), sugiriendo que esta zona podría beneficiarse de una subdivisión adicional en futuros mapeos de mayor resolución (Fraisie *et al.*, 2001).

Relación del rendimiento del cultivo y niveles de nutrientes en el suelo

Las apreciaciones consideradas en párrafos anteriores se visualizan con mayor claridad en el Cuadro 8, donde se interpretaron los

Cuadro 8. Interpretación de centros de clases de suelo de pH, P y K obtenidas por FKCN y su relación con el rendimiento de maíz.

Clase	Nivel pH	Nivel P	Nivel K	Rendimiento (kg/ha)
1	Moderadamente ácido	Bajo	Medio	5.493
2	Neutro	Medio	Medio	4.474
3	Ligeramente ácido	Bajo	Medio	5.114
4	Ligeramente ácido	Muy Bajo	Bajo	4.585

La relación no lineal entre clases de fertilidad y rendimiento, particularmente el menor rendimiento en la Clase 2 (pH neutro, P alto) comparado con la Clase 1 (pH ácido, P bajo), evidencia la complejidad de las interacciones suelo-planta en sistemas tropicales. Este resultado coincide con reportes de Munnaf et al. (2024) en maíz de verano de China, quienes encontraron que la aplicación de fertilización variable basada únicamente en contenido de nutrientes puede ser subóptima si no se consideran propiedades físicas restrictivas como la densidad aparente. La alta densidad aparente de la Clase 2 (1,42 g/cm³) probablemente limitó la exploración radicular y la absorción de agua y nutrientes, compensando la ventaja química de mayor P disponible (IAEA, 2000).

Los resultados obtenidos validan la hipótesis de que la integración de geoestadística y algoritmos neuro-difusos permite caracterizar adecuadamente la variabilidad espacial de la fertilidad en suelos tropicales de Venezuela, generando zonas de manejo con alta homogeneidad

valores medios del rendimiento del cultivo de maíz para tres (3) variables de fertilidad química, obtenidos directamente de la integración realizada por FKCN.

interna y diferencias significativas de productividad. La metodología empleada coincide con enfoques recientes reportados por Bhagwan et al. (2025) en India, quienes utilizaron geoestadística y *Fuzzy C-Means* para delimitar cinco zonas de manejo en maíz, logrando ahorros de fertilizantes de hasta 42 kg/ha N, 85 kg/ha P₂O₅ y 28 kg/ha K₂O con incrementos de rendimiento de 8-10%.

La aplicabilidad práctica de estos resultados para la transición hacia agricultura de precisión en pequeñas parcelas es significativa. La delimitación de cuatro zonas de manejo con diferencias de rendimiento de hasta 1.019 kg/ha (23% entre Clase 1 y 2) justifica plenamente la implementación de sistemas de aplicación de insumos a tasa variable (VRT), particularmente para fósforo y potasio donde la variabilidad espacial fue máxima (CV>25%). La reducción potencial de fertilizantes en zonas de alta fertilidad natural (Clase 3) y el incremento dirigido en zonas de limitación severa (Clase 4) podrían generar ahorros de 20-30% en insumos con

mantenimiento o incremento de rendimientos globales, consistente con metas de eficiencia y sostenibilidad de la FAO (2023).

CONCLUSIONES

La presente investigación demuestra que la variabilidad espacial de la fertilidad del suelo en la parcela experimental de la UNERG está altamente estructurada, con fuerte dependencia espacial en la mayoría de propiedades edáficas y agronómicas, validando la aplicabilidad de técnicas geoestadísticas para interpolación y mapeo de alta resolución en suelos tropicales de los Llanos Centrales venezolanos.

La integración del algoritmo neuro-difuso FKCEN con geoestadística permitió la delimitación de cuatro clases de fertilidad con alta homogeneidad interna (CV intra-clase <10%) y diferencias significativas de productividad, superando las limitaciones de enfoques univariados o de clasificación rígida. La Clase 1, caracterizada por acidez moderada, bajo fósforo, pero alta materia orgánica y baja densidad aparente, alcanzó el máximo rendimiento (5.493 kg/ha), evidenciando que la respuesta del cultivar INIA-7 está mediada por interacciones complejas entre propiedades químicas y físicas del suelo.

Los mapas de fertilidad generados constituyen herramientas decisivas para la implementación de manejo específico de sitio y aplicación de insumos a tasa variable, permitiendo optimizar la eficiencia de uso de fertilizantes y maximizar la expresión del potencial genético del cultivar INIA-7. La reducción potencial de 20-30% en aplicaciones de fertilizantes, concentradas en zonas de alta fertilidad natural, contribuiría significativamente a la

sostenibilidad económica y ambiental de sistemas agrícolas en la región.

La metodología empleada es escalable a otras regiones de los Llanos Centrales y adaptable a diferentes cultivos, estableciendo un marco técnico para la modernización de la agricultura venezolana basada en evidencia científica y tecnologías de agricultura de precisión adaptadas a pequeñas y medianas propiedades. Futuras investigaciones deberán evaluar la estabilidad temporal de estas zonas de manejo, la respuesta a diferentes dosis de fertilización variable, y la integración de sensores remotos para actualización dinámica de los mapas de fertilidad.

CONFLICTOS DE INTERÉS:

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

AGRADECIMIENTO:

Este trabajo fue apoyado por el Decanato de Investigación, Producción y Socialización del Conocimiento de la Universidad Rómulo Gallegos, el Centro de Investigación en Suelos y Aguas de la Universidad Rómulo Gallegos (CIESA-UNERG) y la Empresa Semillas Híbridas de Venezuela (SEHIVECA, CA).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bezdek, J. C. (1981). *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms*. Plenum Press.
- Bezdek, J. C., Tsao, E. C. K., and Pal, N. R. (1992). Fuzzy Kohonen clustering networks. *Proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 1035-1043. <https://doi.org/10.1109/FUZZY.1992.258742>

- Bhagwan, S., Singh, S. K., and Chander, G. (2025). Delineation and evaluation of management zones for site-specific nutrient management using a geostatistical and fuzzy C mean cluster approach. *Scientific Reports*, 15(1), 7283. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-07283-0>
- Burrough, P. A. (1986). *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford University Press.
- Burrough, P. A., van Gaans, P. F. M., and MacMillan, R. A. (2000). High-resolution landform classification using fuzzy k-means. *Fuzzy Sets and Systems*, 113(1), 37-52. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(99\)00035-9](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(99)00035-9)
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F., and Konopka, A. E. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1501-1511. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.036159950058000500033x>
- CIMMYT. (2022). *Maize varieties for tropical environments: INIA-7 technical bulletin*. International Maize and Wheat Improvement Center.
- Ehsani, A. H., and Quiel, F. (2008). Geomorphometric feature analysis using neuro-fuzzy classification. *Ecological Informatics*, 3(3-4), 216-226.
- Enciso-Santacruz, J. M., García-García, A., and Palacio-Rojas, J. J. (2025). Spatial distribution of soil properties under no-till systems in tropical maize. *Soil and Tillage Research*, 235, 106050. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106050>
- FAO. (2023). *World food and agriculture: Statistical yearbook 2023*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fraisse, C. W., Sudduth, K. A., and Kitchen, N. R. (2001). Delineation of site-specific management zones. *Agronomy Journal*, 93(4), 843-853. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.934843x>
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press.
- Grunwald, S., Thompson, J. A., and Boettinger, J. L. (2011). Digital soil mapping and modeling. *Geoderma*, 167-168, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.08.001>
- IAEA. (2000). *Management and conservation of tropical acid soils*. IAEA-TECDOC-1159. International Atomic Energy Agency.
- Kihara, J., Huising, J., Nziguheba, G., Waswa, B. S., Njoroge, S., Kabambe, V., and Vanlauwe, B. (2023). Sustainable maize intensification through site-specific nutrient management advice: Experimental evidence from Nigeria. *Global Food Security*, 38, 100706. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100706>
- Koch, M., Khosla, R., Frasier, W. M., Westfall, D. G., and Inman, D. (2004). Economic feasibility of variable-rate nitrogen application utilizing site-specific management zones. *Agronomy Journal*, 96(6), 1572-1580. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.1572>
- Kohonen, T. (1982). Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43(1), 59-69. <https://doi.org/10.1007/BF00337288>
- Lin, C. T., and Lee, C. S. G. (1996). *Neural fuzzy systems: A neuro-fuzzy synergism to intelligent systems*. Prentice Hall.
- Minasny, B., McBratney, A. B., and Whelan, B. M. (2002). *Vesper version 1.6*. Australian Centre for Precision Agriculture.

- Munnaf, M. A., Zhang, Y., Zhou, L., Ma, X., Chen, Y., and Zhang, Y. (2024). Variable-rate fertilization for summer maize using combined proximal sensing technology and the nitrogen balance principle. *Agriculture*, 14(7), 1180. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071180>
- Ortega, R. A., and Santib  n  ez, O. A. (2007). Determination of management zones in corn (*Zea mays* L.) based on soil fertility. *Computers and Electronics in Agriculture*, 58(1), 49-59. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.01.004>
- Ovalles, F. (1992). Metodología para determinar la superficie representada por muestras tomadas con fines de fertilidad. FONAIAP-CENIAP-IIAG. Instituto de Investigaciones Agrícolas Generales. Serie B. Maracay. 44 p.
- Ovalles, F., y Rey, J. C. (1994). Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de presión del lago de Valencia. *Agronomía Tropical*, 44(1), 41-65.
- Ramírez, Ricardo. (2006). Eficiencia del uso del fósforo de la roca fosfórica por cultivos de maíz. *Interciencia*, 31(1), 45-49.
- Sánchez, P. A., and Salinas, J. G. (1990). Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. *Advances in Agronomy*, 43, 275-403. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60455-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60455-3)
- Sánchez, P. A., Villachica, J. H., and Bandy, D. E. (1982). Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. *Soil Science Society of America Journal*, 46(5), 1171-1178. <https://doi.org/10.2136/sssaj1982.03615995004600050048x>
- Schargel, R. (2015). Degradación del suelo en los Llanos de Venezuela. En: Tierras Llaneras de Venezuela... tierras de buena esperanza. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/41096>
- Scull, P., Franklin, J., Chadwick, O. A., and McArthur, D. (2003). Predictive soil mapping: A review. *Progress in Physical Geography*, 27(2), 171-197. <https://doi.org/10.1191/0309133303pp366ra>
- Tukey, J. W. (1977). *Exploratory data analysis*. Addison-Wesley.
- Upchurch, D. R., y Edmonds, W. J. (1991). Statistical procedures for specific objectives. En: Mausbach, M. J., y Wilding, L. P. (Eds.), *Spatial Variabilities of Soils and Landforms* (SSSA Special Publication No. 28, pp. 49-71). Soil Science Society of America.
- Valera A.R., y M. Orta F. (2018). Aplicación de técnicas geoestadísticas y redes neuronales artificiales en la delimitación de clases de fertilidad de suelos. *UNERG Agrocient  fica* 1 (1): 1-19.
- Valera, A, C. Sumoza y W. Tovar. (2023): Predicción espacial del carbono orgánico en suelos agrícolas de la región oriental del estado Guárico, Venezuela. *UNERG Agro-Científica*, 4(1): 43-60.
- Valera, A. (2018). Geomorfometría y Edafometr  a. Cartografía Digital de Paisajes y Suelos con Técnicas de Inteligencia Artificial. Editorial Académica Española. Mauritius. ISBN: 978-620-2-12102-6. 317p.
- Valera, A., Sumoza, C., W. Tovar. (2024). Variabilidad espacial del suelo y su relación con el rendimiento de maíz en parcelas experimentales de la Universidad Rómulo G  llegos. *UNERG Agro-Científica* 5(1): 249-270.
- Valera, A.R; and E.R. Arias Rodríguez. (2025). Spatial Analysis of Soil Fertility Using Geostatistical Techniques and Artificial Neural Networks. *Qeios*, Vol. 6 (2025) ISSN: 2632-

