

EL CULTIVO DEL TRIGO. ALGUNOS RESULTADOS DE SU PRODUCCIÓN EN CUBA

Irene Moreno[✉], A. Ramírez, R. Plana y L. Iglesias

ABSTRACT. This research work was carried out with the aim of giving information about the history of wheat in Cuba and its characteristics; also, it presents the behavior of the main varieties studied under the agroclimatic conditions of the country, as well as crop agronomy, factors influencing yield, chemical fertilization and biofertilization applied to our conditions. Moreover, it refers to the main sowing dates and its optimum period according to climate and water efficiency. Finally, this paper presents a wide bibliography that helps a better understanding of the authors criteria.

RESUMEN. El presente trabajo se realizó con el objetivo de dar a conocer la historia del trigo en Cuba así como sus características; también se presentan los resultados del comportamiento de las principales variedades que han sido estudiadas en las condiciones agroclimáticas del país. Resulta de interés dar a conocer la agronomía del cultivo, los factores que influyen en su rendimiento, la fertilización química y la biofertilización aplicada a las condiciones de Cuba. Se hace referencia a las principales fechas de siembra y su período óptimo, atendiendo al factor clima, además de la eficiencia del agua; por último, se presenta una amplia bibliografía que ayuda a una mejor comprensión de lo expuesto por los autores.

Key words: wheat, *Triticum aestivum*, culture, organic manures, distance, manure application

Palabras clave: trigo, *Triticum aestivum*, cultivo, abonos orgánicos, espaciamiento, aplicación de abonos

INTRODUCCIÓN

La historia de los cereales, especialmente el trigo, y la civilización humana han estado muy vinculadas. Por tal motivo, constituye el cultivo más antiguo sembrado por el hombre en inmensas extensiones y en grandes cantidades (1).

El trigo es una planta anual de crecimiento invierno primaveral, que debido a su gran diversidad genética, puede crecer y reproducir en ambientes muy diferentes entre sí. Este cultivo se extiende ampliamente en muchas partes del mundo, quizás por ser una especie que tiene un amplio rango de adaptación y por su gran consumo en muchos países. Tan es así, que en la actualidad ocupa el primer lugar entre los cuatro cereales de mayor producción mun-

dial: trigo, arroz, maíz y cebada (2). La necesidad de producir trigo constituye una estrategia extraordinaria para la autosuficiencia económica de todos los países del universo (3).

Con el advenimiento de la revolución verde se lleva a cabo una gran cantidad de cambios en la arquitectura de la planta, en la cantidad y calidad de los insumos, así como en los diversos componentes de la tecnología de producción como estrategia para mejorar su productividad.

En Cuba, el trigo fue introducido desde los primeros años de la conquista de la isla por los españoles y su cultivo se prolongó hasta principios del siglo XIX (4). Sin embargo, a partir de estos años su cultivo fue prohibido por la metrópoli que temía la competencia en el mercado.

Por todo lo anteriormente expuesto, es muy importante conocer las características de este tipo de cultivo para lograr su mejor desarrollo, tomando en cuenta los diversos factores de manejo, suelo, condiciones climáticas y cultivar que puedan ayudar a los productores a obtener buenos rendimientos con un uso eficien-

te de los recursos a su disposición. Es por ello que el objetivo de la monografía que se les pone a su consideración es brindarles conocimientos, resultados y recomendaciones para la siembra del trigo a estudiantes, investigadores y productores en las condiciones de Cuba.

IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE TRIGO

El cultivo de trigo ocupa una superficie total a cosechar mundialmente de 226 945 000 ha y una producción total de 586 036 000 t.año⁻¹ (3).

Tal afirmación permite expresar que el trigo constituye la base estratégica para la autosuficiencia económica de todos los países del universo. Es un componente indispensable en la dieta humana y también se emplea como alimento verde en la dieta animal en forma de forraje (5).

El trigo constituye la base de las industrias panadera y formadora de piensos; es un alimento energético y aporta vitaminas a los organismos humano y animal. También puede ser utilizado como modelo experi-

Ms.C. Irene Moreno, Investigador Agregado; A. Ramírez, Investigador y Dr.C. R. Plana, Investigador Titular del Departamento de Fitotecnia, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas; Ms.C. L. Iglesias, Profesor de la Escuela Nacional de la ANAP "Nicteto Pérez", Güira de Melena, La Habana, Cuba.

✉ irene@inca.edu.cu

mental para el estudio de la relación planta-ambiente (6).

El trigo ha acompañado al hombre aproximadamente 90 siglos, lo que hace que se considere uno de los cultivos más viejos que el hombre ha sembrado como fuente de alimentación (1).

En los últimos años, el contenido de nutrientes del grano de trigo y sus componentes ha sido objeto de estudio, por lo que se ha conocido su valor como fuente proteica y su superioridad con respecto a la inmensa mayoría de los cereales.

Lo anterior se muestra en la Tabla I, donde aparece la composición química en comparación con los demás cereales (7).

También el complejo vitamínico en el trigo ocupa otro lugar de importancia, por lo que en la Tabla II está ilustrada la distribución irregular en el grano de las vitaminas del «complejo B», que constituye así la causa diferencial de su consideración en contenidos vitamínicos de granos enteros y los productos de la molturación de los procesos industriales (8).

ORIGEN Y CLASIFICACIÓN DEL TRIGO

Origen. El trigo es cultivado desde el comienzo de la agricultura. No se conoce con precisión dónde y cuándo se originó, tal y como lo conocemos hoy. Los estudios de De Candolle indican que el trigo es originario de

Mesopotamia, mientras que Vavilov afirma que las especies del género *Triticum* han tenido su centro de diferenciación en Turquía, Afganistán y La India. Otras investigaciones más recientes sostienen que el trigo tuvo su origen en la zona comprendida entre Asia Menor y Afganistán. En definitiva, en alguno de estos lugares de clima similar, el hombre primitivo se encontró por primera vez con el trigo silvestre, recolectándose quizás antes de 15.000-10.000 años AC. Los trigos recolectados fueron probablemente *Triticum monococcum* o *Triticum dicoccum* (7).

Clasificación botánica. Los principales cereales que el hombre consume (trigo, arroz, sorgo, etc) pertenecen a la familia de los pastos, Gramínea. Dentro de esta se encuentra la tribu Triticeae, la Subtributriticinae y dentro de esta última al género *Triticum* (9).

El género *Triticum* comprende alrededor de 30 tipos de trigo, con suficientes diferencias genéticas para ser consideradas especies distintas o subespecies. De ellas, solamente se han reconocido 16 especies y el resto son silvestres, pero dentro de los cultivados solo dos lo están en gran escala mundialmente (7).

El trigo harinero y el trigo cristalino o duro son los tipos comerciales: el *Triticum aestivum* L y *Triticum durum* respectivamente. El harinero (*Triticum aestivum*) cubre cerca de 90 % del área total sembrada

con trigo mundialmente, mientras que el duro (*T. durum*) llamado también cristalino o macarronero, cubre cerca de 9 % total del área triguera mundial, pero solamente aporta el 5 % de la producción mundial; para el resto de la producción hay especies del trigo de menor importancia, de las cuales el trigo ramificado (*T. compactum*) es el más importante (9).

MORFOLOGÍA DE LA PLANTA DE TRIGO

Raíces. La planta del trigo posee dos conjuntos de raíces: las seminales que pertenecen al embrión o son producidas por raíces adventicias (corona), que se originan posteriormente a partir de los nudos basales de las plantas y se transforman en el sistema radicular permanente (10).

Las seminales son típicamente cinco raíces, la radícula y dos pares laterales, ocasionalmente se presentan seis. Las raíces seminales son delgadas, uniformes en el diámetro y con finas ramificaciones laterales. Ellas componen una pequeña parte del sistema radicular total, permanecen en funcionamiento a través de la vida de la planta de trigo, a menos que sean destruidas por enfermedades u otras causas. Se ha encontrado en varias oportunidades, que condiciones adversas de crecimiento impiden o retardan el desarrollo de las raíces adventicias, dejando las raíces seminales como único o predominante sistema radicular.

De cada nudo de la corona generalmente se forman dos o más raíces adventicias; cada eje secundario o macollo produce un sistema adventicio de raíces como tallo principal, excepto que normalmente sea una raíz en lugar de un nudo. Normalmente, las raíces en condiciones favorables penetran en suelo a una profundidad de 60 a 90 cm. Los trigos de invierno se enraizan más profundamente y el grado de ramificación depende del tipo de humedad, aeración y fertilidad del suelo (7).

