

COMPORTAMIENTO DEL CRECIMIENTO DEL MAIZ (ZEA MAYZ L.) EN DOS ÉPOCAS DE SIEMBRA Y DIFERENTES CONDICIONES DE PRODUCCIÓN

DIFFERENT PRODUCTION CONDITIONS AND TWO PLANTING SEASONS IN GROWTH BEHAVIOR CORN (ZEA MAYZ L.)

Eduardo Jerez Mompiés*, Investigador del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, (40%) <https://orcid.org/0000-0001-6509-8932>, ejerez@inca.edu.cu

Osmel Rodríguez González, Investigador del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, (40%) <https://orcid.org/0000-0002-6480-9971>, osmel@inca.edu.cu

René Florido Bacallao, Investigador y Director de Desarrollo del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (20%) <https://orcid.org/0000-0003-4494-660X>, florido@inca.edu.cu

*autor para correspondencia

Temática: FISIOLÓGÍA VEGETAL

RESUMEN

El trabajo se realizó en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas con el objetivo de evaluar el comportamiento de algunas variables del crecimiento de plantas de maíz, sembradas en dos épocas de siembra contrastantes: mes de diciembre y mayo, del cultivar P-7928. Se establecieron dos parcelas de 10 surcos y 25 m de largo. La siembra se realizó de manera directa a una distancia de 0,90 x 0,30 m, lo cual da una densidad de 50 000 plantas ha⁻¹, y se siguió un diseño muestral. El suelo del área se clasificó como Ferralítico Rojo Lixiviado agrogénico. Mediante observaciones fenológicas cada dos días se evaluó en cada parcela experimental la duración en días de las fases vegetativa y reproductiva. En la antesis se realizó un muestreo de crecimiento (destrutivo) donde se seleccionaron 20 plantas de forma aleatoria en cuatro puntos diferentes de cada parcela experimental. Las plantas se separaron en sus diferentes órganos y se determinó el número de hojas, la masa seca de hojas, tallos y total (se incluye en esta última la masa seca de espiga, brácteas y mazorca), área foliar (cm²), el índice de área foliar (IAF), y el área foliar específica (AFE) que es la relación entre el área y la masa seca foliar. Se registraron, además, el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas y las precipitaciones, así como también se determinó el comportamiento de la humedad del suelo. Los resultados del ciclo del cultivo variaron en función de la época de siembra y el tratamiento de secano provocó afectaciones en todas las variables del crecimiento evaluadas.

ABSTRACT

The work was carried out at the National Institute of Agricultural Sciences with objective of evaluating the behavior of some variables of the growth of corn plants planted in two contrasting seasons: December and May, of the cultivar P-7928. Two plots of 10 rows and 25 m long were established. Sowing was carried out directly at a distance of 0,90 x 0,30 m, which gives a density of 50000 plants ha⁻¹, and a sample design was followed. The soil of the area was classified as agrogenic Leached Red Ferralitic. Through phenological observations every two days, the duration in days of the vegetative and reproductive phases was evaluated in each experimental plot. At anthesis, growth (destructive) sampling was carried out where 20 plants were selected randomly at four different points in each experimental plot. The plants were separated into their different organs and the number of leaves, the dry mass of leaves, stems and total were determined (the latter includes the dry mass of spike, bracts and cob), leaf area (cm²), the index of leaf area (IAF), also the specific leaf area (AFE) which is the relationship between the area and the dry leaf mass. The behavior of maximum and minimum temperatures and precipitation were also recorded, as well as the behavior of soil humidity was determined. The results of the

crop cycle varied depending on the planting season and the dryland treatment caused effects on all the growth variables evaluated.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los tres cereales, junto con el trigo y el arroz, más importantes del mundo. Actualmente se produce en 125 países y se encuentra entre los tres cultivos más sembrados en 75 de dichos países (1).

El rendimiento del maíz en Cuba, es muy bajo en la actualidad, alcanza el valor de 1,89 t ha⁻¹ como promedio entre el sector estatal y el campesino (2). Dentro de los principales cultivares comerciales de maíz en el país, se encuentra el P-7928 (3) el cual tiene excelentes características agronómicas y buen rendimiento, adaptados a las condiciones climáticas de Cuba (4).

No obstante, el cambio climático impone serios desafíos en los sistemas agroalimentarios y sobre todo al área geográfica de América Latina y el Caribe, los efectos son evidentes: aumento de la temperatura, elevada variabilidad de los períodos lluviosos alternados con largas sequías, incremento en el número y magnitud de eventos climatológicos y elevación del nivel del mar (5,6).

Las variaciones en el clima en los últimos años, resultan una de las causas fundamentales que ocasionan variabilidad en el rendimiento de muchos cultivos (7). Ante esta situación, es importante la búsqueda de alternativas de uso agrícola acorde a las condiciones edafoclimáticas de los agroecosistemas encaminadas a lograr incrementos sustanciales en los rendimientos en suelos degradados y bajo condiciones específicas de manejo.