3834, <https://doi.org/10.32388/0JAFR0.3>

- Viloria, A. (2007). Estimación de Modelos de clasificación de paisaje y predicción de atributos de suelos a partir de imágenes satelitales y modelos digitales de elevación. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 88 p.
- Viloria, A., Núñez, H., J. Viloria (2012). Sistema Clasificador del Terreno por Fuzzy Kohonen. Versión 1.0. UCV. Facultad de Ciencias. Escuela de Computación. Centro de Ingeniería de Software y Sistemas. Laboratorio de Inteligencia Artificial. Caracas, Venezuela.
- Viloria, J.A., A. Viloria-Botello, M.C. Pineda, and Valera, A. (2016). Digital modelling of landscape and soil in a mountainous region: A neuro-fuzzy approach. *Geomorphology* Vol. 253:199-207.
- Webster, R., and Oliver, M. A. (1990). *Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey*. Oxford University Press.
- Webster, R., and Oliver, M. A. (2007). *Geostatistics for environmental scientists* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Yang, L., Zhu, A. X., Qi, F., y Li, B. L. (2007). Updating Conventional Soil Maps through Digital Soil Mapping. *Soil Science Society of America Journal*, 75(3), 1044-1053.
- Zhu, A. X., Hudson, B., Burt, J., Lubich, K., and Simonson, D. (2006). Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic. *Soil Science Society of America Journal*, 65(5), 1463-1472.

**EVALUACIÓN DE UNA PLANTACIÓN DE NARANJA VALENCIA (*Citrus sinensis* L. Osbeck)
MEDIANTE TELEDETECCIÓN CON VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO EN BEJUMA,
ESTADO CARABOBO, VENEZUELA.****Angel Valera,^{1*} Yanireth Zapata,¹ Saúl Elías López³**

¹ Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales "Rómulo Gallegos". Área de Ingeniería Agronómica, San Juan de los Morros, Estado Guárico, Venezuela. **e-mail:** angelvalera@unerg.edu.ve, v30144540@gmail.com. **Orcid:** <https://orcid.org/0009-0007-1819-0315>

² SIAGRICA. Sociedad de Ingenieros Agrónomos y consultores en agricultura 4.0, C.A.

* Autor de correspondencia

Recibido: 24 /04 /2025; **Aceptado:** 30 /05 /2025; **Publicado:** 30 /06 /2026.

RESUMEN

El monitoreo preciso del estado de los cultivos perennes en etapas tempranas de desarrollo constituye un desafío técnico relevante para la agricultura de precisión en regiones tropicales. El presente estudio evaluó el estado fisiológico y estructural de una plantación de naranja Valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck) de un año de edad, ubicada en Bejuma, estado Carabobo, Venezuela, mediante el empleo de vehículos aéreos no tripulados (UAV) equipados con sensores RGB y el procesamiento de índices de vegetación derivados de bandas espectrales visibles. Los objetivos específicos incluyeron: (i) caracterizar la topografía del terreno mediante un modelo digital de elevación (MDE), (ii) determinar la cobertura del dosel (Canopy Cover), (iii) evaluar el vigor de la planta mediante clasificación espectral, y (iv) analizar la variabilidad espacial mediante los índices de vegetación EXG, GLI, Visual NDVI y VARI. Los resultados indicaron una cobertura de dosel del 25,2% (0,64 ha), un vigor promedio del 37,11%, con el 52,16% del área clasificada como "Buen Vigor" y el 44,31% como "Vigor Deficiente". El rango altitudinal del terreno osciló entre 607,2 y 621,6 msnm, evidenciando una topografía irregular con zonas de acumulación hídrica potencial. Los índices RGB (rojo, verde, azul) mostraron valores consistentes con plantaciones jóvenes de cítricos, con el EXG registrando el rango más amplio (-0,029 a 0,369). Se concluye que la teledetección con UAV constituye una herramienta efectiva para el manejo diferenciado en huertos cítricos en formación, permitiendo identificar zonas que

requieren intervenciones específicas de fertilización, riego o replante.

Palabras clave: *Citrus sinensis*, agricultura de precisión, UAV, índices de vegetación, cobertura del dosel, clasificación espectral, agricultura tropical.

EVALUATION OF THE YIELD OF YELLOW CORN (*Zea mays* L.) VARIETY GUANAPE IN A LOW FERTILITY SOIL OF THE STATE OF GUARICO.**ABSTRACT**

Accurate monitoring of perennial crop status during early developmental stages represents a significant technical challenge for precision agriculture in tropical regions. The present study evaluated the physiological and structural condition of a one-year-old Valencia orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) plantation located in Bejuma, Carabobo State, Venezuela, through the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) equipped with RGB sensors and the processing of vegetation indices derived from visible spectral bands. The specific objectives included: (i) characterizing terrain topography through a Digital Elevation Model (DEM), (ii) determining canopy cover, (iii) assessing plant vigor through spectral classification, and (iv) analyzing spatial variability using the EXG, GLI, Visual NDVI, and VARI vegetation indices. Results indicated a canopy cover of 25.2% (0.64 ha), an average vigor of 37.11%, with 52.16% of the area classified as "Good Vigor" and 44.31% as "Deficient Vigor". The altitudinal range of the terrain

ranged between 607.2 and 621.6 m a.s.l., evidencing irregular topography with potential water accumulation zones. RGB indices (red, green, blue) showed values consistent with young citrus plantations, with EXG recording the widest range (-0.029 to 0.369). It is concluded that UAV-based remote sensing constitutes an effective tool for differentiated management in young citrus orchards,

enabling the identification of zones requiring specific interventions for fertilization, irrigation, or replanting.

Keywords: *Citrus sinensis*, precision agriculture, UAV, vegetation indices, canopy cover, spectral classification, tropical agriculture.

INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión ha experimentado una transformación significativa durante la última década gracias a la integración de tecnologías de teledetección de alta resolución espacial, particularmente los Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV, por sus siglas en inglés), que permiten la adquisición de datos espectrales y estructurales a escalas centimétricas (Zarco-Tejada *et al.*, 2014). En el contexto de los cultivos perennes, y específicamente en huertos cítricos, el monitoreo del estado fisiológico de los árboles en etapas tempranas de desarrollo resulta crítico para establecer estrategias de manejo que aseguren la viabilidad económica y productiva a mediano plazo (Avioz *et al.*, 2025).

Los cítricos constituyen uno de los cultivos frutales más importantes a nivel global, y en Venezuela han representado históricamente un pilar fundamental del sector agrícola, particularmente en la región central del país donde el estado Carabobo alberga zonas tradicionalmente destinadas a su producción. No obstante, el establecimiento de nuevas plantaciones enfrenta múltiples desafíos edafoclimáticos y fitosanitarios que exigen un monitoreo continuo y espacialmente explícito (Torres-Sánchez *et al.*, 2015).

La estimación del estado de la vegetación mediante índices espectrales constituye

una de las aplicaciones más consolidadas de la teledetección en agricultura. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), basado en las bandas del rojo (Red) e infrarrojo cercano (NIR), ha sido ampliamente utilizado para evaluar la salud vegetal, la biomasa y la productividad de los cultivos (Rouse *et al.*, 1974; Tucker, 1979). Sin embargo, la adquisición de datos NIR requiere sensores multispectrales de mayor costo y complejidad operativa, lo cual limita su adopción generalizada, especialmente en pequeñas y medianas explotaciones agrícolas en economías en desarrollo (Meyer y Neto, 2008).

En respuesta a esta limitación, diversos investigadores han desarrollado índices de vegetación basados exclusivamente en las bandas del visible (RGB: *Red, Green, Blue*), que pueden ser obtenidos con cámaras fotográficas estándar de bajo costo montadas en plataformas UAV. Woebbecke *et al.* (1995) demostraron que el índice de exceso de verde ($ExG = 2G - R - B$) permitía distinguir eficazmente material vegetal de suelos y residuos orgánicos bajo diversas condiciones de iluminación. Posteriormente, Louhaichi *et al.* (2001) propusieron el Índice de Hoja Verde ($GLI = (2G - R - B)/(2G + R + B)$) para evaluar el impacto del pastoreo en cultivos de trigo mediante fotografía aérea. Gitelson *et al.* (2002) desarrollaron el Índice Resistente a la Atmósfera en el

Visible ($VARI = (G - R)/(G + R - B)$), diseñado específicamente para minimizar los efectos atmosféricos y diferencias de iluminación en imágenes de bandas visibles. Más recientemente, plataformas comerciales de análisis agrícola como Agremo han incorporado índices derivados de RGB (incluyendo el Visual NDVI, EXG, GLI y VARI) para ofrecer análisis de salud vegetal en tiempo real a partir de imágenes de drones.

La cobertura del dosel (Canopy Cover) constituye un parámetro estructural fundamental en huertos frutales, ya que está directamente relacionada con la capacidad fotosintética del cultivo, la interceptación de la radiación solar y el potencial de rendimiento (Wünsche *et al.*, 2000). En plantaciones jóvenes de cítricos, una cobertura inadecuada puede indicar problemas de establecimiento, deficiencias nutricionales, estrés hídrico o daños por plagas y enfermedades (Dobrowski *et al.*, 2003). La estimación de la cobertura del dosel mediante UAV ha demostrado ser altamente precisa y eficiente comparada con métodos tradicionales de evaluación visual o mediciones destructivas (Torres-Sánchez *et al.*, 2015).

Paralelamente, el Modelo Digital de Elevación (DEM) derivado de fotogrametría de estructura desde el movimiento permite caracterizar la topografía del terreno con resolución métrica, facilitando el análisis de la variabilidad edáfica, el drenaje superficial, la erosión hídrica y la planificación de sistemas de riego por goteo (Colomina y Molina, 2014). En terrenos ondulados típicos de la región central venezolana, la topografía ejerce un control significativo sobre la distribución de la

humedad del suelo y la disponibilidad de nutrientes, factores que inciden directamente en el vigor de los árboles jóvenes.

El vigor de la planta, entendido como la expresión integrada de su estado fisiológico y desarrollo vegetativo, puede ser inferido mediante la clasificación de índices espectrales en categorías operacionales (*Excellent, Good, Poor, No Vegetation*) que guían las decisiones de manejo a nivel de parcela (Ye *et al.*, 2018). La combinación de información estructural (cobertura del dosel, topografía) y fisiológica (índices de vegetación) permite una caracterización holística del estado del cultivo, fundamental para la implementación de agricultura de precisión en contextos tropicales.