Tabla I. Composición química del trigo y otros cereales

Cereales	Proteína	Grasa	Materiales minerales	Fibra bruta	Carbohidratos solubles
Trigo	12.5	2.2	1.9	2.8	78.6
Cebada	11.8	1.8	3.1	5.3	78.1
Cereal	11.6	5.2	2.9	10.4	69.8
Triticale	14.0	1.7	2.0	2.6	78.7
Maíz	10.0	4.5	2.0	3.5	80.0
Sorgo	12.4	3.6	1.7	2.7	79.7
Arroz (descascarado)	11.0	2.7	1.8	1.2	83.2
Arroz (blanco)	9.8	0.5	0.6	0.3	88.9
Centeno	13.4	1.8	2.1	2.6	80.1

Tabla II. Composición vitamínica del grano (mg.kg⁻¹ de peso seco)

Tiamina	Ribo-flavina	Ácido pantoténico	Niacina	Piridoxina	Colina	Ácido fólico	Biotina
3.9	1.2	10	50	4.5	1.100	0.5	0.1

Cuando el trigo es sembrado cerca de la superficie, la corona se forma a corta distancia por encima de la semilla. Si la siembra es profunda, la corona se forma también cerca de la superficie de la elongación del segundo entrenudo; puede ser menor de 2.5 cm de largo o exceder los 10 cm. Tal segundo entrenudo no es más que el coleóptilo y la primera hoja. En estados muy tempranos de crecimiento, la planta deriva nutrientes del endosperma.

Cuando las raíces seminales se vuelvan funcionales, agua y nutrientes provienen del suelo circulante. Las raíces adventicias comienzan su desarrollo alrededor de dos semanas después de la emergencia de la planta. La emergencia y elongación de las raíces adventicias es bastante lenta, las ramificaciones de variedades de maduración tardía llegan a la espigazón con un 90 % del sistema radicular, mientras que las precoces alcanzan solo alrededor del 40 % (9, 11).

Tallo. Como en toda planta de la familia de las gramíneas, el tallo es una caña formada de nudos y entrenudos. El nudo es una porción maciza y pequeña donde se encuentran las yemas que dan origen a las hojas, así como también a los macollos. El entrenudo es mucho más largo que el nudo y es hueco en la mayoría de los trigos. La altura total del tallo oscila según las variedades entre un mínimo de 0.30 m a un máximo de 1.70 m. La altura final de una planta de trigo depende de la constitución genética y también de las condiciones ambientales, pero por lo general, la altura del tallo oscila entre los 0.80 y 1.30 m (9).

Lo más común es la presencia de seis entrenudos, aunque en baja proporción tallos de cinco y siete entrenudos. La longitud de entrenudos no es la misma en un mismo tallo; el primer entrenudo, o sea, basal es el más corto, el segundo es el más largo y así sucesivamente; la longitud va aumentando en los situados más arriba, siendo el último el que sostiene la espi-

ga, el más largo. Como regla general, el largo del quinto entrenudo es 10 veces superior al del primero y en cuanto al diámetro del tallo, este aumenta desde el primero al quinto, oscilando de 3 a 4.2 mm (7).

Los macollos nacen de las yemas que se encuentran en los nudos basales del tallo principal. Si se trata de ramificaciones laterales, rápidamente se curvan tornando hacia la posición vertical. A su vez, cada macollo que nace del tallo principal puede dar lugar a la formación de nuevos macollos y estos también pueden originar macollos, de manera que en la misma planta existen macollos nacidos del tallo principal o de tallos secundarios, terciarios, etc. La cantidad depende de la variedad, pues las hay muy macolladoras y poco macolladoras (9, 11). No obstante, el factor varietal también se ve influido por otros como la época de siembra, fertilidad del suelo, condiciones climáticas, etc. Si se siembra temprano al igual que si se siembra espaciada, el terreno fértil estimula el macollamiento al igual que las bajas temperaturas. En cambio, una misma variedad macolla menos si se le siembra tardíamente, muy densamente, en terreno de fertilidad pobre, así como también debe soportar lluvias excesivas. En el color del tallo normalmente se registran tres tonalidades que pueden ser: el color blanco, amarillento y amarillo.

Hojas. Las hojas están dispuestas sobre el tallo alternamente en dos hileras verticales opuestas, cada una de las hojas tiene una divergencia de 180° de la siguiente; las hojas de las gramíneas constan de las siguientes partes: vaina, lámina, lígula y un par de aurículas en la base de la lámina (7, 9, 11, 12).

Inflorescencia. La inflorescencia de la planta de trigo es una espiga cuyo eje principal o raquis es una estructura sinuosa y articulada compuesta de otros nudos y entrenudos. Cada entrenudo del raquis es angosto en la base y ancho en el ápice, sus márgenes presentan largo variable. La unidad de la espiga es la

espiguilla; estas son sésiles y cada una de ellas se compone de dos brácteas estériles o glumas vacías y de dos a cinco flores, cada una de ellas está compuesta por glumas florales, la lemma y la pelea. Cuando el trigo es aristado, las aristas se originan en la punta de los órganos sexuales, tres estambres y un pistilo, así como dos pequeños órganos redondeados llamados lodículas. En la antesis, las lodículas se hinchan afuera y con ellas se produce la apertura de la flor.

Las espigas de trigo difieren en forma, largo, ancho y grado de compactación, que de acuerdo con sus formas, reciben distintos nombres: fusiformes, oblongas, clavadas, elípticas, etc.

HÁBITO, CRECIMIENTO Y DESARROLLO

Habito de crecimiento. Los trigos evolucionaron en dos grandes complejos germoplásmicos: los trigos de hábito invernal y los de hábito primaveral; un tercer complejo más pequeño son los trigos facultativos. Los términos trigo de invierno y trigo primaveral tienen un significado más amplio que el que se refiere sólo al ciclo de crecimiento, durante el cual se desarrolla el cultivo (9).

Los de hábito invernal se siembran en otoño; usualmente, las plántulas emergen y amacollan antes del invierno, entonces pasan por un tiempo de inactividad durante el período de frío. Las plantas reanudan su crecimiento rápido en primavera y maduran en verano después de un período total de nueve a 11 meses. Los trigos de hábito invernal requieren de un período de vernalización por lo menos durante una semana a temperaturas de 1 a 5°C antes que pueda cambiar de fase vegetativa a la fase reproductiva, la cual concluye el embuche, espigamiento, floración y formación de semillas (15).

El crecimiento activo de las variedades de trigo de invierno coincide con la disponibilidad favorable de la humedad en esas áreas durante

el otoño y la primavera. Aún más, los trigos de invierno tienden a crecer antes de la llegada de los vientos calientes y secos del verano, que son características del clima de las regiones continentales (11).

En contraste, los trigos de primavera tienen un ciclo de crecimiento continuo generalmente de tres a seis meses; sin un período de inactividad, pueden sobrevivir a temperaturas bajas sostenidas. En las regiones donde se presenta el invierno severo, estos trigos se siembran en primavera después de la última helada. En otras áreas especialmente aquellas con clima mediterráneo se siembra en otoño y crece durante el invierno con temperaturas moderadas (9).

Los trigos facultativos son intermedios en lo que se refiere a la tolerancia al frío de los siglos de invierno y primavera. Sin embargo, son diferentes a los trigos de invierno, ya que no requieren de la vernalización para florecer semillas.

Se estima un 40 % del área mundial sembrada con trigos invernales y producen el 50 % del grano. Los trigos de hábito primaveral se estima que ocupan el 57 % del área triguera y los facultativos no más del 3 % del área. La mayoría de los trigos sembrados en países en desarrollo son de hábito primaveral. Sin embargo, Turquía y China son grandes productores del trigo de invierno. En China, Turquía, Argelia, Irán, Afganistán, Argentina y Chile se cultivan trigos facultativos, pero en superficies relativamente pequeñas. En los países desarrollados, los cuales tienden a tener climas más fríos, predominan los trigos de hábito invernal (9).

Crecimiento vegetativo. El trigo es una planta anual de crecimiento invierno primaveral; por su gran diversidad genética está capacitado para crecer y reproducir en ambientes muy diferentes entre sí, siendo la razón de su alta difusión mundial (13). El trigo es un cultivo de estación fría, pero prospera en diferentes zonas agroclimáticas; su produc-

ción se encuentra entre los 30° y 60° de latitud norte y los 27° a 40° de latitud sur.

El trigo es cultivado sobre suelos de buen drenaje, desde el nivel del mar hasta 3 000 m sobre este. En algunos países tropicales el trigo es cultivado desde 2 000 hasta 3 200 m sobre el nivel del mar y en ocasiones hasta 4 270-4 570 m (14). El trigo puede y está creciendo más allá de estos límites; por ejemplo, en el hemisferio norte el trigo puede estar creciendo dentro del Círculo Ártico hasta el Ecuador, donde se cultiva en localidades con elevación suficientemente alta. Las temperaturas mínimas para el crecimiento y desarrollo es alrededor de 3 a 4°C. El contenido de humedad mínimo para que se cumpla es de 35 a 45 % del peso seco del grano, siendo más rápido a medida que la humedad se incrementa por encima de este nivel (11, 12).

