

Artículo Científico

Modelación DSSAT del maíz bajo cambio climático y densidad de siembra en época lluviosa

DSSAT modeling of corn under climate change and planting density during the rainy season



Brito-Gómez, Víctor Manuel ¹



<https://orcid.org/0000-0001-7655-1480>



vbrito@uteq.edu.ec



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.



Miranda-Monar, Gino Hipolito ³



<https://orcid.org/0009-0000-9556-5298>



gino.miranda2018@uteq.edu.ec



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.



Miranda-Monar, Heiddy Paola ⁵



<https://orcid.org/0009-0009-3474-4263>



heiddypmon.miranda@uteq.edu.ec



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.



Herrera-Jácome, Darío Fernando ²



<https://orcid.org/0000-0003-2569-796X>



dherreraj@uteq.edu.ec



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.



Conrado-Palma, Diego Javier ⁴



<https://orcid.org/0000-0002-1917-0814>



dconradop@uteq.edu.ec



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/170>

Resumen: El cultivo de maíz en época lluviosa es vulnerable a la variabilidad climática; por ello se evaluó su comportamiento agronómico bajo escenarios de cambio climático y diferentes densidades de siembra mediante un modelo de simulación de cultivos. Se integraron mediciones de campo con información climática y edáfica del sitio y se ejecutaron tres escenarios. Se analizaron altura de planta, número de hojas, índice de área foliar, biomasa aérea y radical y crecimiento radical. La validación se efectuó comparando valores observados y simulados con el coeficiente de determinación. En el primer escenario, el número de hojas mostró una media observada de 15 y una simulada de 16, y el índice de área foliar fue superior en la simulación. En el tercer escenario, el modelo sobreestimó la longitud radical y subestimó la altura de planta, aunque mantuvo un ajuste alto para variables del dosel. En conjunto, el modelo permitió representar la dinámica vegetativa y respaldar decisiones de manejo ante variabilidad climática en sistemas productivos de la zona.

Palabras clave: fenología, modelización, biomasa, *Zea mays*.



Check for updates

Received: 26/Ene/2026
Accepted: 15/Feb/2026
Published: 12/Mar/2026

Cita: Brito-Gómez, V. M., Herrera-Jácome, D. F., Miranda-Monar, G. H., Conrado-Palma, D. J., & Miranda-Monar, H. P. (2026). Modelación DSSAT del maíz bajo cambio climático y densidad de siembra en época lluviosa. *Revista Científica Ciencia y Método*, 4(1), 548-562. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/170>

Revista Científica Ciencia y Método (RCyM)
<https://revistacym.com>
revistacym@editorialgrupo-aea.com
info@editorialgrupo-aea.com

© 2026. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



Abstract:

Corn cultivation during the rainy season can be affected by climate variability; therefore, this study evaluated the agronomic performance of corn during the rainy season under climate change and planting densities using a crop simulation model. Field, climate, and soil data were integrated, and three scenarios were run; plant height, number of leaves, leaf area index, above-ground and root biomass, and root growth were analyzed. The simulation was validated by comparing observations and simulations with the coefficient of determination. In the first scenario, the number of leaves observed was 9 and the simulated number was 12, with a coefficient of determination of 0.946; the leaf area index was 0.56 observed and 0.68 simulated. In the third scenario, the simulated root length was 0.51 meters compared to 0.23 meters observed, and the simulated height was 0.16 meters compared to 0.61 meters observed. It is concluded that the model allows for the projection of corn development and supports agronomic decisions in the face of short-term climate variability.

Keywords: phenology, modeling, biomass, *Zea mays*.

1. Introducción

El maíz se mantiene como un alimento básico y un componente clave de la seguridad alimentaria, por lo que su productividad depende de prácticas de manejo que optimizan el suelo y los nutrientes. En sistemas de producción, la labranza mecanizada y la fertilización influyen en el establecimiento, el crecimiento y la expresión del rendimiento, con efectos que cambian según el ambiente y el manejo. Estos componentes determinan la eficiencia del uso de recursos y la estabilidad productiva en el tiempo, y aportan evidencia aplicada para ajustar recomendaciones agronómicas en condiciones reales (Vera et al., 2023).

En contextos donde coexisten productores tecnificados y de pequeña escala, el rendimiento del maíz se explica por la interacción entre genotipo, manejo y ambiente. La evaluación comparativa de híbridos permite describir diferencias en desarrollo fenológico, vigor y rendimiento, y orienta la selección de materiales según condiciones locales. Esta evidencia resulta relevante para reducir brechas de productividad, especialmente cuando el acceso a información técnica es limitado. La literatura nacional muestra que los híbridos responden de manera diferencial y que la elección del material incide en la eficiencia del sistema bajo lluvia estacional (Guamán et al., 2020).

La gestión del riesgo climático en maíz requiere herramientas que traduzcan información meteorológica en respuestas agronómicas esperadas. Los modelos de simulación basados en procesos, como el modelo CERES-Maíz integrado en el Sistema de Apoyo para la Transferencia de Tecnología Agropecuaria, permiten

evaluar pronósticos agroclimáticos y explorar el desempeño de híbridos en distintas localidades, en diferentes ventanas temporales, manteniendo coherencia fisiológica en la simulación del cultivo. Su uso favorece la planificación de siembras, la comparación de estrategias de manejo y la anticipación de escenarios productivos, con base en validaciones frente a datos observados (Ordoñez, 2018).

El cambio climático modifica la disponibilidad hídrica y el balance térmico durante el ciclo del maíz, lo que altera tasas de crecimiento, duración fenológica y potencial de rendimiento. El aumento de temperatura puede acelerar el desarrollo y acortar etapas críticas, mientras la variabilidad de lluvias condiciona la humedad del suelo y el estrés hídrico. En consecuencia, se incrementa la incertidumbre productiva y se refuerza la necesidad de estrategias de adaptación basadas en evidencia. Estudios describen efectos del calentamiento global sobre el comportamiento del cultivo y destacan la relevancia de evaluar escenarios futuros (Montilla-Pacheco & Pastrán-Calles, 2024).