A pesar del potencial demostrado de estas tecnologías en múltiples regiones y cultivos, su aplicación sistemática en huertos cítricos venezolanos en etapa de formación permanece limitada. El presente estudio busca contribuir al llenado de este vacío técnico mediante la evaluación integrada de variables estructurales y fisiológicas en una plantación comercial de naranja Valencia de un año de edad en Bejuma, estado Carabobo, utilizando una plataforma UAV equipada con sensor RGB y procesamiento profesional de índices de vegetación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se desarrolló en una parcela comercial ubicada en el municipio Bejuma, estado Carabobo, Venezuela (aproximadamente 10°15' N, 68°15' W). La zona pertenece a la región de los Valles Altos del Centro-Norte de Venezuela,

caracterizada por un clima tropical de sabana (Aw según Köppen), con temperatura media anual de 24-26°C y precipitación anual de 800-1200 mm, con una marcada estación seca de diciembre a abril. El terreno presenta topografía ondulada a fuertemente ondulada, con suelos generalmente clasificados como Inceptisoles y Ultisoles derivados de materiales sedimentarios y metamórficos (López et al., 2018).

La plantación objeto de estudio corresponde a un lote de naranja Valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck) de aproximadamente un año de edad desde el trasplante a campo definitivo, con un área total de 2,55 hectáreas. El huerto se encuentra en fase de establecimiento, con árboles jóvenes que aún no han alcanzado su porte definitivo ni su capacidad de cobertura completa del suelo.

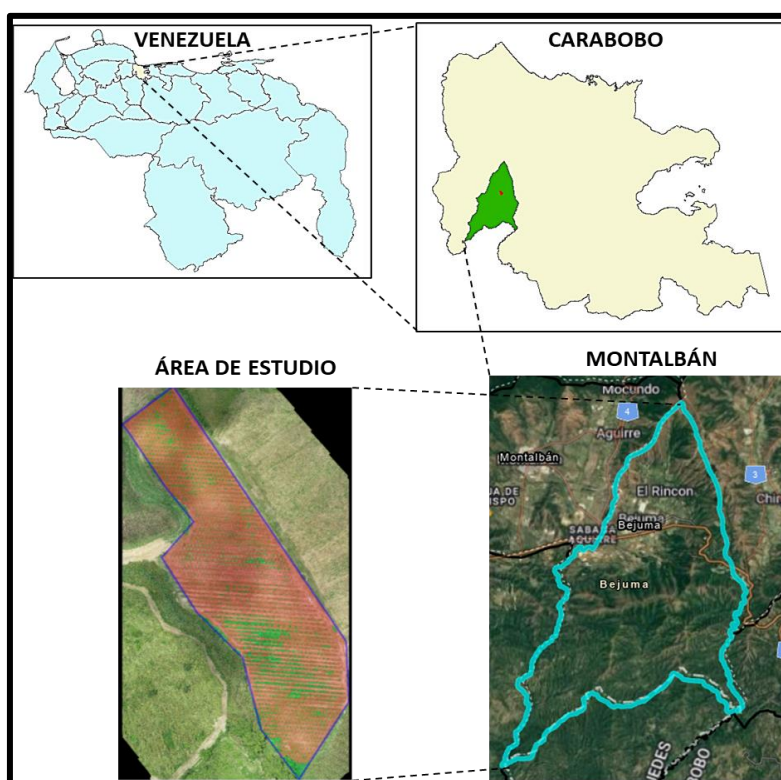


Figura 1. Ubicación relativa de la zona de estudio en el municipio Bejuma, estado Carabobo, Venezuela

Adquisición de datos

El levantamiento de información se realizó el 21 de agosto de 2025, mediante un vuelo con vehículo aéreo no tripulado (UAV) multirrotor equipado con cámara fotográfica RGB estándar (bandas Rojo, Verde, Azul). Las condiciones meteorológicas durante el vuelo fueron favorables: cielo despejado, viento inferior a 15 km/h,

y hora solar próxima al mediodía (10:00-14:00 h) para minimizar efectos de sombra.

El procesamiento de las imágenes y la generación de los productos de teledetección fueron ejecutados por la empresa SIAGRICA mediante la plataforma Agremo (app.agremo.com), utilizando técnicas de fotogrametría de estructura

desde el movimiento para la generación de ortofotomosaicos de alta resolución espacial.

Variables evaluadas

Modelo Digital de Elevación (MDE)

Se generó un Modelo Digital de Elevación del terreno a partir del procesamiento fotogramétrico de las imágenes RGB adquiridas. El MDE representa la elevación del suelo desnudo (*Digital Terrain Model*, DTM) en metros sobre el nivel del mar (msnm), permitiendo caracterizar la morfología del terreno, identificar zonas de depresión (potenciales acumulaciones de agua) y zonas de mayor pendiente (potencial erosión). El área total del MDE generado fue de 12.64 hectáreas, incluyendo zonas aledañas a la parcela de estudio.

Índices de vegetación RGB (rojo, verde, azul)

Se calcularon cuatro índices de vegetación derivados exclusivamente de las bandas del espectro visible, seleccionados por su amplia validación en la literatura científica para monitoreo de cultivos:

a) Índice de Exceso de Verde (EXG - *Excess Green*):

Desarrollado por Woebbecke *et al.* (1995), este índice realza la componente verde de la vegetación en contraste con el fondo del suelo. Su fórmula es:

$$EXG = 2G - R - B \quad (1)$$

donde G, R y B corresponden a los valores de reflectancia (o números digitales) de las bandas verde, roja y azul, respectivamente. Valores positivos indican presencia de vegetación verde, mientras que valores negativos o cercanos a cero

sugieren suelo desnudo o material no vegetal.

b) Índice de Hoja Verde (GLI - *Green Leaf Index*):

Propuesto por Louhaichi *et al.* (2001) para evaluar el impacto del pastoreo en trigo mediante fotografía aérea, normaliza la contribución del verde respecto al rojo y azul:

$$GLI = (2G - R - B)/(2G + R + B) \quad (2)$$

El GLI oscila teóricamente entre -1 y +1, donde valores negativos representan suelo y características no vivas, y valores positivos indican hojas y tallos verdes (Geospatial Software).

c) Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Visual (*Visual NDVI*):

Esta adaptación del NDVI clásico para sensores RGB utiliza las bandas verde y roja en lugar de NIR y rojo, como aproximación para evaluar la diferenciación vegetación-suelo cuando no se dispone de banda infrarroja:

$$Visual\ NDVI = (G - R)/(G + R) \quad (3)$$

Aunque no captura la información estructural del dosel que proporciona el NIR, ha demostrado utilidad para monitoreo general de cultivos en entornos de bajo costo (e.g. Agremo).

d) Índice Resistente a la Atmósfera en el Visible (VARI - *Visible Atmospherically Resistant Index*):

Desarrollado por Gitelson *et al.* (2002), este índice fue diseñado para enfatizar la vegetación en la porción visible del espectro mientras mitiga diferencias de iluminación y efectos atmosféricos. Su fórmula es:

$$\text{VARI} = (G - R)/(G + R - B) \quad (4)$$

El VARI es particularmente útil para imágenes RGB adquiridas bajo condiciones de iluminación variable y ha sido empleado exitosamente en la estimación de la fracción de vegetación y el índice de área foliar (LAI) en cultivos de maíz (Gitelson et al., 2002; Gitelson et al., 2003).

Cobertura del dosel (*Canopy Cover*)

La cobertura del dosel fue estimada mediante clasificación supervisada de los píxeles del ortofotomosaico en dos categorías: "*Canopy*" (vegetación arbórea) y "*No Canopy*" (suelo desnudo, sombra, malezas, o espacios entre árboles). El análisis se expresó en hectáreas y porcentaje del área total de la parcela (2,55 ha). Este parámetro está directamente relacionado con el Índice de Área Foliar (LAI) y la capacidad de interceptación lumínica del cultivo).

Vigor de la planta

El vigor de la planta fue clasificado en cuatro categorías operacionales mediante análisis espectral de los píxeles vegetales:

1- Excelente Vigor: Vegetación óptima, máxima densidad foliar y coloración.

2- Buen Vigor: Vegetación saludable con desarrollo adecuado.

3- Pobre Vigor: Vegetación con estrés evidente, clorosis, o desarrollo deficiente.

4- Sin Vegetación: Ausencia de vegetación arbórea (suelo desnudo, sombra, malezas).

Los resultados se expresaron en hectáreas y porcentaje del área total, y se calculó un índice de vigor promedio ponderado para toda la parcela.

Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento fotogramétrico, la generación de ortofotomosaicos, el cálculo de índices espectrales y la clasificación de coberturas se ejecutaron en la plataforma comercial Agremo, que utiliza algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático para la segmentación de imágenes agrícolas. La validación de la clasificación se basó en la coherencia espacial con los patrones visibles en el ortofotomosaico de alta resolución.

El análisis estadístico descriptivo incluyó el cálculo de valores mínimos, máximos, medias y distribución espacial de cada índice. La integración de la información topográfica (MDE) con los mapas de vigor y dosel permitió identificar posibles relaciones entre la morfología del terreno y el estado del cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización topográfica mediante el Modelo Digital de Elevación

El modelo digital de elevación generado para el área de estudio abarcó 12.64 hectáreas, registrando una elevación mínima de 607,28 msnm y una máxima de 621,60 msnm, lo que implica un rango altitudinal de 14,32 metros dentro del área analizada (Figura 2, Cuadro 1). La distribución de frecuencias de elevación mostró un patrón bimodal, con dos concentraciones principales de superficie: una entre 609-611 msnm (aproximadamente 0.0 ha en la categoría más baja) y otra más predominante entre 615-617 msnm (12.42 ha), además de una fracción menor (0.22 ha) correspondiente a las zonas de mayor elevación (>621 msnm).

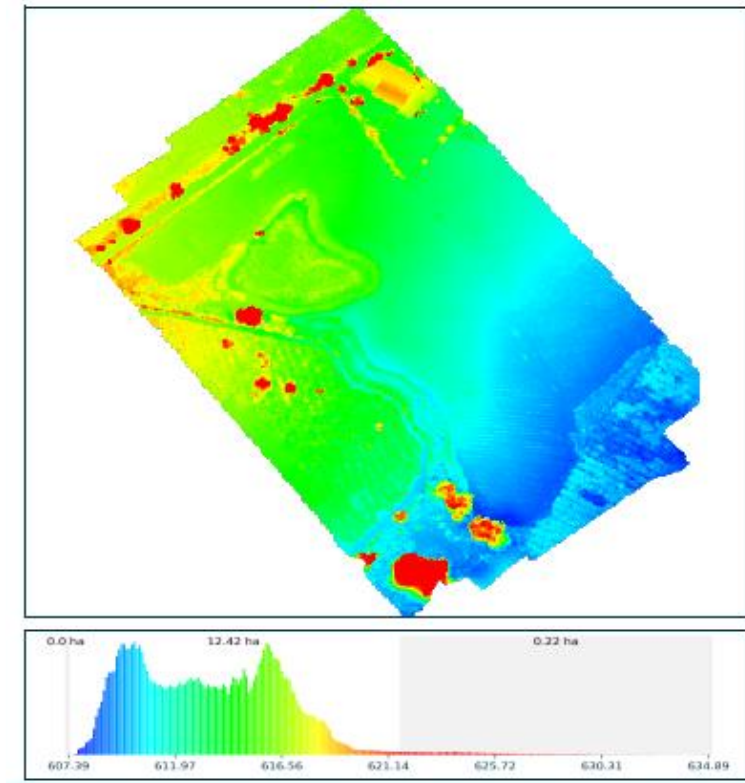


Figura 2. Modelo digital de elevación de la zona evaluada.