Es por todos conocido que los estados de crecimiento son afectados por el año, la fecha de siembra, variedad, historia del lote, etc., y aunque muchos componentes del rendimiento son controlados genéticamente, es frecuente observar que la misma variedad sembrada en dos localidades distintas tiene comportamientos distintos, demostrando el efecto del ambiente.

En general, las plantas tienen momentos óptimos para responder a la aplicación de insumos, pero casi no existen excepciones con respecto a la secuencia de desarrollo de las distintas etapas de este cultivo.

El trigo, en particular, atraviesa por distintos estados y cada uno de ellos es marcado por la formación de partes específicas de la planta.

En este trabajo se enfatiza la escala de Zadoks para describir con más detalles todo el ciclo del cultivo del trigo (Tabla III).

Durante la germinación (00 al 09), las raíces seminales emergen del grano junto con el coleóptilo. El período de crecimiento (10 al 19) comienza con la emergencia de la primera hoja a través de la superfi-

cie del suelo y continúa hasta el macollaje. Es de destacar que el número de hojas puede variar por efecto de los factores antes descritos, pero por lo general, a partir de la cuarta o quinta hoja se inicia el macollaje.

Macollaje (20 al 29) es la formación de tallos laterales a partir de las yemas axilares de cada hoja. Durante este período las raíces se desarrollan más, posibilitan el establecimiento del cultivo y están asociadas fisiológicamente con los macollos. Durante el alargamiento del tallo (30 al 39), se observan estados intermedios descritos como nudos palpables (31 al 36) y la aparición de la hoja bandera (37 al 39).

El estado de bota o espiga (40 al 49) se caracteriza por la «hinchazón» progresiva de la parte terminal del tallo, como producto del desarrollo de la espiga y el desarrollo de la vaina de la hoja bandera. El fin de este estado es marcado por la aparición de las «barbas» de la espiga. A medida que el cultivo progresa, la espiga emerge y florece (50 al 59) la espigazón.

El período de anthesis (60 a 69), donde se produce la polinización y fecundación, se observa fácilmente por la aparición y caída de estambres y es seguido por el desarrollo del grano (70 al 89) con todos los estados: intermedio, lechoso, grano blando o pastoso, grano duro o harinoso; sin embargo, se puede decir que este estado finaliza cuando se presiona el grano de trigo con una uña y la marca permanece «impresa» en él. También un síntoma externo evidente es la pérdida de clorofila o amarillamiento de la espiga.

Es de resaltar que en el trigo la madurez fisiológica se define como el momento en el que se interrumpe el flujo de agua y nutrientes desde las distintas partes de la planta hacia el grano, a partir del estado pastoso, es decir, con una humedad de grano del 25 al 35 %, aunque es recomendable cosecharlo con humedades del 13 al 16 %.

Tabla III. Los estados de crecimiento del trigo según las escalas de Zadoks

Escala	Descripción general	Observaciones
Germinación		
00	Semilla seca	
01	Comienzo de imbibición	
03	Fin de imbibición	
05	Radícula emergida del grano	
07	Coleóptilo emergido del grano	
09	Hoja en ápice del coleóptilo	
Crecimiento de la plántula		
10	1 hoja fuera coleóptilo	2ª hoja visible 1 <cm
11	1 hoja desarrollada	
12	2 hojas desarrolladas	
13	3 hojas desarrolladas	
14	4 hojas desarrolladas	
15	5 hojas desarrolladas	50 % de la lámina
16	6 hojas desarrolladas	
17	7 hojas desarrolladas	
18	8 hojas desarrolladas	
19	9 o más hojas desarrolladas	
Macollaje		
20	Tallo principal solo	Doble cresta
21	Tallo principal y 1 macollo	Inicio floración
22	Tallo principal y 2 macollos	
23	Tallo principal y 3 macollos	
24	Tallo principal y 4 macollos	
25	Tallo principal y 5 macollos	
26	Tallo principal y 6 macollos	
27	Tallo principal y 7 macollos	
28	Tallo principal y 8 macollos	
29	Tallo principal y 9 o más macollos	
Alargamiento del tallo (encañazón)		
30	Inicio de nudos (tallos erectos)	
31	1 ^{er} nudo palpable	Espiga terminal
32	2 ^{do} nudo palpable	
33	3 ^{er} nudo palpable	
34	4 ^{to} nudo palpable	
35	5 ^{to} nudo palpable	
36	6 ^{to} nudo palpable	
37	Comienzo de la hoja bandera	
39	Lígula de hoja bandera visible	Meiosis
Espiga embuchada		
41	Alargamiento vaina hoja bandera	
43	Comienzo de hinchazón de la vaina	
45	Espiga embuchada (bota)	
47	Apertura vaina hoja bandera	
49	Aurículas (barbas) visibles	
Emergencia de inflorescencia		
51	Primera espiguilla visible	
53	1/4 espiga emergida	Espigazón
55	1/2 espiga emergida	
57	3/4 espiga emergida	
59	Espiga emergida de vaina	
Antesis (floración)		
61	Comienzo de antesis	
65	50% de antesis	
69	Completa floración	
Grano lechoso		
71	Endosperma acuoso	
73	Endosperma acu-lechoso	
75	Endosperma lechoso	
77	Endosperma lechoso-pastoso	
Grano pastoso (masoso)		
83	Endosperma pastoso -lechoso	
85	Endosperma pastoso	
87	Endosperma pastoso- harinoso	
Madurez		
91	Cariopse casi duro	
92	Cariopse duro	Cosecha
93	Cariopse se separa en las horas del día	Cosecha
94	Pérdida de granos	Algunas variedades
95	Dormancia	Algunas variedades
96	Prueba de 50 % germinación	Algunas variedades
97	Semilla sin dormancia	Algunas variedades
98	Dormancia secundaria	Algunas variedades
99	Semillas viables	

Nota: El número de hojas, macollos, nudos y subestados de grano lechoso, pastoso, madurez y dormancia varían con el genotipo, latitud, altitud, clima y manejo

Podemos decir que el ciclo de vida de la planta de trigo puede ser dividida en dos grandes períodos: primero, el crecimiento vegetativo se inicia, se desarrolla la espiga y toda estructura fotosintética de la planta que determinará el rendimiento final y segundo, estado de llenado del grano, es en el rendimiento potencial, gestado en la primera fase completa y está influido por su longitud.

Si bien son requeridas las mejores condiciones climáticas durante todo el ciclo del cultivo para expresar el máximo potencial de rendimiento, el manejo del cultivo (control de malezas, fertilización y control de plagas y enfermedades) con los productos adecuados y el momento oportuno son de vital importancia para lograr la máxima expresión del rendimiento (16).

La luz no cumple un papel muy importante en el control de la germinación, para prevenir la germinación de la semilla en la espiga antes de efectuarse la cosecha, fenómeno factible en condiciones de alta humedad del ambiente. Resulta valioso un cierto grado de latencia particularmente luego del advenimiento de las cosechadoras mecánicas, pues la germinación puede ocurrir con una humedad relativa de 97.7 %, valor por debajo del punto de marchitez permanente para la planta en crecimiento, mientras que a medida que la planta se desarrolla se vuelve más susceptible a la diferencia de agua (12).

Constituye una práctica normal incrementar la profundidad de siembra para superar el problema de la germinación que ocurre luego de una lluvia liviana, reduciendo el vigor de la plántula. Desde la germinación hasta la exposición de la primera hoja a la luz, su crecimiento depende meramente de las reservas de carbohidratos existentes en el endosperma. Cuanto más grande es la semilla, mayores son las reservas acumuladas y más rápida es la instalación de la plántula. Con poblaciones muy enmalezadas, la siembra de la semilla produce a menudo un mayor rendimiento del

grano, pero no siempre es así cuando dichas poblaciones son puras (13). *Desarrollo reproductivo.* La regulación del ciclo reproductivo en el trigo constituye un factor de gran incidencia en la determinación de sus rendimientos. Si el desarrollo de la inflorescencia comienza demasiado pronto, la espiga joven puede sufrir daños considerables por efecto de las heladas; por otro lado, si este se efectúa en la forma tardía o demasiado lento, puede interrumpirse el llenado de los granos por incidencia de altas temperaturas y deficiencia de agua, o es posible que aparezcan problemas con la cosecha. El control del ciclo reproductivo se hace efectivo principalmente por las respuestas varietales a la vernalización y días largos antes de iniciarse la inflorescencia (13).

