

COMPORTAMIENTO AGRÍCOLA Y CALIDAD HARINERA DE GENOTIPOS DE TRIGO CUBANO CULTIVADOS EN LA PROVINCIA ARTEMISA

Agricultural behavior and flour quality of Cuban wheat genotypes cultivated in Artemisa province

Leixys Rodríguez Rodríguez^{1*}, José Francisco Gil Vidal², Damarys López Forteza³,
 Janet Rodríguez Sánchez⁴, María de los Ángeles Torres Mederos⁵, Lianne Fernández Granda⁶

¹Departamento de Recursos Fitogenéticos y Semillas, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). Calle 188 No. 38754 e/ 397 y Linderos, Santiago de las Vegas, Boyeros. La Habana, Cuba. E-mail: genetica2@inifat.co.cu

²Departamento de Recursos Fitogenéticos y Semillas, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). La Habana, Cuba. E-mail: jfgilvidal2@gmail.com

³Departamento de Gestión de la Innovación y la Extensión Agraria del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). La Habana, Cuba. E-mail: jdptoextagraria@inifat.co.cu

⁴Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). La Habana, Cuba. E-mail: bioferbiocontrol@inifat.co.cu

⁵Departamento de Recursos Fitogenéticos y Semillas, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). La Habana, Cuba. E-mail: mariadelosangeles636@gmail.com

⁶Departamento de Recursos Fitogenéticos y Semillas, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). La Habana, Cuba. E-mail: genetica1@inifat.co.cu

RESUMEN: A pesar de la existencia de un germoplasma de trigo nacional con buen comportamiento para las condiciones productivas de Cuba no se ha logrado generalizar el cultivo. Los productores desconocen el manejo agronómico de los materiales, no tienen acceso a las semillas o muestran escepticismo en alcanzar con éxito producciones competitivas y con suficiente calidad para la industria harinera. El siguiente trabajo tiene como objetivo caracterizar el comportamiento agrícola y la calidad de la harina de genotipos de trigo (*T. aestivum*) bajo las condiciones de producción de la provincia de Artemisa. La siembra se desarrolló a partir de enero del 2023 en la CCS "Niceto Pérez" de San Antonio de los Baños. Se tomaron datos de las variables meteorológicas de interés y parámetros de post-cosecha como la altura de la planta, el número de hijos por macolla, la longitud de la espiga, el total de semillas en un gramo y el rendimiento de cada cultivar. Además, se llevaron cinco kilogramos de granos de los genotipos 'CC-204' e 'I-399' al molino y se realizaron análisis de la calidad a la harina obtenida. Las condiciones agroclimáticas durante el periodo permitieron el desarrollo de los genotipos a pesar de las altas temperaturas. Cada material presentó diferentes características morfológicas, 'M-04' se destacó por su altura y el tamaño de las espigas y semillas, mientras que 'I-399' presentó el mayor número de hijos productivos por macolla. El genotipo 'C-204' fue el que obtuvo el mayor rendimiento y buenas aptitudes para la industria harinera.

Palabras claves: calidad, harina, producción, trigo nacional.

* Correspondencia a: genetica2@inifat.co.cu

Recibido: 22/06/2024

Aceptado: 25/10/2024

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores: Leixys Rodríguez Rodríguez: **Conceptualización. Investigación. Análisis formal. Escritura-borrador-inicial.** José Francisco Gil: **Curación de datos. Metodología. Análisis formal.** Damarys López Forteza: **Curación de datos. Investigación.** Janet Rodríguez Sánchez: **Curación de datos. Adquisición de financiación.** María de los Ángeles Torres Mederos: **Revisión y edición.** Lianne Fernández Granda: **Supervisión.**



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



ABSTRACT : Despite the existence of a national wheat germplasm with good performance for the productive conditions of Cuba, its cultivation has not been able to become widespread. Producers are unfamiliar with the agronomic management of the materials, do not have access to seeds or are skeptical about successfully achieving competitive production with sufficient quality for the flour industry. The following work aims to characterize the agricultural behavior and flour quality of *T. aestivum* genotypes under the production conditions of the Artemisa province. Sowing took place from January 2023 at the "Niceto Pérez" CCS in San Antonio de los Baños. Meteorological variables of interest as well as post-harvest parameters such as plant height, number of tillers per clump, spike length, total number of seeds in a gram and yield were taken from each cultivar. In addition, five kilograms of grains of the genotypes 'CC-204' and 'I-399' were milled and it carried out some quality analyses to the flour obtained. The agro-climatic conditions during the period allows the development of the genotypes despite the high temperatures. Each material presented different morphological characteristics, 'M-04' stood out for its height and the size of the spikes and seeds, while 'I-399' presented the highest number of productive shoots per clump. The 'C-204' genotype was the one that obtained the highest yield and good aptitudes for the flour industry.

Keywords: quality, flour, production, national wheat.