La variabilidad topográfica observada tiene implicaciones directas para el manejo del huerto. Las zonas de menor elevación (607-611 msnm), localizadas predominantemente en la porción sureste de la parcela según la distribución espacial del DEM, corresponden potencialmente a áreas de acumulación de escorrentía superficial y mayor retención de humedad edáfica. En contraste, las zonas de mayor elevación (>618 msnm), representadas en colores rojizos en el mapa de elevación, pueden experimentar mayores tasas de drenaje y potencial erosivo por escorrentía, particularmente durante la estación lluviosa característica de la región. Estos resultados son consistentes con lo reportado por Colomina y Molina (2014),

quienes señalan que los DEM derivados de fotogrametría UAV permiten identificar microrelieves que condicionan la distribución de la humedad del suelo y la disponibilidad de nutrientes en huertos frutales. En plantaciones de cítricos jóvenes, la interacción entre topografía y estado hídrico del suelo es crítica, ya que el sistema radicular aún es superficial y susceptible tanto al exceso como al déficit de humedad (Dobrowski *et al.*, 2003).

Índices de vegetación RGB

Los resultados de los índices evaluados mediante la combinación de bandas generaron los valores indicados en el Cuadro 1, y los mapas obtenidos se presentan en la figura 3.

Cuadro 1. Resumen de los parámetros agromorfológicos e índices espectrales en plantación de Naranja Valencia (Bejuma, 2025).

Parámetro / Métrica	Valor	Unidad / Detalle
Área de la parcela	2,55	Hectáreas
Cultivo / Edad	Naranja Valencia / 1 año	Citrus sinensis L. Osbeck
Fecha de vuelo	21 de agosto de 2025	Lluvia local
Sensor	RGB (R-G-B)	Cámara estándar
Elevación mínima	607,281	msnm
Elevación máxima	621,600	msnm
Rango altitudinal	14,319	m
Canopy Cover	25,20	% (0,64 ha)
No Canopy	74,80	% (1,91 ha)
Vigor promedio	37,11	%
Buen Vigor	52,16	% (1,33 ha)
Vigor Deficiente	44,31	% (1,13 ha)
Sin Vegetación	3,53	% (0,09 ha)
EXG (Min / Max)	-0,029 / 0,369	Índice RGB
GLI (Min / Max)	-0,010 / 0,342	Índice RGB
Visual NDVI (Min / Max)	-0,063 / 0,301	Índice RGB
VARI (Min / Max)	-0,126 / 0,342	Índice RGB

Los cuatro índices de vegetación calculados mostraron rangos y distribuciones características de una plantación joven con cobertura parcial del suelo (Figura 3).

Del Cuadro 1 y las figuras mencionadas se pueden extraer las siguientes consideraciones sobre los índices obtenidos:

El índice EXG presentó el rango más amplio (-0,02905 a 0,36947), evidenciando

su alta sensibilidad para discriminar entre píxeles de vegetación activa (valores altos) y suelo desnudo o material senescente (valores bajos o negativos). Este comportamiento es consistente con la literatura, ya que el EXG fue diseñado específicamente para maximizar el contraste entre vegetación verde y fondo no vegetal (Woebbecke et al., 1995; Meyer y Neto, 2008).

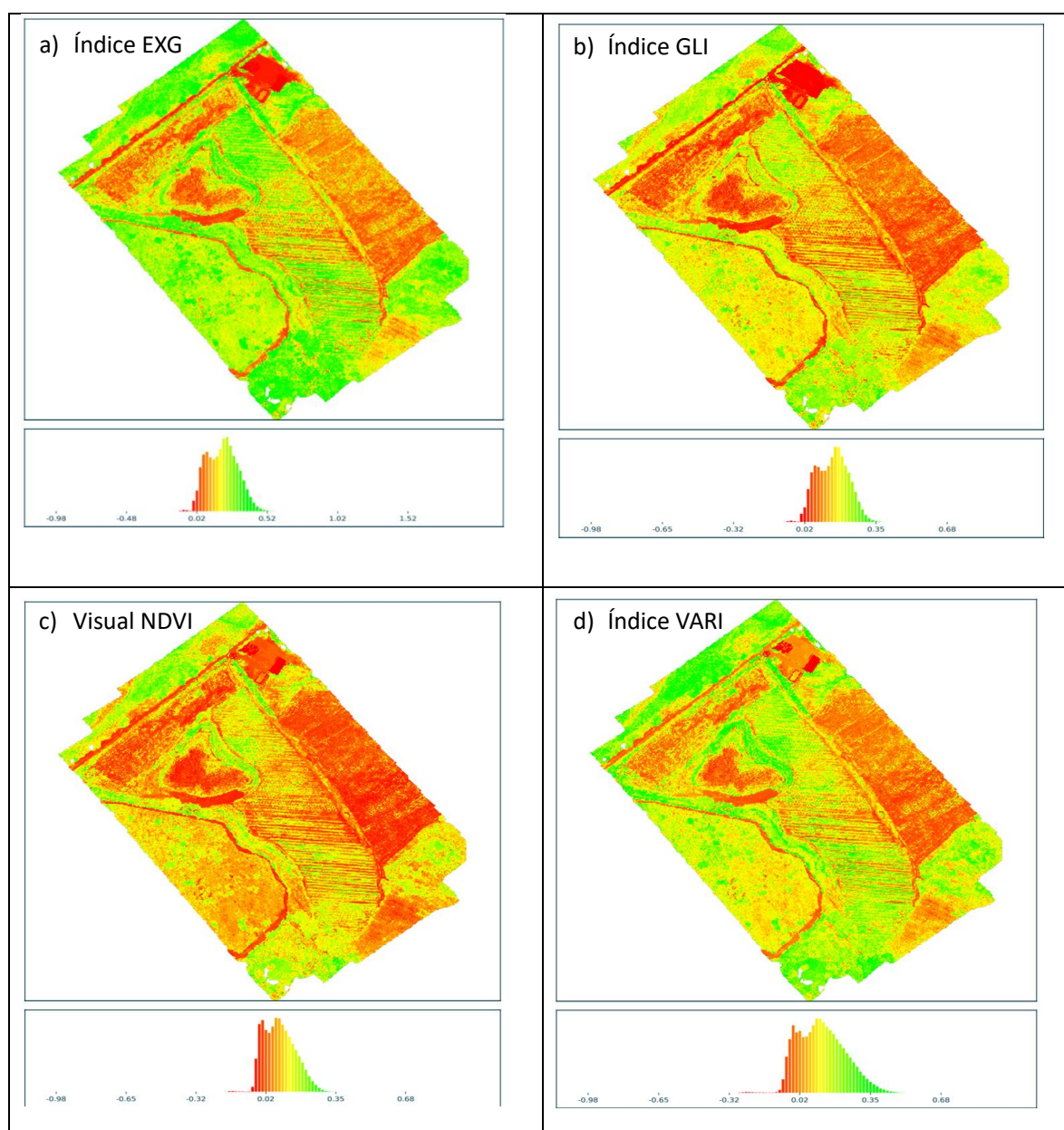


Figura 3. Índices de vegetación de la plantación de naranja Valencia.

Por su parte, el Índice GLI registró valores entre -0.00952 y 0,34225, con un rango ligeramente menor que el EXG debido a su naturaleza normalizada. La cercanía del valor

mínimo a cero sugiere una predominancia de píxeles con baja vegetación o suelo parcialmente cubierto, típico de plantaciones en formación (Louhaichi *et al.*, 2001).

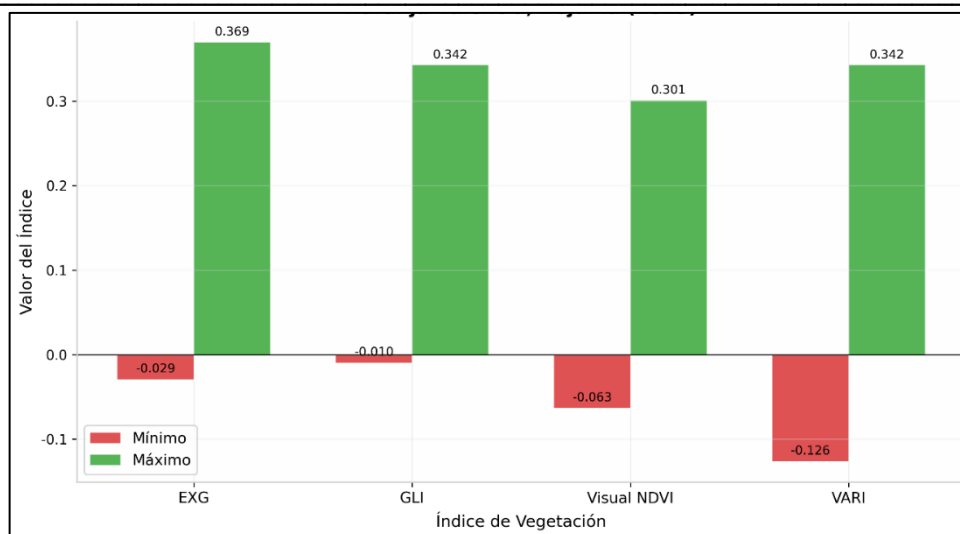


Figura 4. Rango de valores de los índices de vegetación RGB de la plantación de naranja Valencia.

Sin embargo, el índice Visual NDVI obtuvo el rango más estrecho (-0,06321 a 0,30071), con valores mínimos negativos que indican presencia de suelo desnudo o sombra. La compresión del rango superior respecto al NDVI tradicional (que típicamente alcanza valores >0,8 para vegetación densa) refleja la ausencia de la banda NIR, limitante para capturar la estructura del dosel en cultivos esparcidos.

Finalmente, el índice VARI mostró el valor mínimo más negativo (-0.12597) y un máximo de 0.34225. El amplio rango negativo sugiere zonas con alta reflectancia del rojo (posible suelo expuesto o material senescente) y baja contribución del verde. Según Gitelson et al. (2002), el VARI está diseñado para ser robusto ante variaciones atmosféricas, aunque su sensibilidad puede disminuir en condiciones de baja cobertura vegetal cuando la señal del suelo domina el espectro visible (Rosen et al., 2024).