Muchos de los progenitores silvestres y trigos presentan respuestas marcadas a la vernalización de días largos, lo cual reviste gran importancia desde el punto de vista de la adaptación a los climas mediterráneos. Mientras que los trigos primaverales sembrados en latitudes más altas, tales como norte de Europa o Canadá, muestran una pronunciada respuesta a los días largos, pero poca a la vernalización. Los trigos invernales por otra parte presentan una gran respuesta a este último factor, que incluso es un requerimiento obligatorio. En latitudes como Australia o La India, la mayoría de los cultivares no postergan tanto su floración por efecto de los días cortos; pero aún los trigos primaverales presentan cierta respuesta a la vernalización. En los lugares donde el invierno no es tan frío, las necesidades de las bajas temperaturas pueden servir para postergar la floración en la primavera, pero en las regiones que poseen inviernos rigurosos, su papel adaptativo puede consistir en impedir la instalación de la florescencia en otoño, mientras que la necesidad de días largos puede demorar cierta fase en la primavera hasta que haya pasado el riesgo de las heladas.

En las condiciones de Cuba se evaluó el comportamiento fenológico de 10 variedades de trigo procedentes de México y Brasil en la zona occidental del país y se encontró que el crecimiento vegetativo se produce de forma explosiva, arribando muy rápido a la etapa reproductiva motivado por las altas temperaturas y se concluye con la maduración que se alcanzó en un rango de 83 a 95 días en dependencia de la variedad, donde se destacó con un menor ciclo la variedad brasileña BR-25; este es un aspecto importante por el ahorro significativo de recursos, entre ellos el agua (1).

FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS RENDIMIENTOS DEL TRIGO

Los factores que influyen en los rendimientos del trigo son varios:

- ★ preparación, tipo de suelo y su fertilidad
- ★ riego
- ★ altas temperaturas
- ★ época de siembra
- ★ densidad de siembra
- ★ fertilización
- ★ control de malezas.

Muchos investigadores han estudiado estos factores en forma individual o de conjunto; por eso merece destacar algunos por su gran afectación en los rendimientos.

Preparación, tipo de suelo y su fertilidad. El objetivo principal del laboreo es conseguir un estado físico favorable del suelo y eliminar las malas hierbas, para obtener una buena emergencia de los cereales, que son cultivos fáciles de implantar y cuya semilla está provista de elevadas reservas y buena germinación; debe realizarse la siembra en un lecho fino y húmedo (7).

Una adecuada preparación del terreno facilita la distribución de la semilla y del agua de riego, así como una buena germinación. La labranza del terreno depende de la rotación de cultivos, del tipo de suelo que se dispone y del método de siembra que se use; en dependencia de

estas condiciones variará el número de labores a realizar en cada caso (17).

El trigo es una especie capaz de crecer en suelos muy disímiles, tanto en cuanto a propiedades físicas como químicas; tales características le permiten a la planta adaptarse y reproducirse en diferentes regiones. Sin embargo, si luego de la siembra se forma una costra en la superficie por el efecto de las lluvias, no se producirá la emergencia y la planta ya germinada puede perecer. Por eso, en presencia de tal situación se recomienda romper con la costra superficial para poder permitir la emergencia de la planta (13).

Existe la tendencia hacia la simplificación del laboreo mediante la aplicación de aperos combinados o la siembra directa sobre los rastros de la cosecha anterior, por el consumo de tiempo, energía y los perjuicios que ocasionan sobre la estructura del suelo.

Riego. El trigo necesita, al igual que otras plantas, elevada cantidad de agua para crecer. Al igual que otros cereales de invierno, es una planta de eficiencia reducida. En este aspecto se confirma su condición de planta C_3 , es decir, que posee moléculas de materia orgánica con tres átomos de carbono y se diferencia de las plantas C_4 , con moléculas de cuatro átomos de carbono como el maíz, por ejemplo (18).

Para que este cultivo produzca los máximos rendimientos por hectárea, es necesario que se cuente con cantidades de agua suficientes para el riego y en fechas oportunas, sobre todo si se han usado fertilizantes. Por eso, los riegos deben aplicarse antes de que la planta muestre síntomas de sequía, lo cual debe apreciarse por el enrollamiento de las hojas o porque se empiezan a secar las puntas (13). Este mismo autor estima que para producir 1 kg de materia seca se emplean 540 mm de agua como promedio y que la eficiencia del uso del agua puede variar de 225 a más de 1 000 unidades de agua por unidad de materia seca.

Se ha calculado que para obtener rendimientos de 3 000 kg de granos, son necesarios unos 450 mm de agua durante el ciclo del trigo, pero el consumo de tal cantidad de agua no es uniforme en todo su ciclo, ya que se concentra en los períodos de gran crecimiento reproductivo, así como cinco semanas posteriores a la floración, el trigo consume de 65 a 75 % del agua necesaria para todo su ciclo de vida (19).

Otro aspecto a tener en cuenta es la afectación que se puede producir en la germinación del trigo por inundación del suelo; al respecto (2) en las condiciones de la región occidental de Cuba, se estudió la influencia de diferentes manejos del agua en la germinación, la cual fue afectada desde un 36 % cuando se mantuvo la lámina de agua durante seis horas hasta un 82 % cuando el suelo se mantuvo saturado permanentemente, lo cual demuestra la susceptibilidad de este cultivo al sobrehumedecimiento.

Algunos autores han encontrado que con la aplicación de seis riegos en el cultivo son suficientes, si estos se aplican en las etapas de iniciación de la corona, macollamiento, iniciación de la espiga, floración, estado lechoso y estado pastoso del grano (20).

Una norma de riego para las condiciones de Cuba de $300 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ distribuida en seis riegos en las siguientes etapas:

1. emergencia
2. a los 10 días después de la germinación
3. en el ahijamiento (15 días después del segundo)
4. comienzo de la floración (15 días después del tercero)
5. llenado del grano (15 días después del cuarto)
6. fin del llenado del grano (15 días después del quinto) (21).

En las condiciones de Cuba se han utilizado diferentes sistemas para el riego de este cereal, desde el riego por surcos o franjas hasta el riego por aspersión con resultados favorables, lo que demuestra la

adaptabilidad del cultivo a los diferentes sistemas.

Las altas temperaturas. La temperatura del mes más frío es el elemento y el rasgo climático más importante para definir los ambientes para el desarrollo del trigo. Estos pueden clasificarse como sigue: muy calientes, cuando las medias son superiores a 22.5°C ; calientes, cuando las medias están entre 22.5 y 17.5°C , y cálidas, cuando están entre 17.5 y 12.5°C (18).

En el cultivo del trigo existe diversidad genética con respecto a la tolerancia al calor y hay evidencias de que con un apropiado manejo, son posibles en climas cálidos rendimientos respetables. Por ejemplo, en Sudán, en un medio ambiente muy caliente y seco, se han informado rendimientos más típicos de un medio ambiente más templado hasta $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (22).

Refiriéndose a las altas temperaturas, algunos autores (6, 23, 24) plantearon que estas afectan los rendimientos de las plantas aún en condiciones de buena irrigación, debido en parte a una reducción del período de algunas fases del desarrollo del vegetal. Esto implica que existen menos días para acumular fotoasimilatos, lo que puede disminuir la producción total de biomasa.

En cuanto a la floración, la temperatura influye grandemente. Se han encontrado pequeñas diferencias (19) entre el genotipo en crecimiento y desarrollo floral a las altas temperaturas evaluadas ($30/25^\circ\text{C}$ día/noche); además, hubo evidencias de que las altas temperaturas dieron lugar a la esterilidad de las flores.

Al elevarse las temperaturas de $21/16$ a $30/25^\circ\text{C}$ día/noche, durante los diez días que seguían a la primera antesis, las flores superiores fueron más afectadas que las basales dentro de una misma espiguilla y las flores de las espiguillas superiores fueron más sensitivas que las flores de las inferiores en la espiga (25). La baja fertilidad asociada con las altas temperaturas en el momento de emergencia de la

espiga, debe estar relacionada con el pobre desarrollo del polen (26).

Otros autores (27) estudiaron dos niveles de temperatura durante el llenado de los granos (temperatura ambiente y aumento de esta con capas de polietileno). Las altas temperaturas luego de la antesis produjeron una rápida senescencia del área foliar total por planta, debido a una drástica senescencia de las láminas, mientras que las vainas y pedúnculos se vieron afectados en menos medida. El aumento de la temperatura durante la etapa de llenado de granos produjo una disminución en el peso de estos, que no fue atribuida a una disminución en el contenido de asimilatos disponibles, encontrándose un efecto de la temperatura sobre el tamaño del grano.