Bajo esas condiciones ambientales, fundamentalmente de temperaturas y precipitaciones, realizar siembras en condiciones de secano, constituye un riesgo para el buen desarrollo del cultivo, por lo que será necesario definir correctamente la época de siembra en la cual realizar la plantación, pero siempre estará en dependencia del comportamiento de las precipitaciones o la necesidad de contar con sistemas de regadío.

En la práctica, en Cuba existe un gran período de siembra, comprendido entre el 5 de septiembre al 31 de mayo (4) pero es en el invierno donde alcanza el mayor rendimiento, pues encuentra temperaturas de alrededor de 20 °C, adecuadas para el desarrollo fisiológico del maíz, no obstante, esta época presenta el inconveniente de tener largos períodos secos, por lo que se necesita contar con riego. En primavera, sin embargo, las lluvias erráticas, el rigor del clima y el aumento de las poblaciones de insectos, complican el manejo del cultivo y que se logren rendimientos más altos.

Conocer acerca del comportamiento de un cultivo ante distintas fechas de siembra y de la presencia o no de precipitaciones, sobre todo en siembras de secano, resulta un tema de interés, motivado por las variaciones que se producen en el comportamiento del ambiente, producto del efecto del cambio climático. Por otra parte, los procesos fisiológicos, que conducen al crecimiento de las plantas, están regidos por la temperatura (8), las cuales, entre otros efectos, modifican la duración de las fases fenológicas, lo cual produce afectaciones, en última instancia, en los rendimientos.

En este sentido, se desarrolló el presente trabajo, con el objetivo de evaluar el comportamiento de algunas variables del crecimiento de plantas de maíz en dos épocas de siembra contrastantes, las cuales en su conjunto resultan de interés conocer, para explicar las afectaciones que pueden provocar en los rendimientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el área experimental del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), situado en los 23°00' Latitud Norte y 82°12' Longitud Oeste, a una elevación de 138 msnm, en San José de las Lajas, Mayabeque. Para el mismo se realizaron dos siembras, una en el mes de mayo del año 2019 y la otra en diciembre del 2020. En ambas se establecieron dos parcelas de 10 surcos y 25 m de largo. Se utilizó el cultivar P-7928, y la siembra se realizó de manera directa a una distancia de 0,90 x 0,30 m, lo cual da una densidad de 50 000 plantas ha⁻¹, y se siguió un diseño muestral. El suelo del área donde se desarrollaron los experimentos se clasificó como Ferralítico Rojo Lixiviado agrogénico, según la Clasificación de los Suelos de Cuba (9).

Mediante la observación cada dos días se evaluó en cada parcela experimental la duración en días de las fases fenológicas del cultivo; para lo cual fueron considerados para la fase vegetativa, los días transcurridos desde la emergencia hasta que se hizo visible la última rama de la panícula; para la fase reproductiva, desde la antesis hasta la madurez fisiológica. Se consideró cada fase cuando más del 50 % de la parcela experimental mostró las características de estas fases. Se estableció el ciclo del cultivo mediante la sumatoria de la duración de cada fase.

En la antesis se realizó un muestreo de crecimiento (destrutivo) donde se seleccionaron 20 plantas de forma aleatoria en cuatro puntos diferentes de cada parcela experimental. Las plantas se separaron en sus diferentes órganos. Se determinó el número de hojas, la masa seca de hojas, tallos y total (se incluye en esta última la masa seca de espiga, brácteas y mazorca), área foliar (10), estimada por la ecuación propuesta por esos autores, el índice de área foliar (IAF), de acuerdo con la ecuación de (11) y el área foliar específica (AFE) que es la relación entre el área y la masa seca foliar.

Se registraron, además, el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas, así como de las precipitaciones ocurridas, desde la siembra hasta cosecha, así como también se determinó el comportamiento de la humedad del suelo, hasta una profundidad de 30 cm, en base a masa seca, a intervalos de siete días.

Las atenciones culturales se realizaron según lo recomendado en el Instructivo Técnico del Cultivo de Maíz (12). El riego se realizó por aspersión cada siete días, intervalo que varió en función de las precipitaciones. Las normas de riego aplicadas variaron en función del coeficiente bioclimático del cultivo, de acuerdo con (13). Se realizó el control de plagas y arvenses de manera efectiva. La fertilización mineral se efectuó mediante la aplicación de K₂O y P₂O₅ de fondo, a razón de 60 kg ha⁻¹ de ambos y 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno, fraccionados durante el ciclo del cultivo (siembra y 30 días después de la emergencia). Se utilizaron como portadores la Fórmula Completa (9-13-17) y la Urea (46 % de N), de forma tal que las plantas se desarrollaran sin limitaciones en este sentido.