La investigación sobre maíz incorpora enfoques de modelación para estimar crecimiento y rendimiento bajo escenarios de clima cambiante, en época lluviosa y seca. Revisiones especializadas señalan que los modelos integran procesos fisiológicos, manejo y condiciones edáficas para comparar alternativas y evaluar sensibilidad a temperatura y precipitación. También resaltan que la utilidad depende de calibración y validación con información local, así como de variables que representen el desempeño del cultivo. En conjunto, la literatura describe la modelación como apoyo para diseñar medidas de adaptación y gestionar el riesgo climático en sistemas maiceros (Noriega et al., 2021).

En este contexto, el desempeño del maíz durante la época lluviosa requiere ser analizado, porque la precipitación, la humedad del suelo y la variabilidad térmica condicionan el crecimiento y el desarrollo radical. Además, la densidad de siembra modifica la competencia por luz, agua y nutrientes, y puede amplificar respuestas ante condiciones climáticas cambiantes. Por ello, este trabajo evalúa el comportamiento agronómico del maíz en la Finca La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, mediante simulación y validación con datos de campo, para estimar la capacidad predictiva del modelo y apoyar decisiones de manejo.

2. Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el Campus Universitario “La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicado en el km 7 ½ de la vía Quevedo–El Empalme, cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador (1°3'18" S y 79°25'24" O), a 77,60 m s. n. m., durante la época lluviosa (diciembre–junio). El área corresponde a una zona ecológica Bh-T, con topografía plana. Las condiciones agroclimáticas promedio del sitio incluyeron temperatura media de 24,9 °C, humedad relativa de 87,71%, precipitación anual de 2295,1 mm y heliofanía de 870,2 h año⁻¹. El estudio se estructuró en tres escenarios de análisis, definidos para integrar condiciones

climáticas, edáficas y de manejo en el marco de la simulación y su contraste con registros de campo.

Se adoptó un enfoque cuantitativo con integración de evaluación de campo y simulación, con alcance descriptivo–correlacional, orientado a analizar la respuesta del cultivo ante variabilidad climática y densidad de siembra. La información primaria se obtuvo mediante mediciones periódicas del desarrollo del cultivo durante la etapa vegetativa, mientras que la información secundaria provino de bases climáticas y de la caracterización edáfica del sitio, empleadas como insumos para la parametrización y ejecución del modelo DSSAT. Los registros climáticos (precipitación, temperatura máxima y mínima y humedad relativa) se obtuvieron de una estación meteorológica del área de estudio, se depuraron y se organizaron en el formato requerido por el modelo para garantizar consistencia en la simulación.

Para el componente edáfico, se utilizó la caracterización del suelo de la finca, incorporando información de textura, horizontes y propiedades físico-hídricas necesarias para representar el balance de agua en el perfil. En DSSAT se configuró el módulo de agua del suelo para simular la dinámica de almacenamiento y movimiento de agua en función de los días después de la siembra, lo que permitió analizar, por escenario, variables hidro-físicas derivadas del modelo, incluyendo precipitación acumulada, agua total en el suelo, agua extraíble, drenaje profundo y escorrentía acumulada. Esta salida del modelo se utilizó para interpretar el comportamiento hídrico del perfil en época lluviosa y su relación con el desarrollo vegetativo.

El material vegetal correspondió a maíz (*Zea mays L.*) y se trabajó con los híbridos Esplendor y Advanta. La parametrización del cultivo consideró la duración del ciclo y los rasgos fenológicos necesarios para la simulación, de manera que el modelo pudiera reproducir la evolución del cultivo y permitir la comparación con las observaciones de campo. Se definieron tres escenarios de simulación y se ejecutaron con la combinación correspondiente de clima, suelo y manejo agronómico. El manejo incorporado en la simulación incluyó la densidad de siembra y el número de semillas por hoyo, como factores centrales del análisis, en conjunto con las condiciones ambientales del periodo lluvioso.

El procedimiento se organizó en tres fases. En la primera se estableció el cultivo bajo el manejo definido para el estudio y se realizó el monitoreo periódico de las unidades evaluadas durante la etapa vegetativa. En la segunda se integraron los datos climáticos, edáficos y de manejo en DSSAT para generar las simulaciones de cada escenario, asegurando coherencia temporal entre registros meteorológicos y fechas de siembra. En la tercera se contrastaron las variables simuladas y observadas para valorar el desempeño del modelo y describir su capacidad para representar la dinámica del cultivo en el periodo de evaluación, identificando concordancias y discrepancias por escenario.

Las mediciones de campo se realizaron cada ocho días y se seleccionaron, para el artículo, variables directamente comparables con las salidas del modelo y relevantes para la etapa vegetativa: número de hojas, índice de área foliar, altura de planta, materia seca total de planta, materia seca de raíz y longitud radical. La altura se midió desde la base del tallo hasta el punto más alto de la planta; el número de hojas se contabilizó considerando hojas completamente desplegadas. El índice de área foliar se estimó a partir del largo y ancho de la hoja, aplicando un factor de ajuste de 0,75 para el cálculo del área foliar por hoja y su agregación por planta. Para materia seca total, las muestras se secaron en estufa a 65–70 °C hasta peso constante y se pesaron; para materia seca de raíz, las raíces se extrajeron, lavaron para eliminar suelo adherido, se sometieron al mismo procedimiento de secado y se registró el peso seco. La longitud radical se evaluó mediante muestreos en momentos representativos del crecimiento y análisis en laboratorio.

El desempeño del modelo se evaluó mediante comparación entre valores observados y simulados, utilizando el coeficiente de determinación, la raíz del error cuadrático medio y el estadístico de concordancia, de acuerdo con el enfoque de validación aplicado en el estudio. Los datos se registraron en libro de campo y se consolidaron en una base digital por variable en hojas de cálculo; de forma paralela, los registros climáticos y edáficos se depuraron para asegurar consistencia antes de su integración a la simulación. La investigación se ejecutó en instalaciones universitarias como parte de un proyecto institucional y no involucró participantes humanos ni experimentación con animales, por lo que no requirió consentimiento informado ni evaluación por comité de ética.