Mientras que se encontró una alta correlación del número de hijos fértiles y la fertilidad de las espigas con el rendimiento (22), en condiciones de estrés de calor al final o al inicio del crecimiento y desarrollo del trigo. Así mismo, se determinó que el número de plantas/ m^2 , los días a la iniciación de la floración, días a la antesis, el peso seco de la espiga, el peso de 1000 granos, el índice de cosecha, el número de granos por espiga y el peso individual del grano, entre otras características son potencialmente útiles para ser usadas como punto de partida en la selección de genotipos en condiciones de estrés de calor.

Trabajando con 20 variedades promisorias de diferentes especies de trigo, se encontró que los genotipos mostraron diferencias significativas (28) en todos los caracteres estomatales como densidad estomatal, índice de apertura y su diferencial. Un alto índice de apertura estomatal es un criterio apropiado para la selección de genotipos de trigo tolerantes al calor.

Época de siembra. La época de siembra es un factor importante para el éxito de cualquier cultivo, dado que el desarrollo de la planta en sus diferentes etapas de crecimiento se ve influido por las condiciones am-

bientales, unas veces favoreciéndolas y otras perjudicándolas. Una variedad sembrada fuera de su época disminuye su rendimiento en forma notable, además, está expuesta a otros factores climáticos adversos, presencia de enfermedades y ataques de plagas.

La elección de la época de siembra depende de las condiciones climáticas del área de cultivo y de la precocidad de la variedad que desea sembrarse. En la zona mediterránea se efectúa desde octubre a diciembre. La siembra será tanto más anticipada cuanto mayor sea la latitud o altitud (zonas frías) en relación con las zonas de latitud o altitud más bajas (zonas cálidas). La época óptima será aquella en la que el período máximo frío coincida con la planta de trigo en el estado de tres a cinco hojas. Otra cuestión a tener en cuenta es la sensibilidad del trigo en la fase de espigado a las heladas y en otros climas a los golpes de calor y vientos cálidos que provocan el asurado durante el estado de grano lechoso (7).

Durante un ensayo de épocas de siembra efectuado con seis variedades de trigo en Cuba, durante la época comprendida entre el 9 de octubre de 1990 y el 1 de marzo de 1991, se encontró que la aparición de las espigas y la madurez ocurrieron generalmente entre el 26 de diciembre y el 20 de abril (14), con lo cual se garantizó un período relativamente fresco para el cultivo, teniendo en cuenta las condiciones de Cuba. La mayoría de las variedades alcanzaron sus mayores rendimientos cuando las fechas de siembra estuvieron entre el 10 de noviembre y el 30 de enero, destacándose las siembras del mes de diciembre como las de mayor rendimiento.

Por su parte, se señala como la época de siembra del trigo desde el 10 de septiembre hasta el 15 de febrero y como fecha óptima el mes de noviembre (14).

Densidad de siembra. La respuesta del rendimiento en grano de trigo a las variaciones de la densidad de siembra puede ser representada por una

curva parabólica, en la cual el rendimiento se reduce cuando la densidad se aleja, tanto en el exceso como en la disminución respecto al óptimo (29).

El número de plantas logradas depende principalmente de la capacidad de macollaje del cultivar y de la humedad al momento de la siembra. Además, los mismos autores agregan que el número de plantas por unidad de superficie, el peso de 1 000 semillas y el coeficiente de pérdidas deberán ser utilizados para un correcto cálculo de la cantidad de semillas a sembrar (30).

Numerosos son los trabajos realizados en el mundo que han tenido como objetivos la determinación de la densidad óptima de siembra para este cereal, entre los que podemos citar los que plantean que 200 a 300 plantas/m² son suficientes para obtener los máximos rendimientos (29, 31, 32, 33, 34).

Se ha determinado que la densidad óptima de plantas, en trigos semienanos (35) se hallaba entre los 40-100 kg de semilla/ha, que equivalen a 80-200 plantas/m² y se estableció como la densidad óptima de 200-300 plantas/m² para trigo con germoplasma mexicano (31).

En cuanto a la respuesta sobre los efectos de la densidad (180, 560, 930 plantas/m²) en dos cultivares de trigo, se observó que el aumento de la densidad de siembra redujo el número de macollos, hojas, espiguillas y flores iniciales y aumentó la altura de las plantas (36). Así mismo, a mayor densidad correspondió mayor tasa de formación de espiguillas y menor período y tasa de iniciación de floración. El rendimiento final por unidad de superficie no difirió ni entre cultivares ni entre densidades, porque al aumentar la densidad la disminución en el número de granos por espiga fue compensada por el mayor número de espigas.

Al estudiar el efecto de tres densidades de siembra sobre la fotosíntesis y la producción de materia seca, se encontró que estas son afectadas. Se obtuvieron los mejores resultados con la densidad me-

nor y a su vez el rendimiento en grano disminuyó cuando se incrementó la densidad de plantas de 80 a 240 plantas/m² (37).

Durante la campaña agrícola 1991/1992 en Pergamino, provincia de Buenos Aires, Argentina, se sembraron tres cultivares de trigo con cinco densidades de siembra (50; 75; 100; 125 y 150 kg de semilla.ha⁻¹) y los resultados obtenidos indicaron que las tres variedades podrían ser sembradas en cualquiera de las densidades ensayadas, sin que se produjeran diferencias significativas en el rendimiento en grano, como resultado de la gran compensación producida por los cultivares (29).

En general, se pueden alcanzar buenos resultados en los cultivares macolladores (30) con 180-200 plantas/m² y 300-350 plantas/m² en los menos macolladores y que con el retraso de la siembra deberán incrementarse estos valores, mientras que con siembras de precisión y condiciones que favorezcan el macollaje, estos podrán reducirse.

Estudiando tres densidades de siembra (167, 281 y 354 plantas/m²) en los cultivares Prointa Federal y Granero Inta, se observó que estas producen un incremento en el número de espigas/m² (34), pero no así en el número de granos por espiga, donde sucedió lo inverso: a menor densidad menor número de espigas, pero mayor número de granos, debido al mayor número de espiguillas por espiga.

LA FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DEL TRIGO

Los nutrientes representan factores de producción fundamentales para todos los cultivos. Es frecuente que, como ocurre con otros factores de producción como el agua, etc, estos se encuentren en cantidades insuficientes en el suelo para alcanzar determinado nivel de producción.

Los requerimientos varían con los cultivos, sus etapas de desarrollo y el objetivo de producción establecido (38).

La fertilización racional que se pretende difundir estará siempre ligada con la relación costo-beneficio de esta técnica y con la recomendación al productor que no trate de corregir con ella errores de manejo (39).

Para que el trigo pueda crecer y desarrollarse necesita la presencia de 15 elementos químicos esenciales: nueve de ellos son asimilables en grandes cantidades, los otros seis son utilizados en pequeñas cantidades (18).

Asimilables en grandes cantidades		Asimilables en pequeñas cantidades	
Carbono	Fósforo	Hierro	Zinc
Hidrógeno	Potasio	Manganeso	Cobre
Oxígeno	Azufre	Boro	Molibdeno
Nitrógeno	Calcio		
Magnesio			

En el manejo agronómico del trigo se debe tomar en cuenta la fertilización, destacándose como nutrientes principales al nitrógeno y al fósforo.

Fertilización nitrogenada y fosfórica. El nitrógeno es de vital importancia para la nutrición de la planta y su suministro puede ser controlado por el hombre. Las formas más comúnmente asimiladas por ellas son los iones de nitratos y el amonio; la urea puede ser también absorbida por las plantas. Cantidades excesivas de nitrógeno pueden variar ciertas condiciones, prolongar el período de crecimiento y retrasar la madurez. Esto ocurre con mayor frecuencia cuando no se suministran cantidades adecuadas de otros elementos nutritivos (40).

Se plantea que las plantas superiores no tienen formas de captar nitrógeno libre y no pueden utilizarlo (41), por lo que se considera que el suelo es la única fuente de nitrógeno para dichos vegetales. Su origen es la materia orgánica que se desintegra en el suelo.

El nitrógeno presenta una dinámica compleja en el suelo por las interacciones existentes en los procesos de mineralización y desnitrificación, que están en estrecha dependencia con la climatología, en particular con las precipitaciones y las características físico-químicas del suelo; además, el ni-

trógeno está implicado en todas las fases del desarrollo y el crecimiento del trigo (7).

En experiencias realizadas en la EEA INTA Rafaela, en la región central de la provincia de Santa Fé y en el este de la provincia de Córdoba, Argentina, se estudió la respuesta del trigo al agregado de fertilizante nitrogenado y se determinó la influencia de diferentes variables de manejo y condiciones climáticas sobre ellas (39). Estos mismos autores señalan los principales factores que deben considerarse para la fertilización nitrogenada:

- ↪ lluvias durante el período de barbecho y ciclo del cultivo
- ↪ historia agrícola del lote
- ↪ fertilidad del lote: actual y potencial
- ↪ serie de suelo
- ↪ cultivo antecesor.