La comparación entre índices revela patrones espaciales coherentes: las zonas con mayores valores de EXG y GLI coinciden con las áreas clasificadas como

"Buen Vigor" en el mapa de vigor de la planta, mientras que los valores bajos o negativos de Visual NDVI y VARI se localizan predominantemente en sectores con "Vigor Deficiente" o "Sin Vegetación". Esta coherencia entre índices espectrales y clasificación fisiológica valida la consistencia del procesamiento realizado.

Cobertura del dosel (*Canopy Cover*)

El análisis de cobertura del dosel reveló que el 25,2% de la superficie de la parcela (0,64 ha) está cubierta por el dosel de los árboles de naranja, mientras que el 74,8% restante (1,91 ha) corresponde a suelo desnudo, sombra, o espacios intercalares entre los árboles jóvenes (Figura 5).

Este nivel de cobertura es esperable y fisiológicamente consistente para una plantación de cítricos de apenas un año de edad. Según Wünsche et al. (2000), los huertos cítricos en formación típicamente alcanzan entre el 20-40% de cobertura durante su primer año, dependiendo del patrón de plantación, el porte injertado y las condiciones de manejo.

Torres-Sánchez *et al.* (2015) reportaron valores similares (20-30%) en plantaciones jóvenes de olivo monitoreadas con UAV, destacando que la baja cobertura inicial no constituye necesariamente un indicador de mal manejo, sino una etapa evolutiva del sistema.

No obstante, la alta proporción de suelo desnudo (74,8%) implica desafíos operativos relevantes: mayor susceptibilidad a la colonización por malezas, mayor evaporación directa desde el suelo, y potencial erosión hídrica en las zonas de mayor pendiente identificadas en el MDE. En este contexto, la implementación de coberturas vegetales o mantillo orgánico en

los callejones podría mitigar estos efectos negativos sin competir significativamente con los árboles jóvenes por recursos edáficos (Avioz *et al.*, 2025).

La distribución espacial del dosel (Figura 5, mapa de cobertura del dosel) muestra un patrón de franjas verdes que siguen el alineamiento de los surcos de plantación, con mayor densidad de cobertura en la porción sur de la parcela. Esta heterogeneidad espacial puede deberse a variaciones en la supervivencia del trasplante, diferencias microtopográficas no detectables a simple vista, o variabilidad en la aplicación de riego y fertilización.

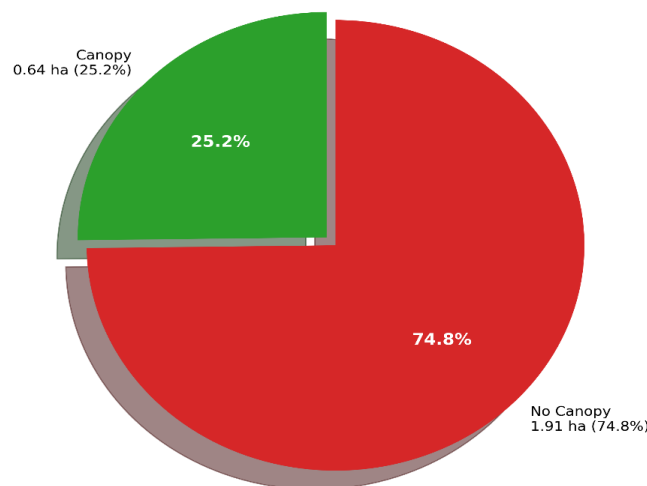


Figura 5. Cobertura del dosel de la plantación de naranjas Valencia, Bejuma.

Vigor de la planta

Los resultados del vigor de la planta se pueden visualizar en el mapa representado por la figura 4, y los valores de la clasificación obtenida se indican en la figura 6. La clasificación del vigor de la planta

arrojó los siguientes resultados (Figura 7): a) Vigor Excelente: 0% (0 ha); b) Buen Vigor: 52,16% (1,33 ha); c) Vigor Deficiente: 44,31% (1,13 ha), y d) Sin Vegetación: 3,53% (0,09 ha).

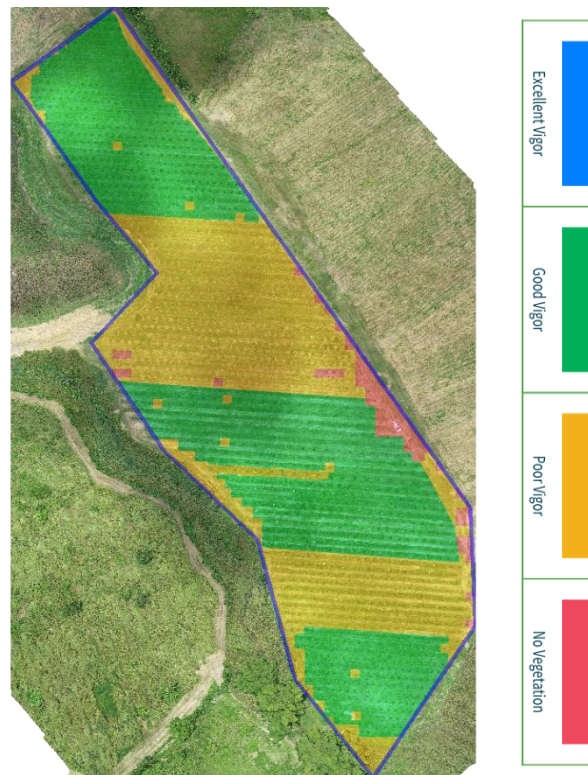


Figura 6. Distribución espacial del vigor de las plantas de naranja Valencia (Bejuma, Carabobo).

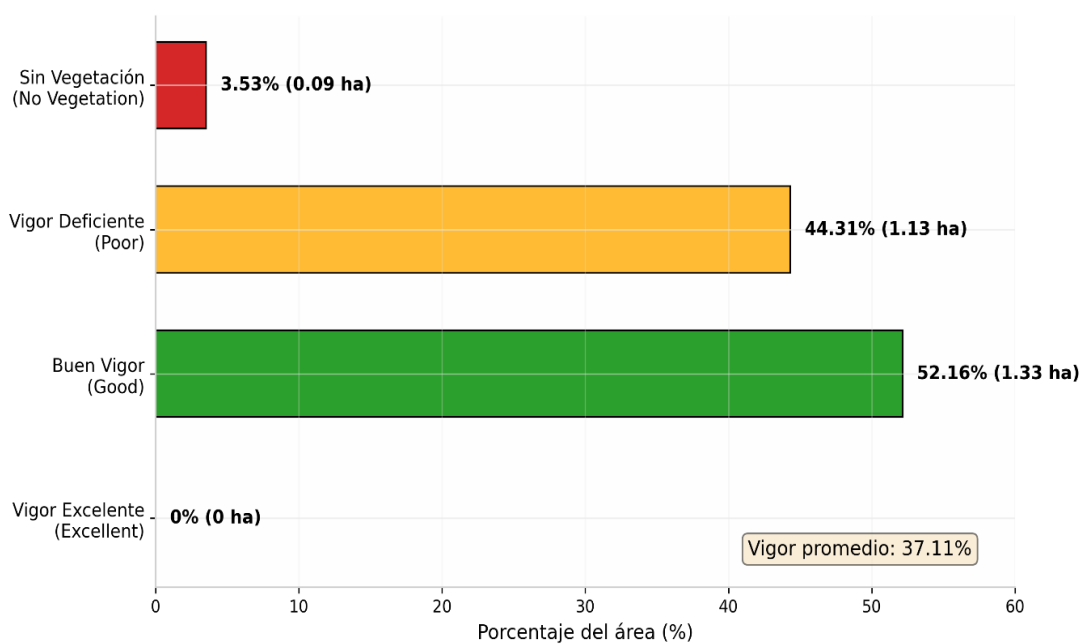


Figura 7. Distribución del vigor de las plantas de naranja Valencia (Bejuma, Carabobo).

El vigor promedio ponderado de la parcela fue de 37,11%, valor que refleja un estado fisiológico intermedio, con una ligera predominancia de áreas en buen estado sobre áreas con estrés evidente.

La ausencia total de áreas con "Vigor Excelente" (0%) es notable y sugiere que la plantación, en su conjunto, no alcanza condiciones óptimas de desarrollo. Este hallazgo puede atribuirse a múltiples factores no mutuamente excluyentes: (i) la edad juvenil del material vegetal, que aún no ha desarrollado la totalidad de su capacidad fotosintética; (ii) posibles limitaciones edáficas (acidez, disponibilidad de micronutrientes) comunes en suelos de la región central venezolana; (iii) estrés hídrico residual asociado a la estación seca previa al vuelo (agosto); o (iv) El 3,53% de área "Sin Vegetación" (0,09 ha) puede corresponder a: árboles muertos o no establecidos tras el trasplante, zonas de sombra prolongada por topografía, áreas con compactación severa del suelo, o espacios intencionales del diseño de plantación. La inspección visual de campo es recomendada para determinar la causa específica y programar eventuales replantes.

Comparativamente, el estado de la plantación de Bejuma muestra un desempeño superior al reportado para la plantación hermana en Nirgua, donde el "Buen Vigor" alcanzó solo el 31,62% y el "Vigor Deficiente" predominó con 55,56%. Esta diferencia inter-sitio sugiere que las condiciones edafoclimáticas o de manejo en Bejuma son relativamente más favorables, aunque ambas plantaciones comparten la limitación estructural de baja cobertura del dosel (~25%).

Integración de resultados e implicaciones de manejo

La integración de la información topográfica,

deficiencias en la fertilización de establecimiento (Zarco-Tejada *et al.*, 2014).

El 44,31% del área con "Vigor Deficiente" constituye la principal preocupación de manejo. Las zonas identificadas con este estatus (representadas en color amarillo/dorado en el mapa de vigor) se localizan predominantemente en la porción central y noreste de la parcela. La superposición espacial de este mapa con el DEM sugiere una posible correlación entre las zonas de menor vigor y las áreas de mayor elevación (>615 msnm), donde el drenaje más rápido podría limitar la disponibilidad de agua durante períodos secos. Esta hipótesis requiere validación mediante muestreo de suelo y análisis de humedad edáfica a profundidad de raíz.

estructural y fisiológica permitió una diagnosis integrada del estado de la plantación:

1. Las áreas clasificadas como "Vigor Deficiente" que coinciden con zonas de mayor elevación (>615 msnm) y menor cobertura del dosel deberían ser priorizadas para evaluaciones edáficas detalladas y ajustes en el programa de fertirrigación.
2. El 74,8% de suelo sin cobertura arbórea representa un riesgo de erosión, particularmente en las zonas de mayor pendiente identificadas en el MDE. La implementación de una cobertura vegetal de servicio en los callejones (ej. *Arachis pintoii*, *Macroptilium atropurpureum*) podría estabilizar el suelo sin competir agresivamente con los cítricos jóvenes (Avioz *et al.*, 2021).
3. El 3,53% de área sin vegetación arbórea (0,09 ha) debe inspeccionarse para confirmar la ausencia de árboles vivos y programar el replante durante la próxima ventana favorable (inicio de la estación lluvia).
4. La realización de vuelos UAV periódicos

(cada 3-6 meses) permitirá evaluar la evolución de la cobertura del dosel y el vigor, constituyendo un registro digital del desarrollo del huerto que facilite la toma de decisiones adaptativas.