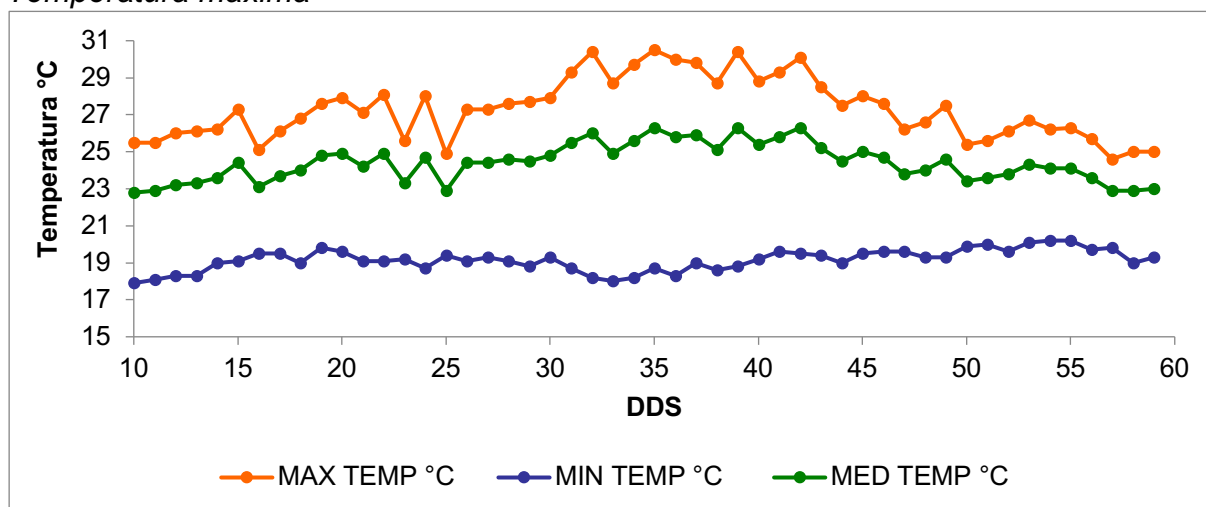
3. Resultados

3.1. Evaluación agroclimática del maíz en época lluviosa con DSSAT

3.1.1. Temperatura

Durante el periodo evaluado se registraron condiciones térmicas variables. La temperatura máxima (T_{max}) osciló entre 24.6 °C y 30.5 °C, mientras que la mínima (T_{min}) se mantuvo entre 17.9 °C y 20.4 °C. La temperatura media presentó un comportamiento estable dentro de rangos típicos en climas tropicales, con variaciones puntuales asociadas a la dinámica climática del sitio de estudio (Figura 1).

Figura 1
Temperatura máxima

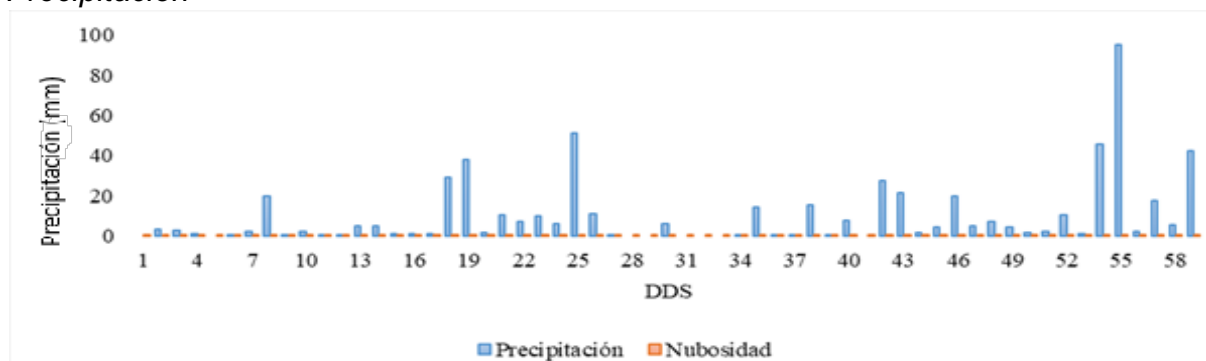


Nota: (INAMHI. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología 2025).

3.2. Precipitación

La precipitación mostró alta variabilidad temporal, con registros entre 0 y 94.8 mm. En paralelo, la nubosidad fluctuó entre 0.33 y 0.73, evidenciando días con cobertura moderada a alta, coherentes con condiciones húmedas predominantes durante la etapa de seguimiento del cultivo (Figura 2).

Figura 2
Precipitación

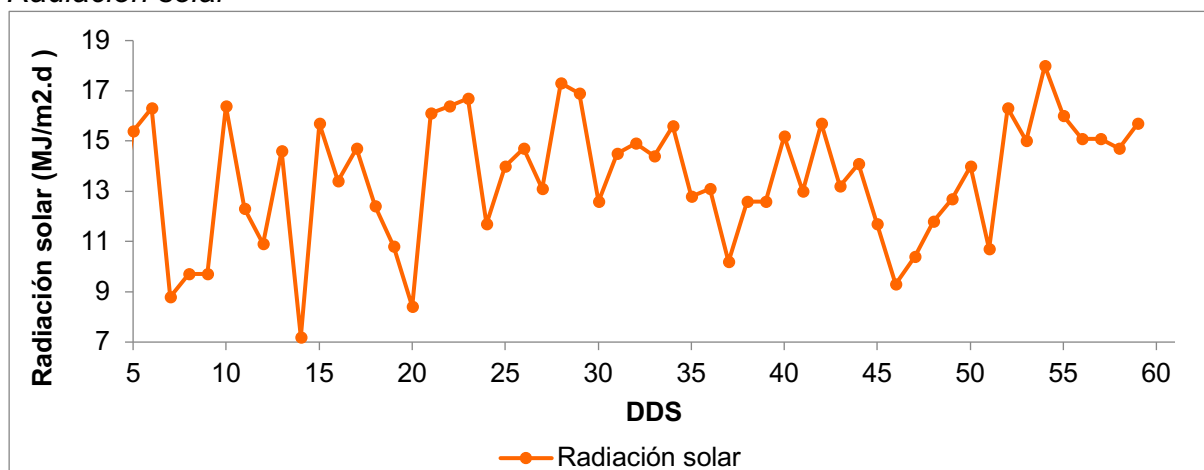


Nota: (INAMHI. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología 2025).