Para fertilizar el área se tienen muy en cuenta las lluvias producidas en el barbecho y de no contarse con condiciones adecuadas de humedad al momento de la siembra, la decisión de fertilizar se posterga hasta el período de macollaje.

La respuesta al agregado de fertilizante nitrogenado, se hace mucho más manifiesta a medida que aumenta la historia agrícola de los lotes, lográndose incrementos muy importantes a partir de siete cultivos realizados desde la última pastura.

El contenido de nitrógeno total del suelo en los primeros 15 cm de la capa arable demostró tener una estrecha relación con el rendimiento del trigo, aumentando estos con mayores contenidos del primero.

También la serie de suelos es importante, ya que se ha observado una respuesta diferente al agregado de fertilizante nitrogenado en distintas series de suelos.

En cuanto al cultivo antecesor se encontró una mayor respuesta a la fertilización cuando los antecesores fueron girasol y maíz, mientras que el antecesor sorgo demandó mayor cantidad de nitrógeno.

Muchos son los trabajos realizados en los últimos años relacionados con la fertilización nitrogenada en el cultivo del trigo, por el rol

tan importante que desempeña este elemento en el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Numerosos ensayos han puesto de manifiesto el rol del nitrógeno en las primeras etapas del cultivo, al aumentar el número de espigas por metro cuadrado y la determinación del número de granos por unidad de superficie (42).

Dosis y momentos de aplicación. En cuanto al momento de aplicación de la fertilización nitrogenada, existen diferentes criterios: se planteó que al inicio del ahijamiento se deben aplicar 40 kg N.ha⁻¹ y 20 kg N.ha⁻¹ en la siembra (43).

Mientras que otros plantean que se debe aplicar para cultivares de porte alto (44) 30 kg de N.ha⁻¹ y 50 kg N.ha⁻¹ para los cultivares de porte bajo. En siembras superiores se debe aplicar una dosis de 20 kg N.ha⁻¹. La otra parte deberá ser aplicada en cobertura en el inicio de embuchamiento y para las dosis inferiores de 20 kg N.ha⁻¹. La segunda aplicación deberá ser en la etapa de ahijamiento. El elemento fertilizante está contenido en la urea, sulfato de amonio y otras.

Mientras, el fósforo se puede obtener en forma de sulfato de calcio simple o superfosfato del calcio triple. Esta sustancia contiene diferentes cantidades del elemento fertilizante. A continuación se anotan las cantidades de estas sustancias que se necesitan aplicar por hectárea para proporcionar al suelo la cantidad indicada de elemento fertilizante.

- a) Nitrógeno: para aplicar 60 kg de nitrógeno, se debe aplicar 130 kg de urea ó 290 kg de sulfato de amonio; para 80 kg de nitrógeno se debe aplicar 175 kg de urea ó 390 kg de sulfato de amonio, mientras que para cada kilogramo de nitrógeno, es necesario aplicar 210 de urea ó 490 kg de sulfato de amonio.
- b) Fósforo: para aplicar 40 kg de fósforo se debe aplicar 90 kg de superfosfato de calcio triple ó 190 kg de superfosfato simple; para 60 kg de fósforo se necesitan 130 kg de

superfosfato de calcio triple ó 290 kg de superfosfato de calcio triple ó 290 kg de superfosfato de calcio simple.

Es necesario mezclar perfectamente los fertilizantes y posteriormente tirar la mezcla al voleo o aplicarse con una máquina fertilizadora. En ambos casos, el fertilizante se debe dejar bien distribuido en toda la superficie del terreno (44).

Por su parte, se señala que en regiones críticas de producción (45), en donde las precipitaciones anuales son menores a 300 mm y para cualquier tipo de suelo, se sugiere aplicar la fórmula (60, 40, 00), que equivale a 60 kg de nitrógeno y 40 de fósforo.ha⁻¹. En regiones de producción intermedia, donde las lluvias varían de 400 a 600 mm y en cualquier tipo de suelo, se aconseja aplicar la fórmula (80, 40, 00) equivalente a 80 kg de nitrógeno y 40 de fósforo.ha⁻¹. Mientras que en regiones de producción favorable, con precipitaciones mayores de 600 mm y con suelos ligeros se recomienda usar (100, 60, 00) equivalentes de nitrógeno y 60 de fósforo.ha⁻¹.

En suelos de Barri (Valle de Culiacán, México) (38), se recomienda aplicar dosis en forma total en resiembra o en el primer riego de auxilio. En el manejo agroquímico del trigo, se debe tomar en cuenta la fertilización, destacando como principal nutriente al nitrógeno y al fósforo. Los requerimientos varían con los cultivos, la disponibilidad de estos elementos al suelo, las etapas de su desarrollo y el objetivo de producción establecido.

Estos mismos autores plantearon que en caso de la fertilización nitrogenada, es importante incorporarla rápidamente al suelo, ya que si permanece destapada, se puede perder una parte cualquiera del fertilizante nitrógeno y sobre todo la urea; es conveniente que se aplique en dos etapas: al momento de la siembra y la otra mitad durante el macollamiento aproximadamente de 25 a 35 días después de la siembra. Esta práctica es aún más importante cuando se trata de suelos

ligeros o arenosos. El análisis de suelo es un instrumento que permite la elaboración de una recomendación que puede ofrecer menores riesgos.

Se ha comprobado que, en general, los contenidos de nitratos inferiores a 70 ppm indican la necesidad de agregar fertilizante nitrogenado. El nitrógeno disponible en el momento de producirse la diferenciación floral establece principalmente: número de granos por espiga y tamaño potencial del grano. Posteriormente, durante el llenado del grano, contribuye a prolongar la vida útil de las hojas y asegura de esa forma el completo llenado del grano (13, 18).

Fertilización nitrogenada y eficiencia del uso del agua. Sobre el efecto de diferentes niveles de investigación y la fertilización nitrogenada en los componentes de la productividad del cultivo del trigo, buscando encontrar mejores condiciones del manejo de irrigación y la fertilización nitrogenada como muchos trabajos, se ha demostrado que la eficiencia del uso del agua es mayor con el aumento de la aplicación del nitrógeno para niveles entre 56 y 94 kg.ha⁻¹. Otros autores encontraron un valor medio de eficiencia del uso del agua de 9.6 kg/ha/mm, mientras que se añadió un valor medio de 8.9 kg/ha/mm (46).

Sobre la base de los costos de bombeo de agua y considerando las condiciones adecuadas del manejo del cultivo, se observó que la productividad óptima del trigo era de 4.405 kg.ha⁻¹ con las dosis de 156.6 kg N.ha⁻¹ y 557 mm de agua. Niveles más elevados de este factor provocaron una reducción en la productividad económica (47).

Se presentó un valor de 10 kg/ha/mm (48), mientras se demostró que la eficiencia del uso (49) del agua había aumentado hasta la aplicación de 140 kg N.ha⁻¹ en los tratamientos sin déficit hídrico; sin embargo, en aquellos tratamientos con el déficit hídrico se denotó una disminución.

En el cultivo del trigo en Arabia Saudita se notó que la producción del grano y la eficiencia del uso del

agua se había incrementado con el uso de las dosis nitrogenadas aplicadas. La máxima producción de 5.010 kg.ha⁻¹ sucedió con la aplicación de 547 mm de agua durante el ciclo y 225 kg N.ha⁻¹. Con tales láminas de agua la eficiencia del uso fue de 12.24 kg/ha/mm con la aplicación de 300 kg N.ha⁻¹ (50).

La variación de la productividad estuvo entre 1.830 y 2.850 kg.ha⁻¹ con la irrigación durante el período seco (51).

Extracción de nutrientes por el cultivo. En la Tabla IV se muestran los porcentajes de extracción de nitrógeno, potasio, azufre y materia orgánica en los distintos estadios del crecimiento de trigo (7).

Sí sabemos que para obtener una tonelada de trigo son necesarios entre 30 y 35 kg de nitrógeno, entonces para obtener un rendimiento de 4 t se necesitan de 120 a 135 kg de fertilizante. Por tanto, si en el suelo hay por ejemplo solo 50 kg, se deben agregar los 70-75 kg faltantes (52). Por su parte, se ha planteado que para obtener un rendimiento de 3 000 kg de grano por hectárea con un contenido de proteína del 12 %, es necesario que el cultivo absorba 105 kg N.ha⁻¹ (18).

Biofertilización. Otro aspecto dentro de la fertilización es el uso de rizobacterias del crecimiento vegetal en el cultivo del trigo, el cual ha sido informado por diferentes investigadores, entre los que se destacan aquellos cuyos resultados muestran diferentes respuestas del cultivo (53, 54, 55, 56).