El análisis estadístico consistió en determinar las medias de los tratamientos y su intervalo de confianza ($p \leq 0,05$). Los tratamientos se compararon por la prueba de t-Student.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento de las temperaturas (máximas y mínimas, precipitaciones y la humedad del suelo) se presentan en la figura 1. En relación con las temperaturas máximas y mínimas, ambas fueron superiores en la siembra de mayo con respecto a la de diciembre. Ambas temperaturas (máximas y mínimas) fueron más estables en la primera siembra (mayo, 2019, época lluviosa) con respecto al comportamiento seguido en la época poco lluviosa (diciembre, 2020). Las precipitaciones, aunque poco efectivas en cuanto a su magnitud, resultaron más numerosas en la

época lluviosa, respecto a la poca lluviosa, en la que hubo menos de 25 días con ligeras precipitaciones, motivadas en lo fundamental por la entrada de frentes fríos, aunque fueron muy poco significativas.

El comportamiento de las precipitaciones (14) está acorde con lo señalado por esos autores, quienes comprobaron y pronosticaron, disminuciones extremas de las lluvias en la época poco lluviosa en Cuba.

El control de la humedad del suelo, permitió conocer que en el tratamiento con riego el valor de la humedad se acercó al de la capacidad de campo del suelo (35,6 %, en base a masa de suelo seco), mientras en el tratamiento de secano, la humedad estuvo cercana al límite productivo, favorecido estos valores en el experimento realizado en la época lluviosa, donde alcanzaron valores más elevados.

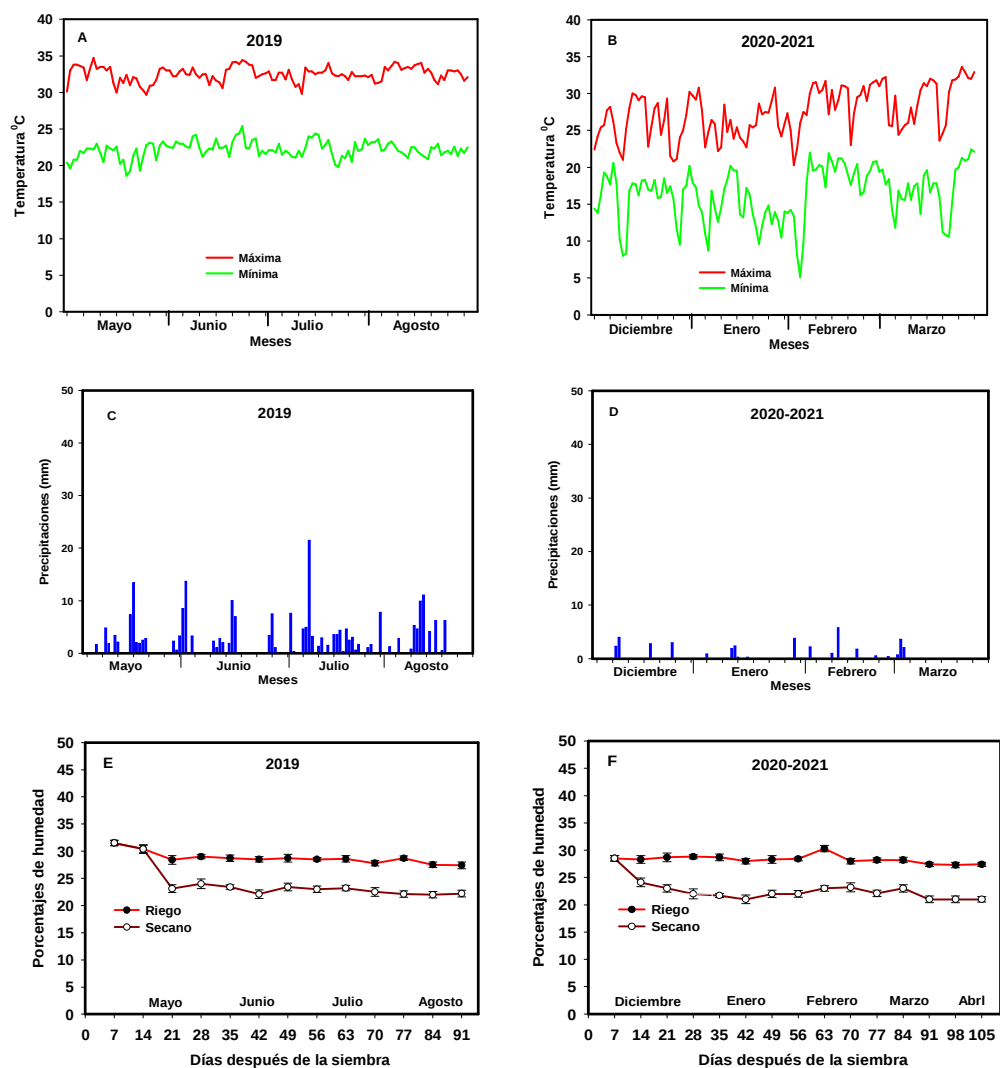


Figura 1. Variaciones en algunas variables del clima y la humedad el suelo en función de las dos fechas de siembra empleadas (mayo, 2019 y diciembre, 2020).