3.3. Radiación solar

La radiación solar presentó valores entre $7.2 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ a $18.1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, con variaciones marcadas entre fechas de muestreo. Los registros evidenciaron periodos de menor disponibilidad energética asociados a la cobertura nubosa, alternados con intervalos de mayor radiación incidente (Figura 3).

Figura 3
Radiación solar

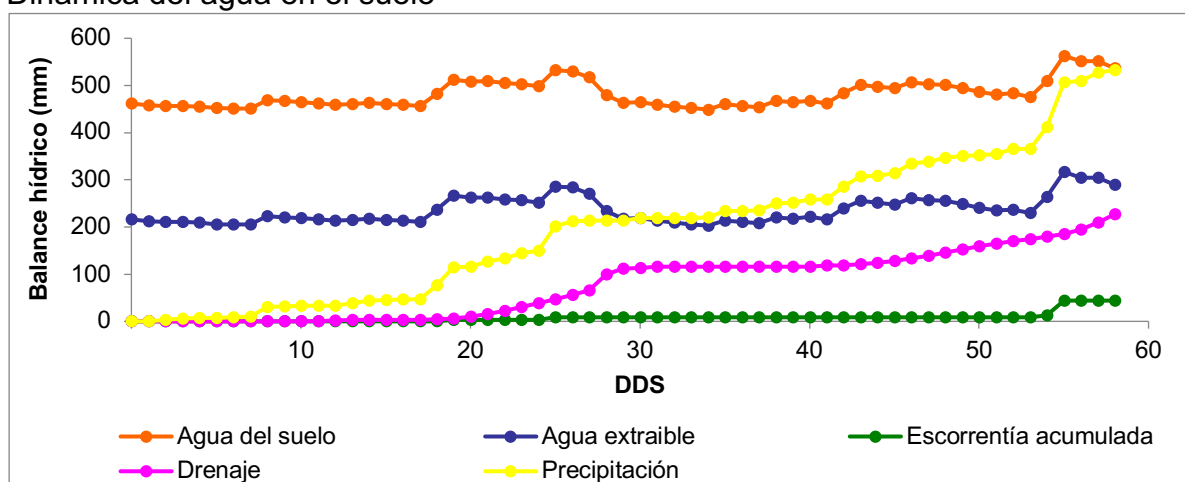


Nota: (National Aeronautics and Space Administration [NASA], 2026).

3.4. Suelo del escenario 1

En el Escenario 1 se describe la dinámica hídrica del suelo según los días después de la siembra. La precipitación acumulada aumentó de forma marcada desde los 20 días y alcanzó sus máximos al final del periodo. Tras estos pulsos, el agua extraíble y el drenaje respondieron con incrementos y picos, evidenciando sensibilidad del sistema suelo planta. El agua total del suelo se mantuvo relativamente estable, con fluctuaciones por infiltración, evaporación y percolación. La escorrentía acumulada fue baja, lo que sugiere predominio de infiltración y disponibilidad hídrica para el cultivo (Figura 4).

Figura 4
Dinámica del agua en el suelo



Nota: (Autores, 2026).

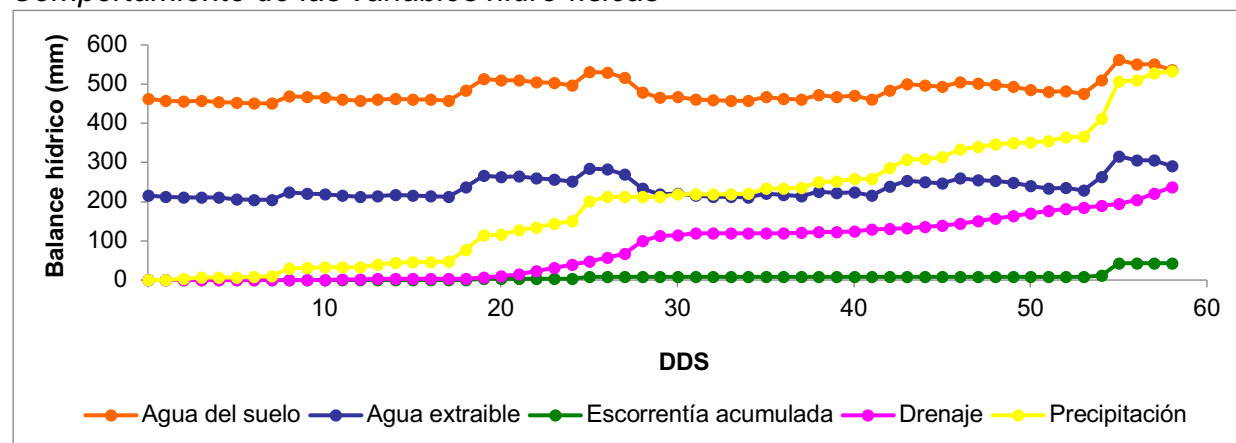
3.5. Suelo del escenario 2

Durante la etapa vegetativa, la precipitación acumulada mostró un incremento sostenido con pulsos marcados después de los 20 días, alcanzando su máximo hacia el final del periodo. Estos eventos se reflejaron en aumentos del drenaje y del agua

extraíble, evidenciando una respuesta inmediata del suelo a los aportes hídricos. El agua total del suelo se mantuvo en niveles altos y relativamente estables, con fluctuaciones leves asociadas al balance entre infiltración, evaporación y percolación. La escorrentía acumulada fue baja, lo que sugiere predominio de infiltración y pérdidas superficiales limitadas (Figura 5).