Al aplicar Azotoryza (*Azotobacter chroococcum*) (55) en Cuba, se encontraron efectos de estimulación del crecimiento e incrementos en el rendimiento de este cereal. Sin embargo, en la misma zona se encontró respuesta diferenciada de las variedades a la biofertilización (56), la cual provocó aumento en el rendimiento y en los granos/m² en la variedad Caeté 1.1.1 cuando se aplicó *Azospirillum brasilense* Sp7 más 45 kg N.ha⁻¹, mientras que con la variedad Gang no se presentaron diferencias significativas entre las variables estudiadas, lo que

evidencia que la biofertilización con *Azospirillum brasilense* y *Burkholderia cepacia* fue capaz de reducir las dosis de fertilizantes químicos sin afectar los rendimientos.

Efecto de la fertilización nitrogenada en la calidad proteica del trigo. En consideración a la absorción del nitrógeno durante el llenado del grano, como consecuencia de la aplicación de dosis altas y tardías de fertilizantes nitrogenados, el contenido de proteína y almidón de estos suele incrementarse hasta muy cerca de la madurez. Más de la mitad de proteína del grano puede derivarse del nitrógeno absorbido durante el período del llenado. Por otro lado, en situaciones de baja fertilidad o cuando se aplica poca cantidad de fertilizantes nitrogenados, la espigazón suele provocar un agotamiento de nitrógeno del suelo, existiendo por ello poca absorción durante el llenado del grano, de modo que todo el nitrógeno de este proviene de la removilización de las hojas y los tallos (57).

En sus investigaciones se encontró que el contenido de proteínas en granos de trigo fue afectado directamente por el nitrógeno incorporado y por los efectos residuales del nitrógeno aplicado al cultivo previo (58). Más aún cuando la tasa de aplicación al cultivo precedente fue de 60 kg.ha⁻¹ menor que la dosis normal requerida. La concentración de proteína en el trigo estuvo en riesgo de no alcanzar los niveles exigidos por los molinos.

Este mismo autor plantea que para lograr alta calidad, la fertilización al comienzo del cultivo debería ser completada con otra durante los estudios de espigazón y floración, porque con la primera solamente, no es suficiente para mejorar el de proteína del grano.

El rendimiento del grano y el porcentaje de proteína de trigo están meramente relacionados con la disponibilidad del nitrógeno durante el desarrollo del cultivo con las características genotípicas de las variedades, encontrando un comportamiento diferencial según la aplicación, interacción variedad por momento (59).

El contenido de proteína y gluten se incrementa cuando la aplicación foliar del nitrógeno (urea) se realiza en la espigazón o en estado lechoso maduro (60). Mientras que numerosos estudios han demostrado con el trigo duro que aplicaciones del nitrógeno después del estado de bota pueden incrementar los rendimientos y cuando la humedad es adecuada para tomar nitrógeno después de la aplicación, incrementa la proteína del grano.

La aplicación del nitrógeno en primavera puede modificar la acumulación de proteína en el grano más que el rendimiento. Aplicaciones de cobertura de nitrógeno en primavera son comunes para el trigo blando de invierno, pero depende de las precipitaciones subsecuentes para mover el nitrógeno en el interior del suelo para que pueda ser tomada por plantas (61).

Las aplicaciones foliares de nitrógeno realizadas en el espigado han demostrado ser positivas sobre el rendimiento y el contenido de pro-

teínas del grano de trigo (7). También se plantea que cuando se empleen abonos a la base de urea o soluciones amoniacales, habrá que tenerse en cuenta su acción más lenta y adelantar el momento de las aplicaciones antes mencionadas, de 15 a 25 días en las épocas más frías y 8 a 10 días a comienzos de la primavera. Debe siempre evitarse el contacto directo de la semilla con estos tipos de abono, ya que pueden afectar la germinación, principalmente en aquellos suelos con el pH alto.

La Tabla V demuestra aplicaciones foliares de nitrógeno, realizado en el espigado, y que han demostrado tener efectos positivos sobre el rendimiento y el contenido de proteínas del grano (7).

En la Tabla VI se ilustra la distribución por todos los tejidos del grano, encontrados en mayor concentración en el germen y en la capa de aleurona que en endosperma y pericarpio; dentro del endospermo su concentración aumenta desde el centro a la periferia (8).

Tabla IV. Porcentajes de extracción de nitrógeno, fósforo, potasio y azufre en los distintos estadios de crecimiento del trigo

Nutrientes	Fases de crecimiento			
	Ahijamiento (%)	Final encañado (%)	Grano lechoso (%)	Maduración (%)
Nitrógeno	24	68	100	89
Fósforo	15	65	100	94
Potasio	14	89	100	73
Azufre	10	60	100	100
Materia seca	6	50	86	100

Tabla V. Influencia de aplicaciones de nitrógeno en la etapa de la floración (medias de cuatro variedades)

Nitrógeno aplicado en la siembra (kg.ha ⁻¹)	Rendimiento (t.ha ⁻¹)	Nitrógeno foliar (solución de urea) kg.ha ⁻¹			
		Proteínas (g.kg ⁻¹)	Rendimiento (t.ha ⁻¹)	Proteínas (g.kg ⁻¹)	Incremento del N foliar (%)
0	1.88	126	2.41	131	28.2
33	2.43	129	2.82	136	16.1
67	2.65	138	2.92	141	10.2

Tabla VI. Distribución de la proteína en el grano de trigo

Partes del grano	Proteína (N x 6.25) en trigo (%)	Proporción de proteína total en semillas (%)
Pericarpio	4.4	4.0
Aleuroma	19.7	15.5
Endospermo	-	(72.5)
Externo	13.7	19.4
Medio	8.8	12.4
Interno	6.2	40.7
Germen	30.0	8.0

