



ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA PRODUCTIVA Y COMPORTAMIENTO DEL RENDIMIENTO DE CUATRO VARIETADES DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) DE DIFERENTES ORÍGENES EN LA PREFECTURA DE IBARAKI, JAPÓN

Analysis of the productive structure and yield behavior of four rice varieties (*Oryza sativa* L.) from different origins in Ibaraki prefecture, Japan

Sandra H. Díaz Solís[✉], Elizabeth Cristo Valdés, Rogelio Morejón Rivera, Rodolfo Castro Álvarez, Masaaki Shiraishi, Madduma P. Dhanappala y Arai Keisuke

ABSTRACT. The study was carried out at the Research Experimental Plot (RE1) from Tsukuba International Center (TBIC) located in Ibaraki Prefecture, Japan, with the objective of analyzing the productive structure and yield of four rice (*Oryza sativa* L.) varieties of different origin. Treatments correspond to J-104, Bluebonnet-50, Suweon-294 and Nipponbare varieties. Dry matter content and light intensity were determined, also yield and its components were evaluated and the relationship existing between yield and light intensity was analyzed. A Single Classification Variance Analysis and Duncan's Multiple Range Test were used. Results showed differences between treatments and the indica-japonica variety Suweon-294 presented the best behaviour in the productive structure analysis, while the indica variety J-104 reached the highest yields. The regression between studied variables indicates a direct relationship.

Key words: *Oryza sativa*, varieties, rice, yield, sunlight

RESUMEN. El estudio se desarrolló en la Parcela Experimental de Investigación (RE1) del Centro Internacional de Tsukuba (TBIC) ubicado en la Prefectura de Ibaraki, Japón, con el objetivo de analizar la estructura productiva y el rendimiento de cuatro variedades de arroz de diferentes orígenes. Los tratamientos corresponden a las variedades J-104, Bluebonnet-50, Suweon-294 y Nipponbare. Se determinó el contenido de materia seca y la intensidad luminosa, además se evaluó el rendimiento y sus componentes y se analizó la relación existente entre el rendimiento y la intensidad luminosa. Se utilizó un análisis de varianza de clasificación simple y la prueba de Rangos Múltiples de Duncan. Los resultados revelaron la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos y la variedad indica-japónica Suweon-294 tuvo el mejor comportamiento en el análisis de la estructura productiva, mientras que la variedad indica J-104 alcanzó los mayores rendimientos. La regresión entre las variables estudiadas indica una relación directa.

Palabras clave: *Oryza sativa*, variedades, arroz, rendimiento, radiación solar

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los cereales más utilizados en la alimentación del ser humano y proporciona más calorías por hectárea que cualquier otro cultivo de cereales. El 75 % de la población mundial lo

incluye en su dieta alimentaria diaria y puede superar, en algunos casos, el consumo de otros cereales como el maíz y el trigo (1). En Cuba es un plato indispensable en la mesa, con un consumo per cápita anual de más de 65 kg; sin embargo, se produce solo el 40 % del arroz que necesita el país para el autoabastecimiento (2).

Las variedades de arroz cultivadas han ido variando en los últimos años, mediante una gradual renovación de las más antiguas, en función de mejores características (3). Sin embargo, los mejoradores han reconocido en los últimos años la situación de la estrecha base genética debida a la reducción de la diversidad genética, producto del mejoramiento de los cultivares modernos, lo cual ha resultado en cultivos genéticamente vulnerables ante

M.Sc. Sandra H. Díaz Solís; M.Sc. Elizabeth Cristo Valdés, y M.Sc. Rogelio Morejón Rivera, Investigadores Auxiliares; M.Sc. Rodolfo Castro Álvarez, Investigador Agregado de la Unidad Científico Tecnológica de Base Los Palacios, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700; M.Sc. Masaaki Shiraishi; Dr.C. Madduma P. Dhanapala y Arai Keisuke, Asesores Técnicos, Japan International Cooperation Agency. Tsukuba International Center Koyadai 3-6, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, Japón.

✉ shdiaz@inca.edu.cu

factores abióticos y agentes bióticos (4). Los programas de mejoramiento genético de arroz solo están utilizando alrededor del 25 % de la variabilidad genética existente en la especie (5).

Se ha estimado que una gran parte del material genético utilizado actualmente en muchos países tiene más de 15 años y faltan por estudiar muchas características genéticas y fisiológicas del crecimiento y desarrollo de las nuevas variedades (6). Los mejoradores buscan un tipo de planta con hojas erectas y ángulo hoja-tallo muy cerrado para una mayor penetración de la luz y así disminuir el sombreo mutuo. Asimismo, es deseable que la panícula esté situada por debajo de las hojas superiores con el propósito de aumentar la eficiencia de la fotosíntesis, así como la aireación y la sanidad de las plantas. Además, para garantizar altos rendimientos hay que lograr un índice de área foliar óptimo y también una proporción óptima de hojas vivas después del espigamiento. De igual forma se debe seleccionar la fecha de siembra en la época de máxima radiación solar combinada con una temperatura adecuada.