Figura 5

Comportamiento de las variables hidro-físicas



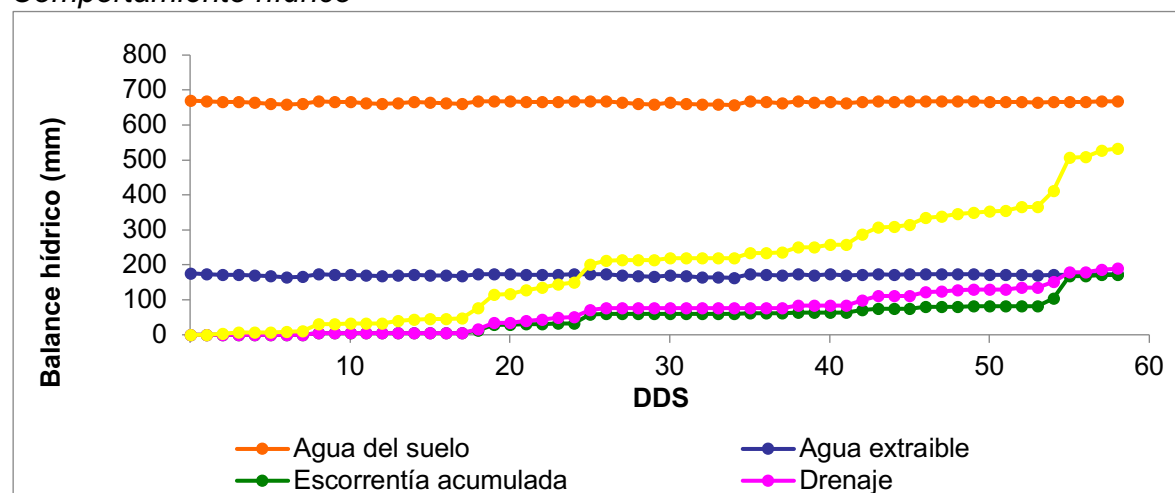
Nota: (Autores, 2026).

3.6. Suelo del escenario 3

El agua total del suelo se mantuvo prácticamente constante durante el ciclo, con valores cercanos a 680 mm, lo que evidencia alta capacidad de almacenamiento y estabilidad de la humedad. La precipitación aumentó de forma progresiva y presentó picos después de 50 DDS, asociados a incrementos del drenaje profundo y de la escorrentía acumulada. Este patrón sugiere que, una vez alcanzada la capacidad de campo, el exceso hídrico se pierde por percolación y escurrimiento superficial. En paralelo, el agua extraíble mostró una tendencia levemente decreciente conforme avanzaron los DDS, reflejando el consumo progresivo del cultivo (Figura 6).

Figura 6

Comportamiento hídrico



Nota: (Autores, 2026).

3.7. Validación del modelo DSSAT por escenarios de simulación en época lluviosa

3.7.1. Escenario 1: desempeño del modelo en la simulación 1

En el Escenario 1, el componente fenológico y de dosel, DSSAT reprodujo de forma consistente la dinámica del número de hojas y del índice de área foliar. La media simulada superó ligeramente a la observada en hojas (16 frente a 15 hojas) y en IAF (0.68 frente a 0.56, adimensional), con ratios de 1.39 y 1.84. El ajuste temporal fue alto, con coeficientes de determinación de 0.946 (hojas) y 0.964 (IAF), además de RMSE de 3.74 hojas y 0.14 unidades de IAF; los índices de concordancia (d-Stat) de 0.861 y 0.951 respaldaron una correspondencia adecuada entre series observadas y simuladas (Tabla 1).

En la biomasa y la arquitectura, la simulación mostró sobreestimación en peso de raíz MS (119 frente a 96 kg ha⁻¹) y en peso MS de planta completa (770 frente a 454 kg ha⁻¹), con ratios de 1.41 y 1.66. Aunque el ajuste fue alto (R^2 de 0.917 para raíz y 0.956 para planta completa), el error fue mayor en la materia seca total (RMSE de 398.03 kg ha⁻¹), manteniendo una concordancia moderada (d-Stat de 0.85). En contraste, el desempeño fue desigual en crecimiento: la altura fue subestimada (0.24 frente a 0.95 m; ratio 0.34), mientras que la longitud radical fue sobreestimada (0.64 frente a 0.22 m; ratio 3.24); si bien el R^2 fue 0.955 en raíz, los d-Stat de 0.54 (altura) y 0.34 (raíz) evidenciaron discrepancias en la magnitud y forma conjunta de las curvas (Tabla 1).

Tabla 1

Validación del modelo en el escenario 1 (observado vs. simulado)

Variable	Media observada	Media simulada	Ratio	R^2	RMSE	d-Stat
Número de hojas	15	16	1.39	0.946	3.74	0.861
Índice de área foliar	0.56	0.68	1.84	0.964	0.14	0.951
Peso de raíz (materia seca) (kg ha ⁻¹)	96	119	1.41	0.917	29.48	0.94
Materia seca planta completa (kg ha ⁻¹)	454	770	1.66	0.956	398.03	0.85
Altura de planta (m)	0.95	0.24	0.34	0.720	0.99	0.54
Longitud radical (m)	0.22	0.64	3.24	0.955	0.44	0.34

Nota: (Autores, 2026).

3.7.2. Escenario 2: desempeño del modelo en la simulación 2

En el Escenario 2, en las variables fenológicas el modelo mantuvo una alta capacidad de seguimiento temporal. El número de hojas presentó una media simulada de 12 hojas frente a 11 observadas (ratio 1.61), mientras que el IAF alcanzó 0.92 en la simulación frente a 0.76 observado (ratio 1.41). Los coeficientes de determinación fueron elevados (0.982 en hojas y 0.970 en IAF), con RMSE de 5.26 hojas y 0.19 unidades de IAF. La concordancia fue moderada en hojas (d-Stat de 0.71) y alta en IAF (d-Stat de 0.96), indicando un mejor desempeño del modelo al reproducir el desarrollo del dosel que el conteo foliar en magnitud absoluta (Tabla 2).