INTRODUCCIÓN

Los cereales son la fuente de energía y nutrientes más importante en la alimentación humana y animal, se distingue entre ellos el trigo (*Triticum aestivum*), del cual se obtiene harina como producto principal; salvado y germen como subproductos. La harina se utiliza para la elaboración de una gran variedad de alimentos, entre los que se destacan los productos de la panificación. Por otro lado, el salvado se destina en su mayor parte a la alimentación animal (Zurita, 2024).

Cuba ha desarrollado varios estudios para promover el cultivo del trigo. La antigua Estación Experimental Agronómica de Santiago de Las Vegas, actual Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), tiene más de 50 años de trabajo con la especie en la búsqueda de cultivares mejor adaptados a las condiciones tropicales. Como resultado de un programa de mejoramiento genético desarrollado en la década de los cincuenta, se obtuvo la variedad CC-204, mediante un proceso de selección individual efectuado a partir de la variedad BH-1146, procedente de Brasil (Pérez et al., 2004). También existen varios materiales (líneas avanzadas de mejoramiento genético) obtenidas por la radioinducción de mutaciones desarrolladas por el grupo de Radiobiología y Radiomutagénesis del INIFAT.

A pesar de la existencia de un germoplasma de trigo nacional con buen comportamiento, no se ha logrado generalizar el cultivo. Los productores desconocen el manejo agronómico de los materiales, no tienen acceso a las semillas

o muestran escepticismo en alcanzar con éxito producciones competitivas y con suficiente calidad para la industria harinera. En el contexto actual, es imprescindible lograr extender los resultados de la investigación a los diferentes escenarios productivos fortaleciendo la conexión entre el conocimiento y la producción (Díaz Canel, 2023).

En el marco del proyecto sectorial "Contribución a la extensión de las variedades cubanas de trigo (*Triticum aestivum* L.) para apoyar la producción de harina con calidad industrial" se han facilitado una serie de acciones para sembrar los materiales del INIFAT, en diferentes escenarios productivos. El siguiente trabajo tiene como objetivo caracterizar el comportamiento agrícola y la calidad de la harina de genotipos de trigo (*T. aestivum*) bajo las condiciones de producción de la provincia de Artemisa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Comportamiento agrícola

Los materiales de trigo (*Triticum aestivum* L.) empleados en la caracterización fueron: la variedad 'CC-204' obtenida por el INIFAT (MINAG, 2022) y dos líneas avanzadas de mejoramiento genético ('M-04' obtenida a partir de una mutación del CC-204) e 'I-399' (línea estabilizada a partir de material foráneo introducido al país). Los tres genotipos se sembraron en áreas de la Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) "Niceto Pérez", localizada en San Antonio de los Baños, provincia de Artemisa.

La siembra se realizó en enero del 2023 sobre suelos ferralíticos rojos (Hernández, 2021). La distancia de siembra fue de 0,45 m y se utilizó una densidad de 50 kg.ha⁻¹ de semillas.

Las labores de siembra incluyeron siete riegos distribuidos en momentos claves del desarrollo fisiológico del cultivo (riego de presembrado o germinación; al inicio del crecimiento del tallo o encañado cuando se tuvieron dos nudos visibles; en la etapa de espigamiento-floración y en la etapa de grano lechoso) (Ávila *et al.*, 2022). La fertilización nitrogenada (Urea 46-0-0) se realizó en la etapa de primer nudo o inicio del encañe a razón de 150 kg.ha⁻¹.

La siembra se realizó en enero del 2023 sobre suelos ferralíticos rojos (Hernández, 2021). La distancia de siembra fue de 0,45 m y se utilizó una densidad de 50 kg.ha⁻¹ de semillas. Las labores de siembra incluyeron siete riegos distribuidos en momentos claves del desarrollo fisiológico del cultivo (riego de presembrado o germinación; al inicio del crecimiento del tallo o encañado cuando se tuvieron dos nudos visibles; en la etapa de espigamiento-floración y en la etapa de grano lechoso) (Ávila *et al.*, 2022). La fertilización nitrogenada (Urea 46-0-0) se realizó en la etapa de primer nudo o inicio del encañe a razón de 150 kg.ha⁻¹.

Los datos de las temperaturas máxima (T. máx.), mínima (T. mín.), media (T. med.), las precipitaciones (P), la humedad relativa máxima (HR máx.), la humedad relativa mínima (HR mín.) y la humedad relativa media (HR md) fueron tomados de la Estación Meteorológica de Santiago de las Vegas, localizada a 20 km del sitio de la siembra (INSMET, 2024). Para el presente estudio, se tomó en cuenta el código decimal de Zadoks *et al.* (1974) (Z00-Z99) que es la escala de desarrollo de cereales más utilizada en el mundo.

Se caracterizaron los parámetros de post-cosecha: altura de la planta, número de hijos por macolla, longitud de la espiga y total de semillas en 1 g. El rendimiento se determinó por el peso total de los granos cosechados en una parcela de 1 m² seleccionada aleatoriamente para cada genotipo, posteriormente se estimaron los equivalentes para 1 hectárea.