En las regiones tropicales se ha constatado que la luz tiene un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo del arroz, cuando el agua deja de constituir un factor limitante, el sol se convierte en el factor climático predominante en el rendimiento de un arrozal. Se conoce que la radiación solar es 1.5 veces más baja en los trópicos que en las regiones templadas y mediterráneas, constituyendo una de las causas principales de los bajos rendimientos (7). El estudio de la materia seca y la intensidad luminosa y su efecto en el rendimiento permite una mayor aproximación de la contribución de estas variables en la selección de variedades más productivas, las cuales podrían utilizarse como progenitores en el Programa de Mejoramiento genético de este cultivo. Algunos autores señalan que la productividad de la materia seca, el índice de área foliar y la estructura productiva están relacionadas con la actividad fisiológica de los cultivares por lo que han sido muy estudiadas (8)^{1,2}.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores este trabajo tuvo como objetivo analizar la estructura productiva y el comportamiento del rendimiento de grano de cuatro variedades de arroz de diferentes orígenes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la Parcela Experimental de Investigación (RE1) del Centro Internacional de Tsukuba (TBIC), perteneciente a la Agencia Internacional de

¹Cristo, Elizabeth y Díaz, Sandra. Comparación de características morfológicas y del crecimiento de variedades de arroz de diferente origen. Informes de Experimentos. Tsukuba International Center, Japan. 2006. p. 33-51.

²Maqueira, L. y González, Déborah. Estudio del comportamiento del crecimiento y el rendimiento de tres variedades de arroz en condiciones de secano. Informes de Experimentos. Tsukuba International Center, Japan. 2007. p. 39-50.

Cooperación de Japón, ubicado en la Prefectura de Ibaraki desde marzo hasta septiembre del 2006. Las variedades utilizadas se muestran en la Tabla I. La selección de las mismas se realizó teniendo como criterio que estuvieran representados los grupos varietales más importantes e incluso en el caso del tipo indica se incluyeron cultivares tradicionales y mejorados a fin de contar con una amplia variabilidad.

Tabla I. Variedades de arroz empleadas, grupo varietal al que pertenecen y origen

Variedad	Grupo-Varietal	Origen	Ciclo (50 % floración)
J-104	Indica	Cuba	135 días
Bluebonnet-50	Indica	Estados Unidos	111 días
Suweon-294	Indica-Japónica	Corea	112 días
Nipponbare	Japónica	Japón	119 días

SELECCIÓN Y DESINFECCIÓN DE SEMILLAS

La semilla utilizada fue seleccionada a través del método de solución salina con peso específico de 1.13 g/cm³ y la desinfección se realizó usando Healthead con una dosis de 2,5 g diluidos en 500 mL de agua. Las semillas se introdujeron en la solución de agua salina, y fueron eliminadas las semillas que emergieron a la superficie y se utilizaron solo las que quedaron en el fondo del recipiente las cuales poseían el peso específico requerido. Posteriormente las semillas seleccionadas se lavaron con agua y fueron colocadas en solución de desinfección durante 24 horas. Las semillas fueron colocadas en un pregerminador a 25°C durante 72 horas, hasta alcanzar una temperatura acumulada de 100°C necesaria para la germinación del arroz³. Después fueron puestas a secar a temperatura ambiente sobre papel gaceta en una superficie plana evitando la acumulación de agua.

CONDICIONES DE CULTIVO

La siembra se realizó el día 18 de abril de 2006 en bandejas de 15,5 cm de largo x 6 cm de ancho y una profundidad de 10 cm, colocándose 50 semillas por bandeja, incubándose a temperatura de 30°C durante 48 horas. Posteriormente se trasladaron al invernadero donde fueron mantenidas a temperatura ambiente con riegos diarios (350 m³/ha).

Después de cosechar la cebada (*Hordeum distichum*) que se encontraba como cultivo de rotación en la parcela se inició la preparación de suelo y el 15 de mayo se fertilizó a razón de 8 kg de N, 8 kg de P₂O₅ y 8 kg de K₂O

³Hagiwara, M. Semillas y germinación. Facultad de Agronomía, Universidad de Shinshu. Conferencia en Curso Técnicas para el cultivo de arroz a pequeña escala. Tsukuba International Center. 2006. p 1-15.

empleando para ello los fertilizantes Hyper Coat 424 de liberación lenta (LPS) y Formulación NPK 14-12-14 con una duración de 120 días y Super Fosfato Triple. Se fanguéó utilizando un motocultor con rotobator (KUBOTA T 702) y se niveló con la ayuda de un nivelador manual.