REFERENCIAS

1. Moreno, I.; Plana, R.; Ramírez, A. e Iglesias, L. Comportamientos fenológico y agrícola de 10 variedades de trigo para el occidente de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 1997, vol. 18, no. 2, p. 16-18.
2. Iglesias, L. A.. Dinámica de la germinación de la semilla de trigo (*Triticum aestivum* L.) con diferentes manejos del agua. *Cultivos Tropicales*, 1996, vol. 17, no. 1, p. 13-15.
3. FAO. 1997. Anuario de producción. vol. 51, p. 176.
4. Misas, R. 1992. The royal patriotic society of Havana in the rescue of the naturalized variety of Villa Clara. Evolution of diversity of Cuban plant genetic resources. vol. 3, p. 165-173.
5. Cherney, J. H y Marten, G. C. Small grain crop forage potential: I. Biological and chemical determinants of quality and yield. *Crop Science*, 1982, vol. 22, p. 227.
6. Nonhebel, S. Effect of changes in temperature and CO₂ concentration on simulated spring wheat yield in The Netherlands. *Climate Change*, 1993, vol. 24, p. 311-329.
7. López, L. B. Cultivo de herbáceos. vol. 1. Ediciones Mundi-Prensa, 1991.
8. Kent, N. L. 1987. Tecnología de los cereales. Acriba. Zaragoza. 22 p.(*)
9. INTA. 1995. Curso de cultivo de trigo. E.E.A. Pergamino (INTA) Argentina.
10. Lersten, N.R. 1987. Morphology of anatomy of the wheat plant. In: wheat and wheat improvement (ed.E.G. Heyne). Agronomy N°13. América Society of Agronomy Wisconsin 33-76.
11. Evans, L. Fisiología de los cultivos. Edit, Hemisferio Sur 113-150 p. Bs As Argentina. 1983.
12. Heyne, E. G. Wheat and wheat improvement. Wisconsin. 1987.
13. INTA. El cultivo de trigo, Buenos Aires. Ministerio de la Agricultura y Ganadería de la nación. 1981, p. 95-120.
14. Iglesias, L. A. Primer ensayo sobre el comportamiento de seis variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) durante diferentes fechas de siembra en suelos dedicados al arroz en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 1992, vol. 13, no. 2-3, p. 82-88.
15. Hanson, H. *et al.*. Trigo en el III mundo. CIMMYT-Westview Press, inc. 1982.
16. García, R.. Crecimiento y desarrollo de la planta de trigo: comparación de dos escalas descriptivas. Carpeta de Producción Vegetal. Trigo. Información No 128. INTA. Argentina. 1991.
17. Martínez, J. *et al.*. Guía para producir trigo en el sur de Sonora. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, INIA. Folleto para productores. Sonora México, 1984.
18. Iglesias, L. A. y Pérez, N. El cultivo del trigo en condiciones tropicales y posibilidades para su siembra en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 1995, vol. 16, no. 1, p. 52-61.
19. Iglesias, L. A. e Iglesias, L. Clasificación del comportamiento de variedades de trigo en Cuba mediante el método de análisis de componentes principales. *Cultivos Tropicales*, 1995, vol. 16, no. 2, p. 66-69.
20. Koshta, L. D.; Tiwari, B. P. y Kurmania, S.. Efecto del riego, los niveles de fertilidad y la aplicación fraccionada de nitrógeno sobre el rendimiento y la calidad del trigo enano var Lok-1. *Research and Developmen Reporter*, 1993, vol. 10, p. 1-91.
21. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT). Metodología integral para el cultivo del trigo en Cuba. Variedad Cuba- Cueto-204. 1997.
22. Acevedo, E. Preface. En: Results of the First International Heat Stress Genotype Experiment.- C. México : CYMMYT, 1992.-p.1-2.
23. Slafer, G. A. y Rawson, H. M. Sensitivity of what phasic development of some assumptions made by physiologists and modellers. *J. Plant Physiol.* 1994, vol. 21, p. 393-426.
24. Engels, C. Effect of root and shoot dry matter partition of the internal concentration of nitrogen are carbohydrates in maize and wheat. *Annals of Botany*, 1994, vol. 73, p. 221-219.
25. Tashiro, T. y Wardlaw, I. F. The effect of high temperature at different stages of ripening on grain set, grain weight and grain dimensions in the semidwarf wheat "Banks". *Annals of Botany*, 1990, vol. 65, p. 51-61.
26. Dawson, I. A. y Wardlaw, I. F. The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. III. Booting to anthesis. *Australian Journal of Agricultural Science*, 1989, vol. 40, p. 965-980.
27. Miralles, D. J. y Slafer, G. A. Efecto de la temperatura, fecha de siembra y el tamaño del destino sobre la duración del área foliar durante la etapa de llenado de grano en trigo. II Congreso Nacional de Trigo. 17 al 19 octubre: 98-113. Pergamino, Argentina. 1990.
28. Nayeem, K. A. y Dalvi, D. G. Stomatal density, aperture index and their differentials in wheats (*Triticum* sp) at low and high temperatures. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 1993, vol. 63, no. 4, p. 215.
29. García, R. *et al.*. Efectos de la densidad de siembra sobre el rendimiento en grano y sus componentes de tres cultivares de trigo: Prointa Isla verde granero INTA y Prointa Federal. Pergamino Est.Exp. Agropecuaria. *Boletín de divulgación técnica*, 1993, no. 97, 19 p.
30. Malaspina, A. Pedrol y Castellarim, H. Intensificación de la producción de trigo, cultivares. Boletín de información técnica. Investigación triguera campaña 1994-1995. Centro regional INTA. Santa Fe. Serie trigo N°5. 1994.
31. Senigagliaesi, C. y García, R. Efecto de la densidad de planta sobre la productividad de trigo en relación a la fertilidad del suelo, Pergamino. Est. Exp. Agropecuaria INTA. Carpeta de producción vegetal. Tomo II información N°17. 1979.
32. Lerner, S. y Abbate, P. E. Influencia de la densidad de siembra sobre la estación de los estados apicales del trigo. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 1991, vol. 12, no. 3, p. 219-226.
33. Singh, G. *et al.*. Response of wheat (*Triticum aestivum* L) to planting method, seed rate fertility in late-sown conduction. *Indian Journal of Agronomy*, 1993, vol. 38, no. 2, p. 195-199.

34. Guzmán, L. y Pozo, J. L. Efecto de la densidad y fertilización nitrogenada sobre el rendimiento en granos y sus componentes de dos cultivos de trigo. Informe del IV Curso de manejo del cultivo del trigo y transferencias de tecnología INTA-CIMMYT. Pergamino. 1994.
35. Fischer, R. A. /et al./ Density and row spacing effects on irrigated shot wheats at low latitude. *Journal of Agricultural Science*, 1975, vol. 87, p. 137-147.
36. Lerner, S. E. y Cerri, A. M. Generación de macollas, espiguillas y flores en trigo (*Triticum aestivum* L). Efecto de la densidad de siembra. II Congreso Nacional de Trigo 17/19 octubre, Pergamino: 59-69. 1990.
37. Yue, S. S.; Qi, X. H. y Yu, S. L. Canopy photosynthesis and dry matter production of winter wheat at late stages of growth and development. *Journal of Shandong Agricultural University*. 1992, vol. 23, p. 1-13.
38. Pedrol, H. y Malaspina, A. Intensificación del trigo en campaña 1994-1995, fertilización. Boletín de información técnica. Centro Regional INTA Santa Fe. Serie trigo no. 8. 1994.
39. Gambaudo, S. y Fontanetto, H. Fertilización nitrogenada, Boletín de información técnica. Serie trigo N°7. Intensificación del trigo en campaña 1994-1995 Centro Regional INTA-Santa Fe. 1994.
40. Nelson, W. y Tisdale, S. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Barcelona. 760 p. 1991.
41. Garcidueñas, R. Fisiología Vegetal Aplicada. p. 273 editorial interamericana. 1993.
42. González, J. H. y Maddonni, G. A. Nitrógeno disponible en el suelo durante el período presiembradoración como explicativo del número de granos en el cultivo del trigo. II Congreso Nacional de Trigo. 17 al 19 octubre:142-151. Pergamino, Argentina. 1990.
43. EMBRAPA. 1988. Recomendaciones da comissão Centro Brasileiro de pesquisas de trigo para o ano de 1988 EMBRAPA En: Reuniao da comissão centro Brasileira de Pesquisas de trigo (Sao Paulo). 1988, p. 36.
44. OCEPAR. Recomendaciones técnicas para el cultivo del trigo en el estado de Paraná. *Boletín técnico*, 1989, p. 24:29.
45. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Centro de investigación forestal y agropecuaria del estado de México, Chapingo, México. Folleto para productores 1990. no. 3.
46. Tannaka, D. L. Topsoil removal inefficiency of nutrient concentration and content. *Transactions Engineer*, 1990, vol. 33, p. 1518-1524.
47. Ekert, J. B.; Chaudhry, N. N. y Qureshi, A. Water and nutrient response of semi-dwarf water and improved management. *Pakistan Journal*, 1978, vol. 10, p. 77-80.
48. Dejo, Z. y Jingwer, L. The use efficiency of winter wheat and maize on a salt affected soil in Huang Hua Hai River plain of China. *Agricultural water Management*, 1993, vol.32, p. 67-82.
49. Eck, H. V. Winter wheat response to nitrogen and irrigation. *Agronomy Journal*, 1998, vol.80, p. 902-908.
50. Hassan, G. /et al./ Effect of irrigation and nitrogen on winter use efficiency of wheat in Saudi Arabia. *Agricultural Water Management*, 1995, vol. 27, p. 143-153.
51. Franca, G. E. Adubação nitrogenada em Minas Gerais in Reunião Brasileira de Fertilidades do Solo. *Anais Ilheus Ceplac*, 1986, p. 107-124.
52. Soler, C. Fertilizar para ganar. *Campo y Tecnología*, 1995, no. 21, p. 8-12.
53. Proceeding of the International Conference. July 29-August-3, 1990. R. M. Boddy and J. Döbereiner. Nitrogen-fixing bacteria in association with wheat (*Triticum aestivum*) for the non-traditional warm areas. Brasil, 1991.
54. Bashan, V.; Holguin, G. y Ferrera-Cerrato, R. Interacciones entre plantas y microorganismos benéficos I. Azospirillum. *Terra*, 1996, vol. 14, no.2, p. 150-192.
55. Dibut, B. /et al./ Respuesta del trigo (*Triticum durum* D.) cultivado sobre suelo Ferralítico Rojo a la bacterización con Azotoryza en condiciones experimentales y de producción. *Cultivos Tropicales*, 1996, vol. 17, no. 2, p.9-13.
56. Plana, R. /et al./ Efecto agrónomico de la biofertilización con dos rizobacterias en la producción de trigo (*Triticum aestivum* L.) en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 1999, vol. 20, no. 4, p. 5-8.
57. Barbosa, S. V. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la calidad proteica en el trigo (*Triticum aestivum* L) según momentos de aplicación. INTA-CIMMYT. 1995.
58. Goodlas, G. Effect of management of preceding crop on grain nitrogen content. *Aspects of Applied Biology*. 1993, no. 36, p. 287-292.
59. Regis, C. y García, R. Efecto de aplicación foliar de nitrógeno sobre el rendimiento y la proteína del grano de trigo. Est. Exp. Agropecuaria, INTA. Hoja de información N° 164. 1995.
60. Zhigulev, A. Effect of foliar nitrogen fertilizers on yield quality of wheat grain. *Agrokhimiya*, 1992, no. 3-9.
61. Peña, T. E. Aplicación fraccionada de nitrógeno en trigo. INTA. Est. Exp. Pergamino. Buenos Aires, Argentina. 1995.

Recibido: 20 de octubre del 2001

Aceptado: 19 de noviembre del 2001