CONCLUSIONES

La teledetección con UAV equipado con sensor RGB, procesada mediante plataformas especializadas de agricultura de precisión, constituye una herramienta técnicamente viable y costo-efectiva para el monitoreo de huertos cítricos en formación en condiciones tropicales venezolanas.

La plantación de naranja Valencia de un año de edad en Bejuma presenta una cobertura del dosel del 25,2% (0,64 ha), valor fisiológicamente esperable para su etapa de desarrollo, pero que implica un 74.8% de suelo desnudo susceptible a erosión y colonización de malezas.

El vigor promedio de la parcela fue de 37,11%, con el 52,16% del área en categoría de "Buen Vigor" y el 44,31% en "Vigor Deficiente". La ausencia de áreas con "Vigor Excelente" sugiere margen significativo para mejorar el manejo agronómico.

Los índices de vegetación RGB (EXG, GLI, Visual NDVI, VARI) mostraron rangos y distribuciones espaciales coherentes con el estado fisiológico del cultivo, siendo el EXG el índice con mayor sensibilidad para discriminar vegetación activa de suelo desnudo.

El modelo digital de elevación reveló una variabilidad topográfica de 14,32 m dentro del área estudiada, con zonas de menor elevación potencialmente más húmedas y zonas altas con mayor riesgo de drenaje excesivo, lo cual debe considerarse en la planificación del riego y la fertilización.

Se recomienda implementar un programa de monitoreo periódico con UAV,

complementado con validación de campo mediante muestreo edáfico y foliar en las zonas de menor vigor, para fundamentar decisiones de manejo diferenciado y mejorar la productividad sostenible de la plantación de cítricos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la empresa SIAGRICA por el aporte de los datos generados mediante vuelo UAV realizado el 21 de agosto de 2025 en la plantación de Naranja Bejuma, Estado Carabobo, Venezuela.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avioz, D., R. Linker, Raveh, E., Baram, S., Paz-Kagan, T. (2025). Multi-Scale Remote Sensing for Sustainable Citrus Farming: Predicting Canopy Nitrogen Content Using UAV-Satellite Data Fusion. Published in Smart Agricultural Technology. DOI: 10.1016/j.atech.2025. 100906Corpus ID: 277366113
- Colomina, I., and Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92, 79-97.
- Dobrowski, S. Z., Ustin, S. L., and Wolpert, D. (2003). Estimating subcanopy soil moisture with remote sensing. Agricultural and Forest Meteorology, 117(3-4), 185-193.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Stark, R., and Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. Remote Sensing of Environment, 80(1), 76-87.
- Gitelson, A. A., Viña, A., Arkebauer, T. J., Rundquist, D. C., Keydan, G., and Leavitt, B. (2003). Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize

- canopies. *Geophysical Research Letters*, 30(5), 1248. <https://doi.org/10.1029/2002GL016450>
- López, J., Comerma, J., Albarracín, J., y Pérez, M. (2018). Caracterización edafológica de los Valles Altos de Carabobo, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 35(2), 45–58.
- Louhaichi, M., Borman, M. M., and Johnson, D. E. (2001). Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International*, 16(1), 65-70.
- Meyer, G.E. and Neto, J.C. (2008). Verification of Color Vegetation Indices for Automated Crop Imaging Applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63, 282-293. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2008.03.009>
- Rosen, L., Ewing, P.M., and Runck, B.C. (2024). RGB-based indices for estimating cover crop biomass, nitrogen content, and carbon:nitrogen ratio. *Agronomy Journal*, 116(5), 21657.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., and Deering, D.W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, 1, 309–317.
- Sishodia R.P., Ram L.R. and Singh, S.K. (2020). Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. *Remote Sens.* 2020, 12, 3136
- Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., Serrano, N., Arquero, O., and Peña, J.M. (2015). High-throughput 3-D monitoring of agricultural-tree plantations with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology. *PLoS ONE*, 10(6), e0130479. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130479>
- Tucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Woebbecke, D.M., Meyer, G.E., Von Bargen, K., and Mortensen, D.A. (1995). Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the ASAE*, 38(1), 259-269.
- Wünsche, J.N., Lakso, A.N., and Robinson, T.L. (2000). Comparison of four methods for estimating total light interception by apple trees of varying forms. *HortScience*, 35(5), 768-773.
- Ye, X., Sakai, K., Garciano, L.O., Asada, S.I., and Sasao, A. (2018). Remote sensing for precision agriculture: Sensor systems and analysis methods. *Remote Sensing*, 10(12), 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10122018>
- Zarco-Tejada, P.J., Poblete, T., Beck, P.S.A., Edwards, G., Carmo, M., and Margate, R. (2014). High spatial and temporal resolution remote sensing for mapping crop water status. *Proceedings of SPIE*, 9239, 923907. <https://doi.org/10.1117/12.2067427>

Aspectos Generales



ÁREA DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA

REVISTA

UNERG Agro-Científica

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES



Equipo Editorial

Revista UNERG Agro-Científica

Depósito Legal: GU2018000037

ISSN: 2665-006

<https://unerg.edu.ve/unerg-agro-cientifica>

unergagrocientifica@gmail.com



Revista semestral del Área de Ingeniería Agronómica

REVISTA UNERG Agro-Científica

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

La Revista UNERG Agro-Científica publica siete (7) categorías o modalidades de trabajo: Artículos Científicos, Artículos de Reflexión, Artículos de Revisión, Nota Técnica, Trabajos Especiales, Ensayos y Homenajes académico-científicos.

1. Trabajos inéditos

Los artículos a considerar por el Comité Editorial de la Revista UNERG Agro-Científica deben ser inéditos, por lo que aquellos documentos publicados en otras revistas o publicaciones técnico-científicas no serán aceptados. El trabajo original debe enviarse vía electrónica a través del correo: unergagrocientifica@gmail.com

***Para la recepción del artículo, se sugiere adaptar el trabajo de investigación al formato del manuscrito modelo de la revista:**

https://drive.google.com/drive/folders/1Z6keJn5johQVI_EfVhymGkgF3uQ8Ou6N?usp=sharing

https://docs.google.com/document/d/1zW_B55btKnZtNPNm9ayZYxsEY_t6j8YE/edit?usp=sharing&oid=115318504036565702672&rtpof=true&sd=true

2. Modalidades de trabajo

- a) **Artículo Científico:** Es un texto de carácter académico-científico que debe seguir las normas establecidas en el presente documento tanto en los aspectos de forma como en su contenido. Aborda una amplia variedad de temáticas insertas dentro de las ciencias agrícolas, bajo los paradigmas de investigación cuantitativo y cualitativo. El texto deberá estar redactado en lenguaje técnico y formal. Por su carácter inédito debe ser una investigación que sea un aporte al conocimiento científico de la disciplina o área de conocimiento relacionado con

la producción agropecuaria y afines. La extensión del trabajo no debe exceder de 30 páginas, incluyendo cuadros, figuras y literatura citada.

- b) **Artículo de Reflexión:** documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa y crítica del autor, sobre un tema específico y recurriendo a fuentes originales
- c) **Artículo de Revisión:** Se trata de artículos sobre temas que basado en trabajos de diversos referentes así como avances científicos, requieren de una visión más completa, con el fin de facilitar la comprensión de los alcances de dichos adelantos. La información debe ser tratada en forma de disertación, análisis analítico o descriptivo, confrontación o comparación. Estos serán solicitados a especialistas de reconocida trayectoria profesional que hayan realizado aportes en los temas requeridos. El texto se presentará de forma libre y no deberá exceder de 20 páginas
- d) **Nota Técnica:** Son textos cortos que describen técnicas experimentales, resultados parciales o detalle de un trabajo, extensión de distribución de especies, registros de nuevas técnicas, avance de investigación que luego serán publicados en extenso. Dentro de esta modalidad se incluyen reseñas de libros recientemente publicados, el texto no debe exceder de 8 páginas.
- e) **Trabajos Especiales:** Son trabajos de un área temática actualizada, de orden científico o técnico, así como de eventos científicos de relevancia nacional e internacional, donde entra a discusión temas de aspecto social, académico, científico, de interés de la sociedad. Los temas serán solicitados a especialistas de reconocida trayectoria profesional y que hayan realizado aportes importantes en los temas sugeridos. El texto se presentará de forma libre y no deberá exceder de 15 páginas.
- f) **Ensayo:** es un escrito breve generalmente expositivo-argumentativo, que analiza o reflexiona en torno a un tema libre elegido y abordado por parte del autor, pero relacionado con la temática agrícola, agroalimentario, agroambiental y afines, en el cual el autor reflexiona, diserta, evalúa o analiza el tema en forma rigurosa, sustentado en la lógica y la información de interés.
- g) **Homenajes académicos y científicos** (en vida y póstumos): Son relatos que resaltan la trayectoria científica de investigadores que hacen vida o que han hecho vida en el acontecer académico nacional e internacional. Se trata de relatos biográficos que resaltan el legado y mérito en el campo del conocimiento agropecuario.

3. Detalles de la Estructura de Artículos

De acuerdo a la naturaleza del trabajo se deberá estructurar de la siguiente manera: En el caso de artículos derivados de estudios bajo **enfoque cuantitativo** se empleará la secuencia: Introducción (Problema, justificación y objetivos), Materiales y Métodos, Resultados y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos (opcional) y Referencias bibliográficas. Para los estudios con **enfoque cualitativo** se sugiere el siguiente orden: Introducción: (Objeto de estudio, justificación y propósitos), Metodología, Resultados y Hallazgos, Conclusiones y/o aproximaciones, Agradecimientos (opcional) y Referencias bibliográficas.

- a) **Introducción:** Este aspecto debe contener la situación actual del problema, su definición y la revisión de los trabajos previos relacionados con él; además, los objetivos y la justificación de la investigación. Es obligatorio acompañar los nombres vulgares con el nombre(s) científico(s) y la abreviatura(s) del clasificador en la primera mención dentro del artículo. En el enfoque cualitativo, debe presentar el objeto de estudio, justificación y propósitos. Las referencias en la introducción deben ser limitadas.
- b) **Materiales y Métodos** (Enfoque cuantitativo) **o Metodología** (Enfoque cualitativo): En este apartado se deben describir de forma clara, concisa y secuencial, los materiales (vegetales, animales, implementos agrícolas, e laboratorio, programas, herramientas de sistemas de información) utilizados en desarrollo del trabajo, además de los procedimientos o protocolos seguidos y el diseño escogido para el tratamiento estadístico de los datos. Cuando las investigaciones se realicen bajo el paradigma cualitativo, se indica el marco o contexto teórico que describe conceptos, modelos o enfoques que orientan la investigación y los referentes teóricos relacionados con los discursos de los actores y las técnicas de interpretación de la información y categorización.
- c) **Resultados y Discusión** (Enfoque cuantitativo) **o Resultados y Hallazgos** (Enfoque cualitativo): Los resultados deben presentarse de manera lógica, objetiva y secuencial mediante textos, cuadros y figuras; estos dos últimos apoyos deben ser fáciles de leer e interpretar, y deben citarse siempre en el texto. Las **figuras** serán bidimensionales y con opción abierta en cuanto al uso del color o escala de grises. Los **cuadros** se deben elaborar con pocas columnas y renglones, preferiblemente con líneas horizontales. La discusión de resultados debe ser completa y exhaustiva, contrastando los resultados obtenidos con la literatura actualizada sobre la temática o el área de conocimiento. En esta sección se relacionan los hallazgos más concluyentes de la investigación
- d) **Conclusiones** referidas a los estudios cuantitativos y/o **Aproximaciones** al tratarse de estudios cualitativos. En este apartado se relacionan en forma breve los hallazgos más concluyentes de la investigación, es decir aquellos

que constituyan un aporte significativo para el avance del campo temático explorado en el área agronómica y afines. Las conclusiones o hallazgos deben ser concisas y concretas, basadas en los objetivos o propósitos del trabajo.