Análisis del comportamiento de la molienda

Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio de Calidad de la Empresa Industrial Molinera S.A. (IMSA). Para el análisis de la cosecha se trabajó con una muestra representativa

de cinco kilogramos de granos de los genotipos 'CC-204' e 'I-399'. Los procedimientos se realizaron según las normas cubanas vigentes (NC ISO 712, 2002; NC ISO 24333, 2013). Se determinaron parámetros físico-químicos de la harina como la humedad, el contenido de proteínas, el gluten húmedo, el gluten seco. Se analizaron también las propiedades reológicas de la masa medidas en el alveógrafo (NC 672, 2008) que fueron: la energía de deformación o fuerza panadera (W) (Jx10⁻⁴); así como las relaciones P/G (índice de elasticidad= capacidad de la masa de extenderse) y P/L (equilibrio de la curva).

Análisis estadísticos

Se determinaron los valores máximo, mínimo y medio para todas las variables meteorológicas analizadas. Para la toma de datos agrícolas se empleó un modelo completamente aleatorizado, se comprobaron los supuestos de normalidad mediante un diagrama de dispersión de los residuos obtenidos versus los cuantiles teóricos (diagrama no mostrado) y se realizó un análisis de varianza simple con la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para determinar diferencias significativas para cada carácter con un nivel de significación del 5 %. Se empleó el coeficiente de correlación de Spearman para analizar la relación entre las variables de estudio. Se utilizó el programa estadístico InfoStat versión 2011 (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina) y la hoja de cálculo de Excel para todos los análisis matemáticos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de temperaturas indican que el período experimental se caracterizó por ser relativamente cálido (Tabla 1). Según INSMET (2024), el mes de febrero del 2023 presentó valores de temperaturas medias por encima de la media histórica. Los acumulados de lluvias reportadas en los meses de enero y febrero estuvieron por debajo de su valor normal en todo el territorio nacional, se considera el quinto mes de enero menos lluvioso desde 1961 hasta la fecha. Los meses de marzo y abril también registraron temperaturas superiores a la media histórica, sin embargo, las precipitaciones mostraron valores en la norma.

Tabla 1. Comportamiento de las diferentes variables meteorológicas registradas en el estudio durante los meses de enero-abril del 2023

Mes y estadio de crecimiento del trigo	Valores contrastantes	T max (°C)	T min (°C)	T med (°C)	P (mm)	HR max (%)	HR min (%)	HR md (%)
Enero (Z00-Z29)	Valor Máximo	31.7	22.2	29.4	0.6	99	54	85
	Valor Medio	28.2	17.6	22.7	0.0	96.7	40.1	72.9
	Valor Mínimo	22	7.3	16.3	0	71	26	53
Febrero (Z31-Z49)	Valor Máximo	31.9	29.5	26.6	8.2	99	64	88
	Valor Medio	29.8	19.2	24.0	0.3	96.0	37.7	71.7
	Valor Mínimo	24.6	12	20.1	0	80	17	58
Marzo (Z51-Z75)	Valor Máximo	32.1	23	26.5	92.9	99	78	94
	Valor Medio	29.9	19.9	24.5	5.5	94.5	38.9	70.6
	Valor Mínimo	21	16.4	20.2	0	82	18	57
Abril (Z75-Z89)	Valor Máximo	33.7	24	27.7	75.6	100	58	79
	Valor Medio	30.7	21.0	25.6	4.1	94.5	41.4	70.9
	Valor Mínimo	27.5	18.4	23.9	0	85	23	63

Temperaturas máximas (T max), temperaturas mínimas (T min), precipitaciones (P), humedad relativa máxima (HR max), humedad relativa mínima (HR min), humedad relativa media (HR md). Datos tomados de la Estación Meteorológica de Santiago de las Vegas. Sea Z00-Z89 la nomenclatura asignada por la escala de Zadoks para definir los estadios de crecimiento en cereales (Zadoks et al., 1974).

El cultivo del trigo requiere temperaturas frescas tanto para su desarrollo vegetativo como reproductivo. En la etapa de amacollamiento (Z2), el cultivo necesita bajas temperaturas (7 y 18 °C), su desarrollo es más lento y se favorece la diferenciación floral (formación de espiguillas) (Z55-Z59) (Figura 1) y el número de hijuelos (dependiendo de la densidad de siembra), lo que influye en el rendimiento. Condiciones con altas temperaturas al inicio, aceleran el desarrollo de la planta por lo que se reduce la etapa de amacollo, disminuyendo así el número final de hijuelos productivos, lo que se traduce en una reducción del rendimiento (Ávila et al., 2022).