Figure 1. Variations in some climate and soil humidity variables depending on the two sowing dates used (May, 2019 and December, 2020).

En la tabla 1 se presentan los resultados de la duración de las dos fases fenológicas consideradas en el presente trabajo (promedio de los dos tratamientos empleados: riego y secano, al existir un día de diferencia entre ambos) y el total del ciclo. En primer lugar, hay que señalar que la duración del ciclo del cultivo resultó diferente producto de la fecha de siembra empleada, lo cual provocó también diferencias en la duración de las subfases y la fase vegetativa tuvo mayor duración que la reproductiva.

Tabla 1. Duración de las subfases consideradas y total del ciclo del cultivo de maíz (días) en dos fechas de siembra diferentes.

Table 1. Duration of the subphases considered and total of the corn crop cycle (days) on two different planting dates.

Experimentos	Subfases (días)		Total
	Vegetativa	Reproductiva	
Mayo, 2019	54	33	87
Diciembre, 2020	74	40	114

Sobre la duración del ciclo, hay que destacar que este resultó mayor en la siembra de 2020 (periodo poco lluvioso), lo cual denota que siembras realizadas en épocas del período lluvioso resultan de un crecimiento más acelerado, aspecto en el que también intervienen otros elementos del clima como las temperaturas.

El comportamiento variable respecto a la duración de las fases y el ciclo del cultivo, se puede relacionar con la temperatura en las distintas fechas de siembra; ya que el ciclo de los cultivos se afecta de manera importante por este factor ambiental, lo que puede provocar un alargamiento o acortamiento en las fases que dan lugar al período de vida de la planta (15).

Estudios realizados en Cuba con anterioridad, informaron que existe una relación directa entre el rendimiento y la duración de la etapa vegetativa, para diferentes cereales (16). Esto demuestra la importancia de que exista un mayor periodo de intercepción de la radiación solar por el cultivo en esta fase, que facilita una mayor productividad. Es necesario alargar el periodo en el que la productividad por unidad de superficie de la planta es alta, para lograr mayor producción de masa seca y mayores rendimientos por planta.

De acuerdo con lo informado acerca de las variaciones en las variables del clima en función de las fechas de siembra, su conocimiento, permite hacer un uso adecuado de todos los recursos a nivel del productor para alcanzar mejores resultados en la producción, aunque las características genéticas de cada cultivar empleado también deben ser tenidos en cuenta. En este sentido el comportamiento de las temperaturas resulta un eslabón principal para alcanzar dichos objetivos, por lo que manejar las fechas de siembra adquiere una singular importancia. Por lo tanto, los cultivos que requieran menor acumulado de temperaturas para completar su ciclo, deben ser sembrados en los meses de temperaturas más bajas, para que el período de establecimiento en el campo sea menor en comparación con otros cultivos que presenten una mayor duración (17).

El crecimiento y desarrollo de un cultivo es determinado por su manejo y por sus rasgos genéticos que interactúan con los factores ambientales. En la figura 2 se presentan los resultados de los valores alcanzados por la superficie foliar y el número de hojas, en plantas de maíz que se

sembraron en dos épocas diferentes y se sometieron a dos tratamientos, uno con riegos periódicos y el otro en condiciones de secano.

Se comprobó una marcada reducción de la superficie foliar (Figura 2A) en ambas siembras cuando las plantas se cultivaron en condiciones de secano (90,75 % y 97,08 %, en el 2019 y 2020, respectivamente) respecto al tratamiento al que se le suministró agua de riego. Con respecto al número de hojas (Figura 2B) no se presentaron diferencias entre tratamientos, lo que permite asegurar que las hojas alcanzaron un menor tamaño en el año 2019 en el tratamiento de secano, pues como se había señalado la superficie foliar disminuyó considerablemente.

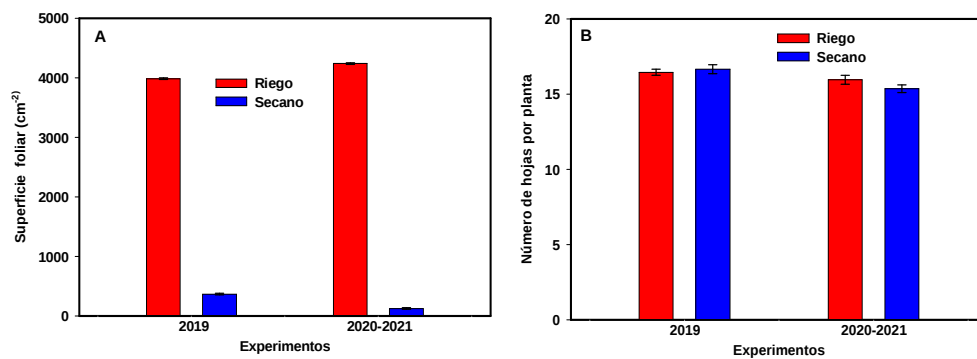


Figura 2. Comportamiento de la superficie foliar y el número de hojas en el momento de la antesis en plantas de maíz sembradas en dos épocas diferentes (mayo, 2019 y diciembre, 2020) y un tratamiento de riego y otro de secano. Encima de cada barra se presenta el intervalo de confianza de las medias ($p \leq 0,05$).