- e) **Referencias bibliográficas:** Para las citas bibliográficas que sustentan las afirmaciones dentro del texto se utilizará el sistema [autor(es), año] de manera uniforme. Cuando la publicación citada tenga tres o más autores, se debe mencionar el apellido del primer autor acompañado de la expresión latina *et al.*, equivalente a 'y otros', en cursivas y con el año (e.g. Orta *et al.*, 2003). La lista completa con las referencias bibliográficas mencionadas se debe incluir al final del artículo. Los apellidos y nombres de todos los autores deben escribirse en letras redondas (derecha y circular), en el orden alfabético de sus apellidos. Cuando se citan varias publicaciones del mismo(s) autor(es) deben listarse en orden cronológico.

4. Consideraciones sobre el manuscrito

- a) **Idioma:** Los trabajos pueden escribirse en castellano o inglés.
- b) **Formato:** Deben ser escritos utilizando preferiblemente los procesadores de palabras *Open Office Writer*® o en su defecto *Microsoft Office Word*® en cualquiera de sus versiones recientes, fuente Arial tamaño 12 a espacio sencillo para el texto; para los cuadros y figuras Arial tamaño 11, y para las referencias tamaño 11.
- c) **Título e identificación del trabajo:** El título debe ir en letra Arial, tamaño 12, alineado al centro, en mayúscula y negrita. No debe contener más de 15 palabras. Debajo del título dejar una línea en blanco. Seguidamente colocar los autores del trabajo con nombre y apellido a la derecha colocar número para identificar la institución. También se debe incluir el correo electrónico de los autores. Dejar una línea en blanco.
- d) **Resumen:** El resumen en castellano es obligatorio y debe colocarse después de los datos del trabajo (título y autores). Antes del resumen debe colocarse el subtítulo **RESUMEN**, centrado. El texto debe escribirse centrado, en fuente Arial, tamaño 10, mayúsculas, negrita y alineación de párrafo justificado, sin sangrías a la derecha o izquierda y espacio (entre líneas) sencillo.
- e) El resumen no debe exceder de 300 palabras y estar escrito en un solo párrafo de tipo informativo. Debe ser adecuado para su reproducción (sin necesidad de una nueva redacción) y deberá especificar de forma breve y resumida:

introducción, objetivos o propósitos, técnicas experimentales, resultados y las conclusiones o hallazgos

- f) Debajo del resumen y dejando una línea en blanco, se coloca el listado de las palabras clave, de tres (3) a cinco (5) palabras escritas en mayúsculas separadas por comas. Utilice estilo Normal, fuente Arial, tamaño 10, alineación de párrafo justificado, sin sangrías a la derecha o a la izquierda y con espacio entre líneas sencillo. Dejar dos líneas en blanco.
- g) Abstract: Es el texto del resumen traducido en inglés, en caso de que el trabajo esté escrito en idioma castellano. En el caso de que el artículo esté escrito en idioma inglés, el resumen debe ser traducido en idioma castellano.
- h) La introducción y el resto del texto del trabajo deben escribirse a espacio sencillo y en hojas tamaño carta (21,5 x 28 cm), con márgenes de 2,5 cm por cada lado, utilizando estilo Normal, fuente Arial, tamaño 12, alineado con párrafo justificado, sin sangría. Texto que debe contener la situación actual del problema, su definición y la revisión de los trabajos previos relacionados con él; además, los objetivos y la justificación de la investigación. Es obligatorio acompañar los nombres vulgares con el nombre(s) científico(s) y la abreviatura(s) del clasificador en la primera mención dentro del artículo.
- i) Los párrafos deberán estar separados por una línea en blanco. Se sugiere a los autores utilizar subtítulos descriptivos de la forma siguiente: Introducción, Materiales y Métodos (metodología), Resultados (hallazgos), Discusión, Conclusiones (aproximaciones), Agradecimientos y Referencias bibliográficas. Se sugiere el uso del Sistema Internacional de Unidades del Sistema Métrico Decimal (<https://ingemecanica.com/tutoriales/unidadesdemedida.html>), además de las unidades específicas de mayor uso por parte de la comunidad científica en el ámbito agrícola. El significado de las abreviaturas debe citarse por extenso cuando se mencionan por primera vez en el manuscrito. El estilo de escritura debe ser absolutamente impersonal, en tiempo gramatical pasado, evitando la conjugación de verbos en primera o tercera persona del singular o el plural.
- j) Los subtítulos de cada sección en fuente Arial, tamaño 12, mayúsculas, negrita, sin numeración, separados del párrafo anterior con una línea en blanco, y del párrafo siguiente con una línea en blanco. El manuscrito debe ser claro y conciso y con una extensión no menor a 10 páginas y no mayor de 20 páginas.
- k) Abreviaturas, símbolos y terminología. En caso de aparecer en el texto abreviaturas nuevas o especiales, debe incluirse en el manuscrito un listado de las mismas con su significado.

- l) Leyendas, figuras y cuadros: Deben ser incluidas e indicadas en el texto de forma legible.
- m) Cuadros: Construidos con la herramienta de su preferencia, deberán ser numerados consecutivamente con números arábigos, referidos en el texto e insertadas en el lugar correspondiente. Para su incorporación en el texto, dejar una línea en blanco antes del cuadro y dos líneas en blanco después del mismo. Cada cuadro debe tener un título breve. Las aclaratorias deben estar al pie, no en el título. Se sugiere la utilización de líneas horizontales para la separación entre el título de la tabla, los subtítulos de las columnas, el cuerpo de datos y las notas.
- n) Los encabezamientos de las columnas serán cortos, abreviados y cuando sea necesario, serán explicadas en notas al pie, la cual debe ser en fuente Arial tamaño 10.
- o) Títulos de cuadros: se deben colocar en una línea inmediata superior del cuadro y alineado justificado. Usando fuente Arial, tamaño 11. Después del título se debe dejar una línea en blanco.
- p) Figuras: Serán consideradas los gráficos, mapas, imágenes, ilustraciones, fotografías y otros, y deberán ser numeradas consecutivamente con números arábigos, referidas en el texto e insertadas en el lugar correspondiente. Su presentación se hará en colores, blanco y negro o escala de grises de manera nítida, con una apropiada resolución de 600 x 600 dpi (puntos por pulgada). En caso de requerir leyendas, éstas deberán escribirse utilizando fuente Arial, tamaño 10. Para su incorporación en el texto, igualmente se deberá dejar una línea en blanco antes de la figura y dos líneas en blanco después de ella.
- q) Título de las Figuras: Debe estar en la línea inmediatamente inferior de la Figura, con alineamiento justificado, utilizando fuente Arial, Tamaño 11. Después del título se debe dejar una línea en blanco.
- r) Fórmulas o Ecuaciones: Deberán ser generadas por editores de ecuaciones actualizados, utilizando fuente Arial, tamaño 10, negritas y centradas. Las mismas deberán ser numeradas en secuencia y referidas en el texto. Para su incorporación dejar una línea en blanco, antes y después de la ecuación. Ejemplo:

$$\frac{\partial(\varepsilon v)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = 0 \quad (1)$$

s) Referencias bibliográficas: Las referencias, deben limitarse a trabajos directamente relacionados con el trabajo y citadas en el texto. Un “**Abstract**” identificado adecuadamente (Abs.), puede ser citado sólo cuando sea la única fuente bibliográfica disponible. Los autores son responsables de la exactitud de las referencias. Las referencias deben ser ordenadas alfabéticamente. La cita de cada referencia debe ser incluida en el texto por el apellido del autor y año de publicación. Cuando la cita de cada referencia tenga más de un autor se colocará según el ejemplo: (Acosta *et. al.* 2004). Para realizar el listado de referencias, tanto de documentos en físico como electrónico se debe utilizar el sistema o método internacional, utilizando fuente **Arial 11**. Alineación de párrafo justificado y sangría de 0,7 cm a la izquierda a partir de la segunda línea del párrafo. A continuación, se proporcionan algunos casos y ejemplos:

- Libros: Autor (es), año. Título del libro, edición, casa editora y ciudad de su sede, páginas totales. Ejemplo: Valera, A. (2018). Geomorfometría y Edafometría. Cartografía Digital de Paisajes y Suelos con Técnicas de Inteligencia Artificial. Editorial Académica Española. Saarbrücken, Alemania. ISBN: 978-620-2-12102-6. 316 p.
- Capítulos de libros: Autor (es), año. Título del capítulo, páginas consultadas (pp. # - #). En: Apellidos y nombres de los compiladores o editores (eds.), título del libro, edición, casa editora y ciudad de su sede, páginas totales (# p.). Ejemplo: McKay, J.; S. Grunwald; X. Shi and R.F. Long. (2010). Evaluation of the transferability of a knowledge-based soil-landscape model. pp. 165-177. In: Boettinger J., D.W. Howell, A.C. Moore, A.E. Hartemink, and S. Kienast-Brown (eds.). Digital Soil Mapping: Bridging Research, Production and Environmental Applications. Springer, HeideLDerg.
- Revistas/Publicaciones Periódicas: Autor (es), año. Título del artículo, nombre de la revista número, (volumen), páginas. Ejemplo: Viloria J.A, A. Viloria-Botello, M.C. Pineda y Valera, A. (2016). Digital modelling of landscape and soil in a mountainous region: A neuro-fuzzy approach. Geomorphology 253: 199-207.
- Trabajos presentados en Seminarios y Jornadas: Klein, E., Chollett, I. y Castillo, C. (2007). Mapas auto organizados para la extracción de patrones espaciales en datos satelitales hipertemporales. En: Memorias II Jornadas Nacionales de Geomática. 3 al 5 de octubre, 2007. Caracas, Venezuela. pp. 10-22.
- Trabajos presentados en Congresos y Conferencias: Pineda, M.C., Valera, A., Viloria, J.A., Caballero, R., Lozano, Z., Lobo, D. y Timm, L.C. (2015). Mapa digital de clases texturales de suelo en un área bajo agricultura intensiva. 1er. Congreso Nacional de Geomática. Caracas, 26 al 31 de octubre de 2015. 5 p.