Durante las fases reproductivas (Z51-Z79) (Figura 1), las temperaturas entre 15-20 °C se consideran óptimas para el desarrollo del cultivo. La floración y las fases reproductivas son las etapas más sensibles. El estrés por calor puede causar esterilidad tanto en el óvulo como en el polen, junto a la dehiscencia de las anteras (Z61-Z69) (Figura 1B). Las temperaturas superiores a 30 °C causan aborto durante el desarrollo de los granos de polen. En la antesis, el estrés térmico limita la translocación de recursos para el desarrollo del grano, lo que provoca la formación de granos pequeños y la obtención de bajos rendimientos. El estrés por calor acorta la duración de la fase del llenado del grano

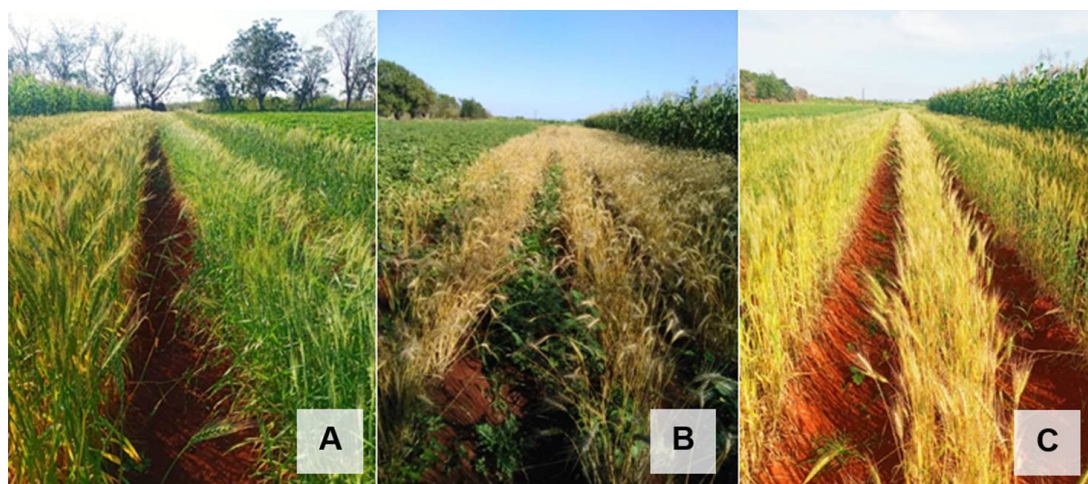


Figura 1. Diferentes momentos del desarrollo fenológico de la variedad CC-204 en la siembra realizada en la CCS de San Antonio de los Baños, Artemisa. A) Fase de espigado, Z55-Z59; B) Antesis y estado lechoso del grano, Z61-Z75; C) Estado pastoso del grano y madurez, Z80-Z95

y disminuye la acumulación de almidón y proteínas, debido a la reducción de la actividad de las enzimas que intervienen en la biosíntesis; también afecta la eficiencia asimiladora de la hoja bandera y la movilización de reservas a través del tallo (Ullah *et al.*, 2022).

Las precipitaciones y la humedad relativa del aire influyen sobre el rendimiento y la calidad del trigo. Según Öztürk *et al.* (2018), altos valores de precipitaciones durante el llenado del grano (Z73-Z77) tienen efectos negativos sobre la composición proteica, el gluten y la sedimentación, y favorecen la aparición de patógenos que también influyen sobre el rendimiento. Por otra parte, valores elevados de humedad entre las fases Z31-Z91 (aparición del primer nudo-fase tardía del estado lechoso del grano) tienen efectos positivos sobre el rendimiento (Öztürk *et al.*, 2018). Ante temperaturas cálidas, la planta debe cerrar los estomas para reducir la pérdida de agua, entonces no es posible mover las moléculas de CO₂ y O₂; el metabolismo se afecta con el exceso de vapor de agua y los gases transpirados. Altos niveles de humedad relativa pueden provocar varias respuestas: reducir la evotranspiración, incrementar la carga de calor de las plantas de trigo, incrementar el cierre de los estomas, reducir la absorción de CO₂. La transpiración reducida influye en la translocación de materiales alimenticios y nutrientes; mientras que la HR baja aumenta la evapotranspiración (Mamta *et al.*, 2020).

Las condiciones climatológicas del occidente cubano posibilitaron la siembra del trigo. Los valores medios de las temperaturas, precipitaciones y las humedades relativas no afectaron el desarrollo del cultivo en el periodo. Estudios precedentes, sobre la comparación de diferentes fechas de siembra del trigo en la antigua provincia de la Habana (hoy Artemisa y Mayabeque), sugirieron que la siembra en enero es la mejor en comparación con la siembra en noviembre y diciembre. En enero se obtuvieron mayores valores de masa seca (a mayor biomasa, mayor rendimiento), índice de área foliar, tasa absoluta de crecimiento, velocidad de la acumulación de la masa seca aérea por fases fenológicas y mayores rendimientos (Hernández *et al.*, 2015).