Figure 2. Behavior of the leaf surface and the number of leaves at the time of anthesis in corn plants planted in two different times (May, 2019 and December, 2020) and one irrigation and one dryland treatment. Above each bar the confidence interval of the means is presented ($p \leq 0.05$).

La superficie foliar resulta fundamental al ser un indicador de procesos fisiológicos como la fotosíntesis y la transpiración. Por otra parte, una menor superficie foliar, implica un menor índice de área foliar (18).

El índice de área foliar se presenta en la figura 3, y no es más que la expresión numérica adimensional resultado de la división aritmética del área de las hojas de un cultivo expresado en m² y el área de suelo sobre el cual se encuentra establecido, también expresado en m².

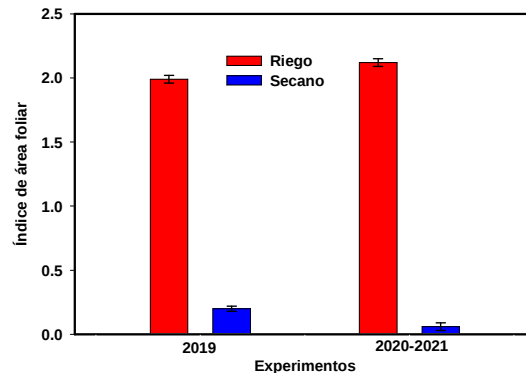


Figura 3. Comportamiento del índice de área foliar en el momento de la antesis en plantas de maíz sembradas en dos épocas diferentes (mayo, 2019 y diciembre, 2020) y un tratamiento de riego y otro de secano. Encima de cada barra se presenta el intervalo de confianza de las medias ($p \leq 0,05$).

Figure 3. Behavior of the leaf area index at the time of anthesis in corn plants planted in two different times (May, 2019 and December, 2020) and one irrigation and one rainfed treatment. Above each bar the confidence interval of the means is presented ($p \leq 0.05$).

Los valores encontrados en las siembras de secano en los dos años, resultaron extremadamente bajos en comparación con los tratamientos que se regaron, resultados que están en plena correspondencia con los valores de la superficie foliar analizados anteriormente. Es de destacar que las condiciones climáticas con respecto a las precipitaciones no resultaron adecuadas en los años 2019 y 2020, al ser muy bajas, para siembras de secano, independientemente de que la época de siembra fue diferente en ambos años, lo cual justifica la necesidad del agua para alcanzar un crecimiento adecuado de las hojas y de toda la planta en general. En general, los valores obtenidos, resultaron más bajos a los anteriormente indicados (19).

Es común encontrarse en diferentes regiones del mundo, variaciones climáticas muy marcadas de uno a dos años, al siguiente, lo cual está en plena correspondencia con las alteraciones que provoca el cambio climático, el cual es uno de los retos que se deben afrontar, para alcanzar un desarrollo sostenible (20).

El comportamiento de la masa seca en el momento de la antesis en hojas, tallos y total, esta última incluye el resto de los órganos aéreos, se presenta en la Figura 4.