En términos de biomasa y crecimiento, DSSAT sobreestimó el peso de raíz MS (157 frente a 88 kg ha⁻¹; ratio 1.84) y el peso MS de planta completa (977 frente a 574 kg ha⁻¹; ratio 2.636). Aunque los ajustes fueron altos (R^2 de 0.949 en raíz y 0.966 en materia seca total), los errores aumentaron notablemente para biomasa (RMSE de 80.18 kg ha⁻¹ en raíz y 509.52 kg ha⁻¹ en planta completa), manteniendo una concordancia global aceptable (d-Stat de 0.778 y 0.85). En la arquitectura, se observó subestimación de altura (0.27 frente a 0.59 m; ratio 0.58) y sobreestimación de longitud radical (0.62 frente a 0.24 m; ratio 2.43); el ajuste fue moderado para altura (R^2 de 0.672) y alto para raíz (R^2 de 0.949), pero la concordancia de la raíz fue baja (d-Stat de 0.34), sugiriendo desviaciones relevantes en la forma/magnitud del patrón radical simulado (Tabla 2).

Tabla 2

Validación del modelo en el escenario 2 (observado vs. simulado)

Variable	Media observada	Media simulada	Ratio	R^2	RMSE	d-Stat
Número de hojas	11	12	1.61	0.982	5.26	0.71
Índice de área foliar	0.76	0.92	1.41	0.970	0.19	0.96
Peso de raíz (materia seca) (kg ha ⁻¹)	88	157	1.84	0.949	80.18	0.778
Materia seca planta completa (kg ha ⁻¹)	574	977	2636	0.966	509.52	0.85
Altura de planta (m)	0.59	0.27	0.58	0.672	0.50	0.62
Longitud radical (m)	0.24	0.62	2.43	0.949	0.41	0.34

Nota: (Autores, 2026).

3.7.3. Escenario 3: desempeño del modelo en la simulación 3

En el Escenario 3, el componente fenológico, DSSAT reprodujo adecuadamente la trayectoria del número de hojas (12 simuladas frente a 11 observadas; ratio 1.13) y del IAF (0.38 frente a 0.22; ratio 2.07). El ajuste fue alto para hojas (R^2 de 0.987) y aceptable para IAF (R^2 de 0.889), con RMSE de 2.58 hojas y 0.18 unidades de IAF. Los índices de concordancia mostraron buen desempeño, con d-Stat de 0.89 para hojas y 0.79 para IAF, indicando correspondencia sólida entre los patrones observados y simulados pese al sesgo positivo en IAF (Tabla 3).

En la biomasa y arquitectura, el modelo sobreestimó el peso de raíz MS (100 frente a 69 kg ha⁻¹; ratio 1.66) con ajuste alto (R^2 de 0.985) y concordancia elevada (d-Stat de 0.903), mientras que en peso MS de planta completa la sobreestimación fue más marcada (329 frente a 134 kg ha⁻¹; ratio 2.21), con R^2 de 0.979 pero concordancia moderada (d-Stat de 0.61) y RMSE de 247.63 kg ha⁻¹. En crecimiento, la altura de planta fue subestimada (0.16 frente a 0.61 m; ratio 0.32) con R^2 de 0.619 y d-Stat de 0.54, mientras que la longitud radical fue sobreestimada (0.51 frente a 0.23 m; ratio 2.14) con R^2 de 0.925, aunque con baja concordancia (d-Stat de 0.28), lo que evidencia discrepancias importantes en la forma/magnitud del crecimiento radical simulado bajo este escenario (Tabla 3).

Tabla 3
Validación del modelo en el Escenario 3 (observado vs. simulado)

Variable	Media observada	Media simulada	Ratio	R ²	RMSE	d-Stat
Número de hojas	11	12	1.13	0.987	2.58	0.89
Índice de área foliar	0.22	0.38	2.07	0.889	0.18	0.79
Peso de raíz (materia seca) (kg ha ⁻¹)	69	100	1.66	0.985	37.77	0.903
Materia seca planta completa (kg ha ⁻¹)	134	329	2.21	0.979	247.63	0.61
Altura de planta (m)	0.61	0.16	0.32	0.619	0.61	0.54
Longitud radical (m)	0.23	0.51	2.14	0.925	0.33	0.28

Nota: (Autores, 2026).

4. Discusión

Las condiciones agroclimáticas evaluadas en época lluviosa evidencian un entorno tropical donde la variabilidad de precipitación y temperatura actúa como un modulador directo del desempeño agronómico del maíz, especialmente sobre el balance hídrico y el desarrollo del dosel. Este comportamiento es consistente con la literatura que atribuye al cambio climático y a la variabilidad intraestacional alteraciones en la disponibilidad hídrica, la estabilidad productiva y la respuesta fisiológica del cultivo (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022; Montilla-Pacheco & Pastrán-Calles, 2024). En este marco, la modelación basada en procesos permite integrar clima, suelo y manejo para interpretar trayectorias de crecimiento bajo escenarios contrastantes y aportar evidencia útil para la toma de decisiones agronómicas (Noriega et al., 2021; López-Escudero et al., 2025). Asimismo, DSSAT establece que la consistencia predictiva depende de la calidad de series climáticas, la caracterización del suelo y la calibración genética, particularmente cuando el objetivo es reproducir patrones temporales del cultivo (Hoogenboom et al., 2017).