Cada accesión presentó comportamientos diferentes en las condiciones de producción. La accesión I-399 se destacó significativamente por tener un mayor número de hijos y de semillas por gramo. La accesión M-04 por su parte presentó una mayor altura y espigas más largas que el resto (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de los caracteres evaluados para los genotipos según Test de Tukey

Carácter	Variedad	Media	E.E	Letras
Número de hijos	M-04	9.6	0.7	A
	I-399	24.3	1.0	B
	CC-204	11.1	1.0	A
Longitud de la espiga (mm)	M-04	94	0.2	C
	I-399	66	0.2	A
	CC-204	74	0.2	B
Ancho de la semilla (mm)	M-04	2	0.0	C
	I-399	1.3	0.0	A
	CC-204	1.8	0.0	B
Longitud de la semilla (mm)	M-04	4.1	0.1	B
	I-399	3.4	0.1	A
	CC-204	4.4	0.1	C
Total semillas por gramo	M-04	28.3	1.0	A
	I-399	40.0	1.0	B
	CC-204	29.3	1.0	A
Altura de planta (cm)	M-04	111.7	2.1	B
	I-399	94.4	2.1	A
	CC-204	94.4	2.1	A

Medias con letras distintas son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

Cuando se analiza la correlación entre los caracteres de estudio (Tabla 3), las plantas más altas presentaron espigas y granos más grandes, no obstante, estos caracteres mostraron una correlación moderada con el número de hijos por macolla. Lo anterior se debe al genotipo I-399, de pequeño tamaño de planta y granos, pero con un número significativamente mayor de hijos productivos por macolla. Los resultados indicaron que la longitud de las espigas tuvo una correlación débilmente inversa con el total de semillas por gramo y la longitud de las semillas. No se observó prácticamente ningún tipo de correlación lineal entre la altura de la planta y el número de semillas por gramo.

El tamaño del grano de trigo es un componente significativo del rendimiento y contribuye al vigor de la germinación; asimismo, se relaciona con la calidad de la molienda (Sauceda Acosta *et al.*, 2017). Genotipos de trigo con granos de menor tamaño han presentado menores valores de rendimiento, altura de la planta, longitud de la espiga, así como un menor contenido de proteínas y gluten seco (Serkan Tenikecier y Genctan, 2020).

Tabla 3. Coeficiente de correlación de Spearman para las variables de estudio

	Número de hijos	Longitud de la espiga	Total semillas por gramo	Longitud semillas	Ancho semillas	Altura de planta
Número de hijos	1.00	0.43	0.69	0.37	0.55	0.43
Longitud de la espiga		1.00	-0.12	0.92	0.89	0.86
Total semillas por gramo			1.00	-0.13	0.35	-0.08
Longitud semillas				1.00	0.93	0.85
Ancho semillas					1.00	0.90
Altura de planta						1.00

Otros factores que afectan el rendimiento del trigo son el riego, el manejo de la fertilización, la acción del cambio climático, la degradación de los suelos, el cambio espacial de las áreas empleadas para el cultivo (Liu *et al.*, 2021), la densidad de plantas, el genotipo (Bastos *et al.*, 2020), las temperaturas, las plagas y enfermedades (Liliane y Charles, 2020). La interacción entre genotipo $\times$ ambiente $\times$ manejo (G $\times$ E $\times$ M) regula la plasticidad del trigo y el rendimiento alcanzable (Bastos *et al.*, 2020). El rendimiento en el cultivo de trigo se ve influenciado por la herencia genética y todas las condiciones agroclimáticas que intervienen en el desarrollo de la planta; ambos factores quedan expresados por características morfológicas, entre ellas: el macollaje, el tamaño de la planta, el número de granos por espiguilla y el tamaño del grano (Mercado *et al.*, 2024).

Se considera que los genotipos evaluados mostraron valores inferiores a su potencial genético (Tabla 4) para la siembra enero-abril/2023, en Artemisa. La variedad CC-204 ha alcanzado valores de rendimiento de hasta 3000 kg.ha⁻¹ para las condiciones agroclimáticas del occidente cubano (Pérez *et al.*, 2004). Una explicación pudiera ser las temperaturas que acompañaron la siembra que, aunque posibilitaron el desarrollo del cultivo, se consideran como superiores a la media histórica (Tabla 1).

La cosecha realizada también sufrió varias afectaciones de plagas, entre ellas la acción de aves de corral y roedores. El genotipo I-399 fue el más afectado dada la estructura y dimensiones de la planta; el poco diámetro del tallo y su pequeña altura pudieran hacerlo más accesible que los otros genotipos de estudio. El genotipo CC-204 tiene un porte erecto y tallo más grueso a pesar de que presentó similares dimensiones

Tabla 4. Valores de rendimiento para los genotipos de trigo obtenidos por el INIFAT, cultivados en la provincia de Artemisa (cosecha enero-abril/2023)

Genotipo	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)
CC-204	1414
M-04	1098
I-399	752

en cuanto a la altura. Lo anterior pudiera explicar los bajos rendimientos obtenidos para I-399 (Tabla 4). Es conocida la preferencia de diferentes especies de aves y roedores por los granos de trigo en los estadios de pre-cosecha (Kuka *et al.*, 2022; Werunga *et al.*, 2023; Doddabematti Prakash *et al.*, 2024). No se observaron afectaciones importantes de origen fúngico, insectos o virus.