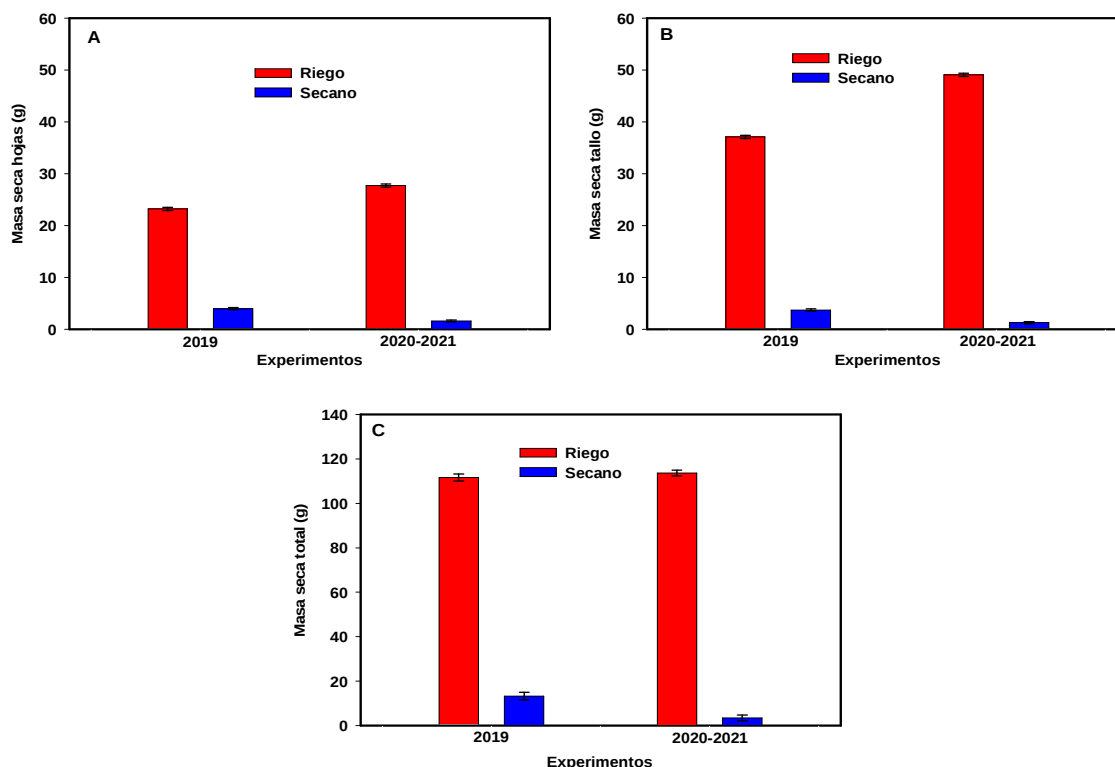


Figura 4. Valores de masa seca de hojas (A) tallo (B) y total (C) en el momento de la antesis en plantas de maíz sembradas en dos épocas diferentes (mayo, 2019 y diciembre, 2020) y un tratamiento de riego y otro de secano. Encima de cada barra se presenta el intervalo de confianza de las medias ($p \leq 0,05$).

Figure 4. Dry mass values of leaves (A), stem (B) and total (C) at the time of anthesis in corn plants planted in two different times (May, 2019 and December, 2020) and an irrigation treatment and another dry land. Above each bar the confidence interval of the means is presented ($p \leq 0.05$).

Se destaca una diferencia marcada entre los valores alcanzados en el tratamiento con riego, respecto al de secano, y aunque los valores fueron mayores en la siembra de diciembre respecto a la de mayo, tanto en las hojas como en tallo, en el total, esas diferencias no se presentaron, pues los valores fueron similares, por lo que los incrementos en la siembra de diciembre, estuvieron dados por una mayor masa seca en el resto de los órganos aéreos. Esto desde luego estará relacionado con una mayor productividad en siembras de invierno que en las de primavera, de hecho, los mayores rendimientos se alcanzan en Cuna en época de invierno, siempre y cuando el riego está presente,

Se reconoce a la biomasa total de la planta, como una medida del balance que se establece entre los procesos de fotosíntesis y respiración y, a la superficie foliar por planta o por unidad de área ocupada por estas, como la capacidad que tiene la misma de sintetizar esa biomasa (17). Se ha señalado para condiciones de secano, que ocurre una severa afectación en la translocación de asimilatos producidos en las hojas hacia los órganos reproductivos, como los granos y las vainas

(21), lo cual justifica que en esos tratamientos los rendimientos de forma general, sean más bajos. Las variaciones en las condiciones climáticas, son consecuencias en lo fundamental del efecto del cambio climático, al producir incrementos de las temperaturas y cambios en los regímenes de precipitaciones, lo cual, en el caso en particular de Cuba, resulta muy importante que se implementen estrategias y se usen herramientas que faciliten la adaptación de la agricultura a los cambios que ya ocurren y experimentará el clima en el futuro (13). En particular, las temperaturas lejos del rango adecuado para el cultivo, pueden afectar negativamente la fotosíntesis, la translocación, la fertilidad de las flores, la polinización exitosa y otros aspectos del metabolismo.

El área foliar específica, definida como la relación entre la superficie foliar de la hoja y su biomasa (Figura 5) resultó más baja en la siembra del 2019, sin diferencias significativas entre tratamientos, que en la del 2020, donde en el tratamiento de riego resultó mayor.

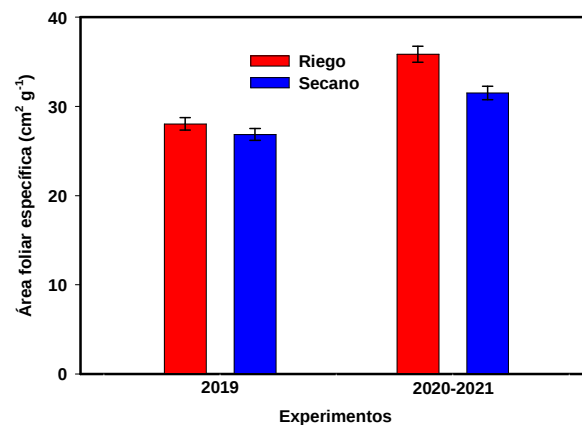


Figura 5. Área foliar específica en el momento de la antesis en plantas de maíz sembradas en dos épocas diferentes (mayo, 2019 y diciembre, 2020) y un tratamiento de riego y otro de secano. Encima de cada barra se presenta el intervalo de confianza de las medias ($p \leq 0,05$).