Desde una perspectiva metodológica, la pertinencia de usar simulación en maíz se sustenta en su capacidad para evaluar respuestas del sistema cultivo–suelo bajo condiciones variables sin depender exclusivamente de la repetición de ensayos de campo. En concordancia con lo señalado por Hoogenboom et al. (2017), el desempeño del modelo está condicionado por la coherencia interna entre entradas climáticas, propiedades edáficas y parámetros del genotipo, lo que vuelve crítica la consistencia de la parametrización cuando se analizan escenarios de alta variabilidad. En esa línea, la integración de resultados bajo diferentes escenarios permite interpretar cambios en el comportamiento del cultivo como producto de interacciones complejas, más que como respuestas aisladas a un único factor ambiental (Noriega et al., 2021; López-Escudero et al., 2025).

La dinámica hídrica del suelo mostró una respuesta coherente a los pulsos de precipitación: incrementos de lluvia se reflejaron en variaciones del agua disponible y del drenaje, con escorrentía relativamente baja en los escenarios donde predominó la infiltración. Este comportamiento se asocia a perfiles con capacidad de retención y

conductividad adecuada, donde la precipitación se incorpora al suelo y el excedente se expresa principalmente mediante percolación. Según Monge-Freile et al. (2025), estos contextos suelen favorecer el aprovechamiento del agua por el cultivo cuando el manejo acompaña las condiciones del suelo. Asimismo, estudios en maíz bajo diferentes frecuencias de riego muestran variaciones morfológicas y de eficiencia hídrica que pueden no trasladarse correctamente a simulación si el manejo y la disponibilidad real de agua no están bien descritos (Monge-Freile et al., 2025). En contraste, en el escenario con mayor estabilidad del almacenamiento total, los picos tardíos de precipitación se asociaron a incrementos de drenaje profundo y escorrentía, lo que sugiere episodios de saturación temporal y pérdidas por excedente hídrico una vez superada la capacidad de almacenamiento del perfil (Colombi et al., 2024; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022). Este resultado refuerza que la disponibilidad hídrica no depende solo del agua almacenada, sino también de las rutas de pérdida y del momento en que ocurren respecto al desarrollo fenológico (Noriega et al., 2021).

En cuanto al desempeño del modelo, la validación mostró que DSSAT reproduce con solidez el componente fenológico y la dinámica del dosel, coherente con estudios que reportan alta capacidad del modelo para simular desarrollo foliar y variables asociadas al crecimiento vegetativo cuando el genotipo y el ambiente están adecuadamente parametrizados (Feleke et al., 2021; Jha et al., 2021). Este resultado es relevante porque confirma que, bajo condiciones lluviosas, el modelo puede describir de manera consistente la trayectoria del crecimiento temprano del cultivo, lo cual constituye un requisito para utilizar simulación en análisis de manejo y de riesgo agroclimático (Noriega et al., 2021; Hoogenboom et al., 2017). Además, la evidencia de que el ajuste del dosel se mantiene estable a través de escenarios concuerda con aplicaciones del modelo para comparar estrategias agronómicas, siempre que se preserve la coherencia de los parámetros del cultivo y del ambiente (Kipkulei et al., 2022).

Sin embargo, se observó un patrón recurrente de sesgos en biomasa y variables estructurales, con tendencia a sobreestimar componentes de materia seca y a presentar discrepancias en la arquitectura (altura y crecimiento radical), lo que coincide con trabajos que señalan alta sensibilidad de la partición de biomasa y del sistema radical a parámetros genéticos, supuestos del balance hídrico y restricciones del suelo que pueden no estar completamente capturadas en la configuración del modelo (Attia et al., 2021; Ma et al., 2023; Abasolo-Pacheco et al., 2025). En ambientes tropicales, estas desviaciones pueden amplificarse cuando la radiación efectiva, la humedad y la competencia por recursos varían espacialmente, afectando simultáneamente expansión foliar y asignación de asimilados (Kipkulei et al., 2022; Vines-Tachong et al., 2025). En consecuencia, la interpretación del desempeño debe considerar que un buen seguimiento de la tendencia temporal no necesariamente implica precisión equivalente en magnitudes absolutas de crecimiento y partición, especialmente en componentes subterráneos.

Desde el punto de vista aplicado, los hallazgos respaldan que DSSAT es útil para analizar escenarios y comparar estrategias de manejo en época lluviosa, pero que la transferencia a recomendaciones exige fortalecer la calibración local, especialmente del componente de biomasa y raíces, así como mejorar la representación del perfil edáfico y del balance hídrico (Herrera et al., 2026; Hoogenboom et al., 2017). Además, aunque el análisis se centra en clima y suelo, factores bióticos pueden introducir variabilidad adicional en campo y contribuir a diferencias observado–simulado; por ejemplo, el gusano cogollero puede afectar el área foliar efectiva y alterar la respuesta productiva si no se controla oportunamente (Herrera-Jácome et al., 2023). En conjunto, el estudio confirma el potencial del modelado para anticipar respuestas del maíz bajo variabilidad climática, siempre que se complemente con calibración robusta y contextualización agronómica del sistema productivo, particularmente en sistemas con brechas tecnológicas y heterogeneidad de manejo (Guamán et al., 2020; Vera et al., 2023; Noriega et al., 2021).

5. Conclusiones

La simulación con DSSAT evidenció capacidad para representar de forma consistente el desarrollo vegetativo del maíz en época lluviosa bajo escenarios de variabilidad climática y diferentes densidades de siembra, particularmente en variables del dosel y la fenología, donde se mantuvieron altos niveles de ajuste entre valores observados y simulados. El comportamiento del balance hídrico del suelo mostró una respuesta marcada a los pulsos de precipitación, lo que permitió interpretar la disponibilidad de agua y las rutas de pérdida por drenaje y escorrentía según el escenario. Persistieron, no obstante, discrepancias en biomasa y en variables estructurales, con sesgos en altura y crecimiento radical, lo que indica que la precisión mejora al fortalecer la calibración local del genotipo y la parametrización del perfil edáfico. En conjunto, el enfoque aporta una base sólida para sustentar decisiones de manejo y evaluación de riesgo bajo condiciones climáticas cambiantes.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