Los materiales evaluados mostraron similares características a las reportadas en la literatura: un ciclo de tres meses, resistencia al acame y tolerancia a condiciones de sequía para las condiciones de producción (Figura 1) (Pérez *et al.*, 2004; Argentel *et al.*, 2006; González *et al.*, 2007).

Análisis del comportamiento de la molienda

La humedad de los granos de trigo tiene importancia económica: indica el contenido de materia seca y además su control es indispensable para realizar un almacenamiento seguro del grano. Los valores de humedad registrados como máximos en Cuba para genotipos de trigo importados son por debajo del 14 %, que es lo establecido para los trigos comerciales (Castro, 2022), por lo que el material I-399 mostró valores ligeramente superiores en el lote de semillas entregadas (Tabla 5). Se ha relacionado la humedad con las condiciones climatológicas para el secado en el campo y un buen manejo agrícola.

El contenido y la calidad de las proteínas de los granos de trigo permiten predecir el empleo tecnológico de las harinas que se obtengan de ellos, o sea para la elaboración de qué tipo de productos deben destinarse las harinas. Los valores recomendados en los trigos americanos para panificación son de 12 %. En el caso de Argentina, la proteína es importante para el productor y acopiador ya que incide en el precio del grano al formar parte del estándar de comercialización, con bonificaciones y descuentos por encima o por debajo de la base de comercialización del 11 % (Castro, 2022). Los valores de CC-204 son altos (14.49 %), lo que coincide con resultados obtenidos en diferentes cosechas para el genotipo; tales valores superan a los trigos americanos destinados a la panadería e incluso semejantes a trigos destinados a la elaboración de pastas (Álvarez *et al.*, 2000).

Los contenidos de humedad y proteínas para CC-204 se corresponden con los obtenidos para los trigos internacionales, o sea, baja humedad y altos contenidos de proteínas. Los altos contenidos de proteínas se corroboran además en los altos valores de gluten húmedo (Tabla 5). El gluten es un complejo de proteínas insolubles en agua, que le confiere a la harina de trigo la cualidad de ser panificable. Está formado por glutenina, proteína que aporta la tenacidad y la elasticidad de la masa, y la gliadina, proteína responsable de su extensibilidad (Ávila *et al.*, 2022).

Los resultados para el alveograma (prueba que muestra las características de la harina de forma gráfica y numérica), indican que ambas harinas son consideradas de fuerza media ($W < 300$). La Tenacidad de la masa (P) expresa la altura del alveograma (mm). La extensibilidad de la masa (L) mide la capacidad que tiene la harina para ser estirada cuando se mezcla con agua. Se expresa en el alveograma por la abscisa de la curva (mm). El equilibrio de la harina (P/L) es la relación entre la tenacidad y la extensibilidad. Del equilibrio depende el destino más adecuado de la harina.

Según el equilibrio de la harina, el CC-204 se clasifica de granos equilibrados ($0,3 < P/L < 0,7$; $W > 170$) con buenas aptitudes para panificación. Por su parte, I-399 tiene harina con tenacidad ($P/L > 0,8$) y se clasifica de granos de mucha fuerza ($W > 250$, $P/L > 0,7$) que deben ser utilizados solo para mezcla (Monleón y Collado, 2008).

Tabla 5. Características físico-químicas relacionadas de la harina para los genotipos CC-204 e I-399, sembrados en la CCS "Niceto Pérez", provincia de Artemisa

Parámetros caracterizados	CC-204	I-399
HUMEDAD (%)	13.98	15.31
PROTEÍNA (%) base 14	14.49	11.68
GLUTEN HÚMEDO (%)	41	29
ÍNDICE DE GLUTEN (%)	56	66
ALVEOGRAMA		
FUERZA (W) ($J \cdot 10^{-4}$)	179	290
P/G	2.9	8.07
P/L	0.7	2.3

P/G (índice de elasticidad) y P/L (equilibrio de la curva)

Harinas demasiado tenaces resultan en masas poco extensibles, con problemas para formar piezas de sección redonda y poco desarrolladas.