Figure 5. Specific leaf area at the time of anthesis in corn plants planted in two different times (May, 2019 and December, 2020) and one irrigation and one rainfed treatment. Above each bar the confidence interval of the means is presented ($p \leq 0.05$).

Esta variable es una de las características clave más aceptadas y utilizadas para el estudio de las hojas. La sequía y el estrés hídrico tienen efectos variables en el área foliar específica. En varias especies, la sequía disminuye el área foliar específica. Por ejemplo, en condiciones de sequía, las hojas son, en promedio, más pequeñas que las hojas de las plantas bien abastecidas de agua, varía también con la intensidad lumínica o época del año (22). Por otro lado, el área foliar específica determina el crecimiento de las plantas (23) al identificar cambios en la razón de área foliar entre las dimensiones de las hojas y peso de las mismas, la cual disminuye a mayor edad de las plantas (24).

No cabe dudas que el cambio climático es uno de los retos que se deben afrontar si se quiere alcanzar un desarrollo sostenible, aunque la alteración de las condiciones ambientales, están íntimamente ligadas al modelo de producción y consumo que se aplique (25,26). Por otra parte, los programas de mejoramiento genético, aunque también se han incentivado, para diferenciar cultivares de maíz con cierta tolerancia a la sequía y su evaluación en campo (27), aun requieren de más estudio en el país.

Para reafirmar que los procesos fisiológicos están regidos por la temperatura (8) ante la ocurrencia de una fluctuación climática producida por un conflicto nuclear, los autores comprobaron que la duración en días de la fase vegetativa para los cultivos de arroz, maíz y soya, aumenta en relación con sus valores medios para el clima de referencia en todas las fechas de siembra; provocado por el enfriamiento del clima que caracteriza la fluctuación estudiada, lo que produce una ralentización de los procesos fisiológicos en las plantas de cultivo que conduce a retardar su ciclo de crecimiento y desarrollo en el campo.

Conclusiones

-La época del año influye de manera decisiva en la duración del ciclo del cultivo, ya que resulta más corta en siembras de inviernos en comparación con las siembras de la época lluviosa, aspectos en los que el comportamiento de las temperaturas son un factor determinante.

-En siembras de secano el crecimiento en general del cultivo se ve reducido, por lo que será imprescindible contar con regadío para revertir esa situación.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- FAOSTAT (2020). Crops. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [cited 15 oct 2023] [Available from: www.fao.org]
- 2- ONEI. Anuario estadístico de Cuba, 2022.[cited 15 oct 2023] [Available from: www.onei.cu]
- 3- MINAG (2015). Lista oficial de variedades comerciales. Registro de variedades comerciales. Ministerio de Agricultura. [cited 15 oct 2023] [Available from: <https://www.minag.gob.cu>]
- 4- IIG. Guía técnica para la producción de maíz. Instituto de Investigaciones de Granos. La Habana, Cuba: Agroecológica; 2013. 29 p.
- 5- IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis (Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change).[cited 15 oct 2023] [Available from: <https://www.ipcc.ch>]
- 6- FAO (2022). Conferencia regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 37 periodo de sesiones. [cited 15 oct 2023] [Available from: www.fao.org]
- 7- Akinbile CO, Ogundipe A, Oluwalogbon R. Crop area requirements, biomass and grain yields estimation for upland rice using CROPWAT, AQUACROP and CERES simulation models. Agricultural Engineering International: CIGR Journal 2020, 22(2).[cited 16 oct 2023] [Available from: <https://www.cigrjournal.org>]
- 8- Rivero-Vega RE, Rivero-JaspeZI, Rivero-Jaspe RR. Impactos de una fluctuación climática sobre el arroz, maíz y soya en Camagüey-Sancti Spiritus. Revista Cubana de Meteorología 2018, 24(1):44-60.[cited 16 oct 2023] [Available from: <https://rcm.insmet.cu>]
- 9- Hernández A, Pérez J, Bosch,D, Castro N. Clasificación de los suelos de Cuba. Ediciones INCA, 2015. [cited 14 oct 2023][Available from: <https://ediciones inca.edu.cu>]
- 10- Mokhtarpour H, Teh CB, Saleh G, Selamat AB, Asadi ME, Kamkar B. Non-destructive estimation of maize leaf area, fresh weight, and dry weight using leaf length and leaf width. Communications in Biometry and Crop Science 2010, 5(1):19-26. [cited 9 oct 2023] [Available from: <http://agrobiol.sggw.pl>]
- 11- Nafarrate AC. Estimación directa e indirecta del índice de área foliar (IAF) y su modelación con LiDAR en un bosque tropical seco de Yucatán [Tesis de maestría]. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida, Yucatán México, 2017. pp. 79 <https://cicy.repositorioinstitucional.mx>