- Trabajos de Grado/ Tesis Doctoral: Ospina, A. (2003). Aplicación de un modelo de evaluación de tierras en la Cuenca Alta del Río Guárico, mediante el uso de indicadores de calidad de suelos. Trabajo de Maestría en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, 230 p.
- Trabajos de Ascenso: Pineda, M.C. (2008). Determinación de áreas susceptibles a movimientos en masa y erosión laminar en unidades de paisaje de la subcuenca del río Caramacate, localizada en la Cuenca Alta del Río Guárico. Trabajo de Ascenso (Asistente). Facultad de Agronomía, UCV. Maracay. 313 p.
- Revistas y otras fuentes electrónicas: Autor (es), año. Título del artículo. En: Nombres de la publicación electrónica, del website, portal o página y su URL, páginas consultadas (pp. #) o páginas totales (# p.); fecha de consulta. Ejemplo: Zhu, A.X. y Burt, J.E. (2015). Digital Soil Mapping Software: SoLIM Solutions 2015. Reference Manual. Institute of Geographic Sciences, Natural Resources Research-Chinese Academy of Sciences-The University of Wisconsin-Madison. [On line]: <http://solim.geography.wisc.edu/software/index.htm> Consulta: noviembre, 2015.

-

*****Importante:** Para la aceptación del artículo, se sugiere adaptar el trabajo de investigación al formato del manuscrito modelo de la revista:

https://docs.google.com/document/d/1zW_B55btKnZtNPNm9ayZYxsEY_t6j8YE/edit?usp=sharing&ouid=115318504036565702672&rtpof=true&sd=true

REVISTA UNERG Agro-Científica

5. Consideraciones sobre Investigaciones de Enfoque Cualitativo

La investigación cualitativa es valiosa para explorar en profundidad temas complejos, comprender perspectivas individuales y obtener una visión más rica y holística de los fenómenos sociales y humanos. Para los estudios con enfoque cualitativo se sugiere el siguiente orden: **Introducción:** (Objeto de estudio, justificación y propósitos), Metodología (**Diseño de la investigación, Recopilación de datos, Análisis de datos**), Resultados y Hallazgos, Conclusiones y/o aproximaciones, Agradecimientos (opcional) y Referencias bibliográficas.

Aspectos que se consideran en los artículos de investigación cualitativa

Los artículos de investigación cualitativa también tienen una estructura establecida, aunque difieren en algunos aspectos clave de los artículos basados en investigaciones cuantitativas. La investigación cualitativa se enfoca en comprender fenómenos sociales y humanos desde una perspectiva más interpretativa y subjetiva, en lugar de utilizar métodos numéricos y estadísticos. Aquí hay algunos aspectos que se consideran importantes en los artículos de investigación cualitativa:

1. **Introducción:** Al igual que en los artículos cuantitativos, la introducción proporciona el contexto y la justificación del estudio. Se describen los objetivos de la investigación, el problema de investigación, la relevancia del tema y las preguntas de investigación que guiarán el estudio cualitativo.
2. **Marco teórico y revisión de literatura:** Se presenta el marco conceptual que sustenta la investigación y se realiza una revisión de la literatura relevante. Esto puede incluir teorías, enfoques y conceptos clave relacionados con el tema de estudio y la metodología cualitativa empleada.
3. **Diseño de la investigación:** Aquí se describe la metodología cualitativa utilizada para la recopilación de datos. Se incluye una discusión detallada sobre el enfoque cualitativo (por ejemplo, etnografía, estudio de casos, fenomenología, teoría fundamentada), la justificación de la elección del método y la muestra de participantes.
4. **Recopilación de datos:** Se explican los procedimientos empleados para la recolección de datos cualitativos, que pueden incluir entrevistas, observación participante, grupos focales, análisis de documentos, entre otros. También se describe cómo se aseguró la validez y la confiabilidad en la recopilación de datos.
5. **Análisis de datos:** Esta sección es esencial en la investigación cualitativa. Aquí se describe cómo se procesaron, organizaron y analizaron los datos recopilados. Los investigadores utilizan técnicas específicas para identificar temas emergentes, patrones, relaciones y conceptos clave dentro de los datos.
6. **Resultados:** Los resultados cualitativos se presentan en forma de narrativas y descripciones detalladas, respaldadas por citas y ejemplos extraídos de los datos.

Los investigadores pueden incluir extractos de entrevistas o ejemplos de observaciones para ilustrar sus hallazgos.

7. **Discusión:** En esta sección, los investigadores interpretan los resultados cualitativos en el contexto del marco teórico y la literatura revisada. Se analizan los hallazgos en profundidad, se establecen conexiones con investigaciones previas y se destacan las implicaciones y relevancia de los resultados.
8. **Conclusiones/Hallazgos:** Las conclusiones de un artículo de investigación cualitativa resumen los principales hallazgos y cómo contribuyen al conocimiento existente sobre el tema. También se pueden discutir limitaciones y direcciones futuras para la investigación.

REVISTA UNERG Agro-Científica

6. Consideraciones sobre Artículos Tipo Ensayo:

La estructura de un artículo tipo ensayo puede variar dependiendo del campo de estudio y las preferencias de la revista o publicación donde se presentará. Sin embargo, en general, un ensayo sigue una estructura básica que incluye las siguientes secciones:

1. Introducción:

- Comienza con una introducción que presenta el tema del ensayo y captura la atención del lector.
- Proporciona una breve descripción del tema y su relevancia.
- Presenta la tesis o argumento principal que será desarrollado a lo largo del ensayo.

2. Desarrollo:

- El desarrollo del ensayo comprende varias secciones o párrafos que respaldan y explican la tesis presentada. Cada párrafo debe centrarse en un argumento o idea específica que respalde la tesis.
- Los argumentos deben estar respaldados por evidencias, ejemplos, citas o datos relevantes.
- Esta sección puede incluir: i) un **marco teórico**, con revisión de teorías, conceptos y literatura relevante; ii) un **análisis argumentativo**, uso de evidencia (leyes, jurisprudencia, datos secundarios) para sustentar la tesis; y iii) una **metodología** (opcional), con una descripción del enfoque metodológico si se incluye análisis de datos secundarios, identificando el tipo de investigación (documental, cualitativa), y las fuentes de información (leyes, informes, artículos científicos).

3. Contrargumentación (opcional):

- En algunos ensayos, puede incluirse una sección dedicada a contrarrestar posibles argumentos en contra de la tesis.
- Esto muestra que el autor ha considerado otras perspectivas y ha reforzado su posición.

4. Análisis y discusión:

- Esta sección permite profundizar en el tema y presentar un análisis más detallado de los argumentos presentados.
- Se pueden abordar aspectos como implicaciones, limitaciones, ventajas o desventajas de la tesis.

5. Conclusiones:

- En la sección de conclusiones, se reafirma la tesis y se resume el argumento principal del ensayo.
- No deben introducirse nuevos argumentos en esta sección; se trata de un resumen y cierre.

6. Recomendaciones o reflexiones finales (opcional):

- Algunos ensayos pueden incluir una sección de recomendaciones o reflexiones sobre el tema tratado.
- Esto puede proporcionar una perspectiva más amplia y sugerir posibles pasos a seguir.

7. Bibliografía o referencias:

- Si el ensayo incluye citas, referencias o fuentes utilizadas, se debe incluir una lista de bibliografía al final del documento.

La redacción en un ensayo debe ser clara, coherente y persuasiva. Los párrafos deben fluir de manera lógica, y se deben utilizar ejemplos o evidencias relevantes para respaldar los argumentos presentados. Además, se debe utilizar un lenguaje adecuado para el público objetivo y mantener una estructura organizada para facilitar la comprensión del lector.

REVISTA UNERG Agro-Científica

5. Consideraciones sobre Investigaciones de Enfoque Cualitativo

Un trabajo de investigación jurídica que incluya bases jurisprudenciales debe seguir una estructura rigurosa y metodológicamente coherente, adaptada a las normas académicas, a las particularidades del derecho agrario, y ajustado a una revista científica. A continuación, se detalla la estructura recomendada y el tipo de estudio asociado:

Estructura del trabajo de investigación jurídica

1. Título:

- Título claro y específico.
- Autor, institución, fecha.

2. Resumen/Abstract

- Síntesis del problema, metodología, objetivos y conclusiones (en español e inglés, si es requerido).

3. Introducción (en párrafos continuos)

- Planteamiento del problema jurídico.
- Justificación (relevancia teórica, social o práctica).
- Objetivos (general y específicos).
- Hipótesis (si aplica).
- Breve mención del marco teórico y jurisprudencial.

4. Marco teórico y conceptual (puede estar incluido en la introducción)

- Fundamentos doctrinales: teorías, conceptos legales y doctrina académica.
- Contexto normativo: leyes, reglamentos o tratados relevantes.
- Definición de términos técnicos.

5. Metodología

- Tipo de estudio (ej: dogmático, empírico, comparativo).
- Enfoque (cualitativo, cuantitativo o mixto).
- Fuentes:
 - **Primarias:** legislación, jurisprudencia, tratados.
 - **Secundarias:** doctrina, artículos científicos.
- Criterios de selección de jurisprudencia (ej: tribunales superiores, casos emblemáticos, temporalidad).
- Técnicas de análisis: interpretación jurídica, análisis crítico, comparación de fallos.

6. Análisis jurisprudencial

- Exposición sistemática de los casos relevantes: Tribunal, fecha, hechos, cuestiones jurídicas, argumentos y decisión.
- Identificación de líneas jurisprudenciales (tendencias, contradicciones, evolución).
- Relación con el marco teórico y normativo.
- Crítica a fallos controvertidos (si aplica).

7. Discusión

- Contrastar resultados con la doctrina y la legislación.

- Señalar vacíos, incoherencias o contribuciones de la jurisprudencia al tema.

8. Conclusiones

- Respuestas a los objetivos planteados.
- Síntesis de hallazgos jurisprudenciales.
- Recomendaciones (ej: reformas legales, unificación de criterios judiciales).

9. Referencias bibliográficas y jurisprudenciales

- Normas según la Revista UNERG Agro-Científica.
- Incluir fuentes legales (leyes, sentencias) y académicas (libros, artículos).

Recomendaciones para los Autores:

- **Selección de jurisprudencia:** Priorizar fallos de tribunales superiores (Cortes Supremas, Tribunales Constitucionales) y casos emblemáticos.
- **Profundidad crítica:** No solo describir sentencias, sino cuestionar su fundamentación o efectos.
- **Actualización:** Incluir jurisprudencia reciente para reflejar el estado actual del derecho.

Este enfoque garantiza rigor académico y relevancia práctica, esencial en investigaciones jurídicas.



*****Importante:** Para la aceptación del artículo, se sugiere adaptar el trabajo de investigación al formato del manuscrito modelo de la revista:

https://drive.google.com/drive/folders/1Z6keJn5johQVI_EfVhymGkgF3uQ8Ou6N?usp=sharing



Equipo Editorial

Revista UNERG Agro-Científica

Universidad Nacional Experimental

Estado Guárico, Venezuela



Centrales "Rómulo Gallegos" (UNERG)

Depósito Legal: GU2018000037

ISSN: 2665-0061