CONCLUSIONES

Las condiciones agroclimáticas presentes en el periodo enero-abril del 2023, aun cuando estuvieron caracterizadas por temperatura relativamente altas, posibilitaron el cultivo de los genotipos cubanos de trigo en la provincia Artemisa. Las plantas de mayor altura presentaron espigas y granos más grandes; no obstante, estos caracteres mostraron una correlación moderada con el número de hijos por macolla. Los rendimientos alcanzados no correspondieron con el potencial genético de los genotipos. La variedad 'C-204' se destacó por sus buenas aptitudes para la industria harinera.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen los aportes realizados al trabajo por el productor Felipe Méndez Sánchez de la CCS "Niceto Pérez", San Antonio de los Baños, provincia de Artemisa y al apoyo incondicional del Laboratorio de Calidad de la empresa Industrial Molinera S.A., en especial al Ing. José Suarez Linares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez, M.; Blancol, G.; Carrasco, M.U. y Pérez, H. (2000). Evaluación del comportamiento físico-químico, molinero y panadero de una variedad de trigo cubano durante seis cosechas. *Alimentaria: Revista de Tecnología e Higiene de Los Alimentos*, (315), 83-88. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=133743>.

- Argentel, L.; González, L.M.; Ávila, C. y Aguilera, R. (2006). Comportamiento del contenido de agua y la concentración de pigmentos fotosintéticos de variedades de trigo cultivadas en condiciones de salinidad. *Cultivos Tropicales*, 27 (3), 49-53. Disponible en: <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/361/pdf>.
- Ávila, J.A.; Ávila, J.M.; Rivas, F.J. y Martínez, D. (2022). El cultivo del trigo: sistemas de producción en el noroeste de México. Sonora. Disponible en: <https://agricultura.unison.mx/memorias%20de%20maestros/EL%20CULTIVO%20DEL%20TRIGO.pdf>.
- Bastos, L.; Carciochi, W.; Lollato, R.; Jaenisch, B.R. y Rezende, C.R. (2020). Winter wheat yield response to plant density as a function of yield environment and tillering potential: A Review and Field Studies. *Frontiers in Plant Science*, 11. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.00054>.
- Castro, A.C. (2022). Trigo pan: calidad. In M. R. Simon & S. ines Golik (Eds.), *Cereales de invierno* (pp. 240-275). La Plata: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). ISBN: 978-950-34-2203-8.
- Díaz Canel, M.M. (2023). Falta conexión entre ciencia y producción. *CubaDebate*. Consultado en febrero del 2024. Disponible en <http://www.cubadebate.cu/noticias/2023/01/27/diaz-canel-falta-conexion-entre-ciencia-y-produccion/>.
- Doddabematti Prakash, S.; Rivera, J.; Sabillón, L. y Siliveru, K. (2024). From wheat grain to flour: a review of potential sources of enteric pathogen contamination in wheat milled products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-11. <https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2353892>
- González, L.M.; Estrada, A.; Zaldivar, N. y Argentel, L. (2007). Tolerancia a la sequía en diferentes variedades de trigo sobre la base de algunas variables del régimen hídrico y la concentración de pigmentos en estadio de plántula. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 16(1):45-49. ISSN: 1010-2760. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93216111>
- Hazim Serkan Tenikecier, H. y Genctan, T. (2020). Effect of endosperm and seed size on some yield and quality characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L. Em Thell). *Current Trends in Natural Sciences*, 9(17), 132-141. <https://doi.org/10.47068/ctns.2020.v9i17.015>
- Hernández, A. (2021). Área que ocupan los agrupamientos y tipos genéticos de suelos en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 42(3), e13. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362021000300013&ing=e&s&nrm=iso
- Hernández, N., Soto, F. y Plana, R. (2015). Comportamiento del crecimiento y rendimiento del cultivo del trigo (*Triticum aestivum* L.) en tres fechas de siembra. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 86-92. Disponible en: https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000100011
- INSMET. (2024). Instituto de Meteorología de la República de Cuba. (Consultado el 1o octubre de 2024). Disponible en: <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTI-LLAS&TB1=ccCLIMA&TB2=/clima/CC/CCENE-RO2023.HTM&TB3=2023>.
- Kuka, A.; Czyż, K.; Smoliński, J.; Cholewińska, P. y Wyrostek, A. (2022). The Interactions between Some Free-Ranging Animals and Agriculture-A Review. *Agriculture*, 12(5), 628. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050628>.
- Liliane, T.N. y Charles, M.S. (2020). Factors affecting yield of crops. *Agronomy-Climate Change & Food Security*, 9. Disponible en: https://books.google.com.cu/books?hl=es&lr=&id=Ppn8DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=wheat+yield+factors&ots=u0Y9k0pX5_&sig=WQ7JdN SSiN2GJL3hTFc_xt76kEo&redir_esc=y#v=onepage&q=wheat%20yield%20factors&f=false.
- Liu, H.; Xiong, W.; Mottaleb, K.A.; Krupnik, T.J.; Burgueño, J.; Pequeno, D. y Wu, W. (2021). Contrasting contributions of five factors to wheat yield growth in China by process-based and statistical models. *European Journal of Agronomy*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.12637>
- Mamta, Niwas, R.; Anurag, Khichar, M.; Kumar, A. y Singh, A. (2020). Profile of relative humidity in wheat (*Triticum aestivum* L.) crop. *International Journal of Chemical Studies*, 8(2), 747-756. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i2i.8858>
- Mercado, D.A.; Paiva, E.A.P.; Chávez, E.M.M.; Cáceres, M.B.; Arriola, A.R.V. y Cáceres, A.B. (2024). Determinación de componentes