- 12- MINAG. Guía Técnica para la producción del cultivo del maíz (*Zea mays* L.). Ministerio de Agricultura. [cited 2 oct 2023] [Available from: <https://www.minag.gob.cu>]
- 13- Duarte C, Herrera J, López T, González F, Zamora E. Nuevas normas netas de riego para los cultivos agrícolas en Cuba. Revista Ingeniería Agrícola 2015, 5(4):46-51.<http://opn.to/a/Iu2VC>
- 14- Castillo Y, González F, Hervis G, Rivero LH, Cisneros E. Impacto del cambio climático en el rendimiento del maíz sembrado en suelo Ferralítico Rojo compactado. Revista Ingeniería Agrícola 2020, 10(1):49-60.<http://opn.to/a/Iu2VC>
- 15- Tenreiro TR, García-Vila M, Gómez JA, Jiménez-Berni JA, Fereres E. Using NDVI for the assessment of canopy cover in agricultural crops within modelling research. Computers and Electronics in Agriculture 2020, 182:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106038>
- 16- Hernández, N, Soto F. Determinación de índices de eficiencia en los cultivos de maíz y sorgo establecidos en diferentes fechas de siembra y su influencia sobre el rendimiento. Cultivos Tropicales 2013, 34(2), 24-29. <https://ediciones.inca.edu.cu>
- 17- Maqueira LA, Roján, O, Torres K, Duque D, Torres W. Duración de las fases fenológicas, su influencia en el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.). Cultivos Tropicales 2018, 39(1), 68-73. <https://ediciones.inca.edu.cu>
- 18- Zavala-Borrego F, Reyes-González A, Álvarez-Reyna VDP, Cano-Ríos P, Rodríguez-Moreno VM. Efecto de la tasa de evapotranspiración en área foliar, potencial hídrico y rendimiento de maíz forrajero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2022, 13(3):407-420. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2294>
- 19- González D, Rodríguez O, Florido R, Vázquez R, Socorro MÁ. Determinación de parámetros para la calibración del modelo DSSAT en el cultivo del maíz. Revista Ingeniería Agrícola 2022, 12(4):42-48. <http://opn.to/a/Iu2VC>
- 20- Ramos JA, Becerra E, Cárdena, JF, Jiménez R. Aplicación del modelo Aquacrop para un cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Revista Sistemas de Producción Agroecológicos 2019, 10(2): 19-49. <https://doi.org/10.22579/22484817.730>
- 21- Sifuentes-Ibarra E, Ojeda-Bustamante W, Macías-Cervantes J, Mendoza-Pérez C, Preciado-Rangel P. Déficit hídrico en maíz al considerar fenología, efecto en rendimiento y eficiencia en el uso del agua. Agrociencia 2021, 55(3):209-226. DOI: <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i3.2414>
- 22- Lee JH, Heuvelink E. Simulation of leaf area development based on dry matter partitioning and specific leaf area for cut *Crysanthemum*. Annal of Botanny, 2003, 91(3):319-327.<https://doi.org/10.1093/aob/mcg015>
- 23- Villegas Rivas D, Valbuena Torres N, Milla Pino M, Terán Y, Pérez Pérez Y, Villegas Rivas S. Estimación del área foliar específica en pasto cayman (*Brachiaria* híbrido). Zootecnia Tropical 38: e4044394, 2020. DOI: 10.5281/zenodo.4044394
- 24- Hernández Guzmán FJ, Rodríguez-Ortega, LT, Velázquez-Martínez M, Landa-Salgado, P, Rodríguez-Ortega A, Castrellón-Montelongo JL. Influencia del tamaño de cariósido y embrión en el desarrollo de plántulas de pastos. Interciencia 2021, 46(7-8):309-316. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33968402004>
- 25- Ramos JA, Becerra E, Cárdenas JF, Jiménez R. Aplicación del modelo Aquacrop para un cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Revista Sistemas de Producción Agroecológicos 2019, 10(2):19-49. <https://doi.org/10.22579/22484817.730>

- 26- López M. (2021). Monitoreo del estrés hídrico en cultivo de maíz (*Zea mays* L.) mediante imágenes multiespectrales de un vehículo aéreo no tripulado [Tesis Doctoral]. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, 2021. Pp. 89. diauia_lhm-21.pdf
- 27- Gómez Cerna MJG, WeslyCR, Rodríguez IY, Rosas Sotomayor JC. Comportamiento agronómico de accesiones de maíz de Honduras bajo estrés de sequía. Revista Ceiba. Zamorano Investiga 2021, 36-51. <https://www.researchgate.net>