Referencias Bibliográficas

- Abasolo-Pacheco, F., Sellan-Canales, M. J., García-Gallirgos, V. J., & Onofre-Correa, J. A. (2025). Desarrollo vegetativo del maíz bajo influencia de diluciones minerales y biológicas. *Revista Científica Zambos*, 4(2), 265-280. <https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n2/121>
- Attia, A., El-Hendawy, S., Al-Suhaibani, N., Tahir, M. U., Mubushar, M., Vianna, M. dos S., Ullah, H., Mansour, E., & Datta, A. (2021). Sensitivity of the DSSAT model

- in simulating maize yield and soil carbon dynamics in arid Mediterranean climate: Effect of soil, genotype and crop management. *Field Crops Research*, 260, 107981. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107981>
- Colombi, A., Bancheri, M., Acutis, M., Basile, A., Botta, M., & Perego, A. (2024). A sound understanding of a cropping system model with the global sensitivity analysis. *Environmental Modelling & Software*, 173, 105932. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105932>
- Feleke, H. G., Savage, M. J., & Tesfaye, K. (2021). Calibration and validation of APSIM–Maize, DSSAT CERES–Maize and AquaCrop models for Ethiopian tropical environments. *South African Journal of Plant and Soil*, 38(1), 36–51. <https://doi.org/10.1080/02571862.2020.1837271>
- Guamán Guamán, R. N., Desiderio Vera, T. X., Villavicencio Abril, Á. F., Ulloa Cortázar, S. M., & Romero Salguero, E. J. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*, 7(2), 47–56. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196>
- Herrera-Jácome, D., Herrera-Feijoo, R. J., Quiñonez-Saltos, A. M., & Carrión-Salazar, B. E. (2023). Uso de trampas con feromonas sintéticas sexuales y uso de insecticida orgánico para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Código Científico Revista de Investigación*, 4(E2), 1185–1202. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v4/nE2/217>
- Herrera, D., Brito, V., Corrales, R., Pillasagua, I., & Conrado, P. (2026). Características productivas del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) mediante la modelación de DSSAT, frente al cambio climático en diferentes densidades de siembra en época lluviosa. *Revista G-Nerando*, 6(2), 21–59. <https://doi.org/10.60100/rcmg.v7i1.903>
- Hoogenboom, G., Porter, C. H., Shelia, V., Boote, K. J., Singh, U., White, J. W., Hunt, L. A., Ogoshi, R., Lizaso, J. I., Koo, J., Asseng, S., Singels, A., Moreno, L. P., & Jones, J. W. (2017). *Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) (Version 4.7)* [Software]. DSSAT Foundation. <https://www.dssat.net/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (H.-O. Pörtner et al., Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Jha, P. K., Ines, A. V. M., & Singh, M. P. (2021). A multiple and ensembling approach for calibration and evaluation of genetic coefficients of CERES-Maize to simulate maize phenology and yield in Michigan. *Environmental Modelling & Software*, 135, 104901. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104901>
- Kipkulei, H. K., Bellingrath-Kimura, S. D., Lana, M., Ghazaryan, G., Baatz, R., Boitt, M., Chisanga, C. B., Rotich, B., & Sieber, S. (2022). Assessment of maize yield response to agricultural management strategies using the DSSAT–CERES-Maize model in Trans Nzoia County in Kenya. *International Journal of Plant Production*, 16, 557–577. <https://doi.org/10.1007/s42106-022-00220-5>

- López-Escudero, R. de J., Gallardo-López, F., López-Romero, G., Lango-Reynoso, V., López-Collado, C. J., & Inurreta-Aguirre, H. D. (2025). Modelos de simulación de cultivos como herramienta para el análisis de agroecosistemas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(4), e3674. <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i4.3674>
- Ma, H., Wang, J., Liu, T., Guo, Y., Zhou, Y., Yang, T., Zhang, W., & Sun, C. (2023). Time series global sensitivity analysis of genetic parameters of CERES-maize model under water stresses at different growth stages. *Agricultural Water Management*, 275, 108027. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108027>
- Monge-Freile, M. F., Brito-Gomez, V. M., Herrera-Jacome, D. F., & Vintimilla Quintana, V. (2025). Influencia de la frecuencia de riego por goteo en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 6(2), 75–83. <https://doi.org/10.25127/agrops.20252.1091>
- Montilla-Pacheco, A. de J., Pastrán-Calles, F. R., & De La Torre-Burgos, H. A. (2024). Efectos del calentamiento global sobre el comportamiento del cultivo de maíz. *Revista de Ciencias Agropecuarias ALLPA*, 7(13), 48–58. <https://doi.org/10.56124/allpa.v7i13.0069>
- National Aeronautics and Space Administration. (2026, February 10). *Solar radiation*. NASA Earthdata. <https://www.earthdata.nasa.gov/topics/atmosphere/solar-radiation>
- Noriega, L., Navarrete, R., Moreno, J., López, L., & Cruz, I. (2021). Revisión: modelos de crecimiento y rendimiento de maíz en escenarios de cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(1), 127–139. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2552>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (s. f.). *INAMHI*. Recuperado el 7 de marzo de 2026, de <https://servicios.inamhi.gob.ec/>
- Ordoñez Loaiza, L. C. (2018). *Evaluación de pronósticos agroclimáticos usando el modelo DSSAT CERES para cuatro híbridos de maíz en tres localidades de Colombia* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/68888>
- Vera Aviles, D., Orrala Icaza, M., Mendoza Hernández, C., & Sabando Ávila, F. (2023). Labranza mecanizada y fertilización del suelo: efectos sobre el comportamiento agronómico y productividad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia y Tecnología*, 16(1), 1–11. <https://doi.org/10.18779/cyt.v16i1.650>
- Vinces-Tachong, R. E., Solorzano-Cedeño, L. J., Zambrano-Morales, D. M., Murillo-Orellana, D. D., & Muñoz-Montoya, J. A. (2025). Productividad del maíz en función de distintas dosis del biofertilizante Ferti-Organ. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(4), 414-425. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n4/121>