- de rendimiento de variedades de trigo locales e introducidas. *Revista Sobre Estudios e Investigaciones Del Saber Académico*, 18 (18), e2024001. Disponible en: <https://revistas.uni.edu.py/index.php/rseisa/article/view/366/578>.
- MINAG (2022). Lista oficial de Variedades Comerciales, Pub. L. No. Resolución 183/2022, Gaceta Oficial No. 113. Cuba: Gaceta Oficial de la República de Cuba. Disponible en: <https://www.gacetaoficial.gob.cu>ministerio-de-la-agricultura>
- Monleón, T. y Collado, M. (2008). Calidad industrial del trigo y la harina: Técnicas de control estadístico de procesos y software. *Alimentación*, (238), 50-54. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Monleon-Getino/publication/256536185_Tecnicas_de_control_estadistico_de_procesos_y_software_Calidad_industrial_del_trigo_y_la_harina/links/592d77ea0f7e9beee728b081/Tecnicas-de-control-estadistico-de-procesos-y-software-Calidad-industrial-del-trigo-y-la-harina.pdf.
- NC 672. (2008, Noviembre). Harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) - Características físicas de las masas-parte 4: Determinación de las propiedades reológicas utilizando un alveógrafo. *Oficina Nacional de Normalización (NC)*. La Habana. Disponible en: <https://ftp.isdi.co.cu/Biblioteca/BIBLIOTECA%20UNIVERSITARIA%20DEL%20ISDI/COLECCION%20DIGITAL%20DE%20NORMAS%20CUBANAS/2008/NC%20672%20a2008%2033p%20hkq.pdf>.
- NC ISO 712 (2002). Cereales y productos de cereales. Determinación del contenido de humedad. Método de referencia de rutina. *Oficina Nacional de Normalización (NC)*. Disponible en: <https://ftp.isdi.co.cu/Biblioteca/BIBLIOTECA%20UNIVERSITARIA%20DEL%20ISDI/COLECCION%20DIGITAL%20DE%20NORMAS%20CUBANAS/2002/NC-ISO%20712.pdf>.
- NC ISO 24333 (2013). Cereales y productos de cereales-muestreo. *Oficina Nacional de Normalización (NC)*. Disponible en: <https://ftp.isdi.co.cu/Biblioteca/BIBLIOTECA%20UNIVERSITARIA%20DEL%20ISDI/COLECCION%20DIGITAL%20DE%20NORMAS%20CUBANAS/2013/NC-ISO%2024333%20a2013%2035p%20wer.pdf>
- Öztürk, İ.; Kahraman, T.; Avci, R.; Girgin, Ç.; Şili, Ş.; Kiliç, T.H.; ... Tuna, B. (2018). Effect of the rainfall and humidity at various growth stage on yield and quality in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Agriculture & Food ISSN*, 6. Disponible en: <http://www.scientific-publications.net>.
- Pérez, S.; Gutiérrez, L.; Caballero, I., Cabrera, M.; Cruz, J.A.; de la Torre, V.C. y Díaz, R. (2004). El cultivo del trigo en Cuba, un siglo de trabajos. Disponible en: <http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/2057/1/El%20cultivo%20del%20trigo%20en%20Cuba%2C%20un%20siglo%20de%20trabajos.pdf>.
- Sauceda Acosta, C.P.; Villaseñor Mir, V.A.; Lugo García, G.A.; Partida Ruvalcaba, L.; González Hernández, V.A. y Reyes Olivas, A. (2017). Tamaño y número de granos de trigo analizados mediante procesamiento de imagen digital. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(3), 517-529. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8n3/2007-0934-remexca-8-03-517.pdf>
- Ullah, A.; Nadeem, F.; Nawaz, A.; Siddique, K.H.M. y Farooq, M. (2022). Heat stress on the reproductive physiology and yield of wheat. *Revista J. Agro Crop Sci.*, 208, 1-17. <https://doi.org/10.1111/jac.12572>
- Werunga, M.; Mwaniki, D.M. y Wanjala, F.M.E. (2023). The rodent pest species infesting maize (*Zea mays* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) farms at University of Eldoret, Uasin Gishu County, Kenya. *African Journal of Education, Science and Technology*, 7 (3). Disponible en: <http://www.ajol.info/index.php/ajedscitech/article/view/254397>.
- Zadoks, J. C.; Chang, T. T. y Konzack, C. E. (1974). A decimal code for the growth stage of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>.
- Zurita, D.G. (2024). Uso de forrajes en la alimentación de interés zootécnico (Medica Veterinaria Zootecnista). Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo - Los Ríos. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/16284/E-UTB-FACIAG-MVZ-000154.pdf?sequence=1&isAllowed=y>