El 16 de mayo, antes de llevar las plantas al campo para ser trasplantadas, se aplicó a cada bandeja 50 g de funguicida Greatam, inmediatamente después se trasplantó, colocando tres plantas por nido o sitio con una distancia de siembra de 30 x 15 cm en parcelas de 12 m², distribuidas según un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones por variedades.

El diseño utilizado en campo para el montaje del experimento se muestra en la Figura 1.

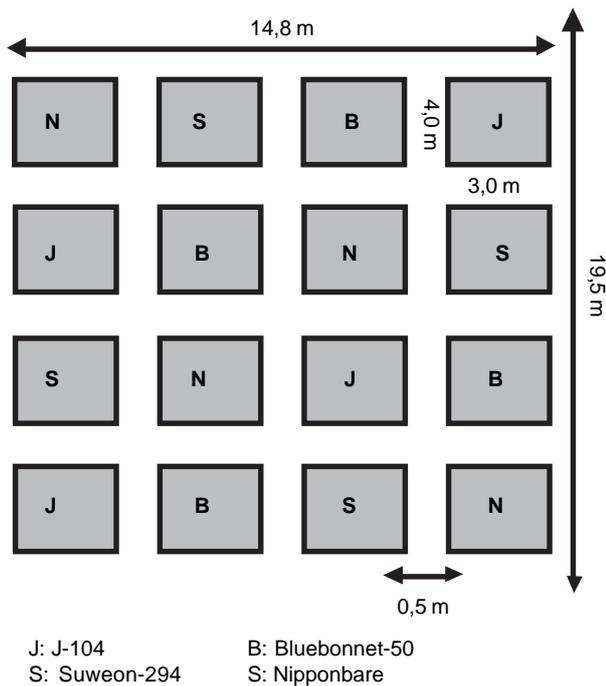


Figura 1. Distribución en el campo de las variedades estudiadas según un diseño completamente aleatorizado

El control químico de malezas se realizó con el herbicida granulado Spark Star con la ayuda de una voleadora, a una dosis de 30 kg.ha⁻¹ una vez transcurridos 20 días del trasplante. El cultivo se mantuvo en condiciones de inundación hasta el drenaje para la cosecha, la altura de la lámina de agua fue de 10 cm y se manejó el principio de reposición de la misma cada vez que fue necesario.

EVALUACIONES REALIZADAS

La estructura productiva se analizó a los 117 días después del trasplante (8) y para ello se determinó el contenido de materia seca en diferentes órganos de la planta y la intensidad luminosa (Figura 2). Se utilizó un marco de 50 cm de ancho y largo y una altura de 170 cm,

para hacer las mediciones horizontalmente y de forma descendente cada 10 cm, se realizó primero la evaluación de la intensidad luminosa y a continuación para determinar la materia seca, se cortó la parte aérea de la planta comprendida dentro de los 10 cm y se separó el material (hojas verdes, hojas secas, tallos y panículas), el cual fue puesto en la estufa a 70°C durante 72 horas hasta peso constante. Este procedimiento se efectuó dos veces en cada parcela, o sea ocho veces por variedad, procesando un total de 32 muestras.



Figura 2. Muestreo en campo de intensidad luminosa y materia seca

Además, cuando cada variedad alcanzó el estado de madurez óptimo se evaluaron el rendimiento y sus componentes. El rendimiento se determinó al 14 % de humedad del grano en un área de 4 m² (una vez por parcela) y para el resto de los componentes se tomaron en cada parcela 20 panículas al azar (9,10).

La información obtenida se procesó mediante Análisis de Varianza (ANOVA) de Clasificación Simple para efectos fijos y se docimaron las medias por Pruebas de Rangos Múltiples de Duncan. Se realizaron también análisis de regresión entre el rendimiento y la intensidad luminosa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Figuras 2 (A, B) muestran la estructura productiva de las cuatro variedades evaluadas, apreciándose en J-104 y Suweon-294 un mejor comportamiento si se tiene en cuenta que comenzando por el límite superior de altura de la planta y profundizando 30 cm (alturas de 90 y 70 cm

respectivamente) reciben el 70 % de la intensidad luminosa, mientras que en las variedades Nipponbare y Bluebonnet-50 se observa un decrecimiento muy rápido de la intensidad luminosa con solo profundizar 10 cm, y si son comparadas profundizando 30 cm estas solo reciben aproximadamente el 50 y 35 %, respectivamente, lo cual evidentemente está relacionado con el tipo de planta. Bluebonnet-50 por ejemplo, es una variedad alta caracterizada por un porte abierto y con hojas largas y anchas lo cual favorece el autosombreo y dificulta la llegada de la radiación solar a las hojas inferiores.

La radiación solar es la fuente de energía para el proceso fotosintético y para la evapotranspiración, por lo cual es considerada fundamental para obtener buenos rendimientos. Su efecto es escaso durante las primeras etapas de desarrollo de la planta; pero incide fundamentalmente en la etapa reproductiva (desde diferenciación de primordio a floración) afectando el número total de granos producidos por panojas.

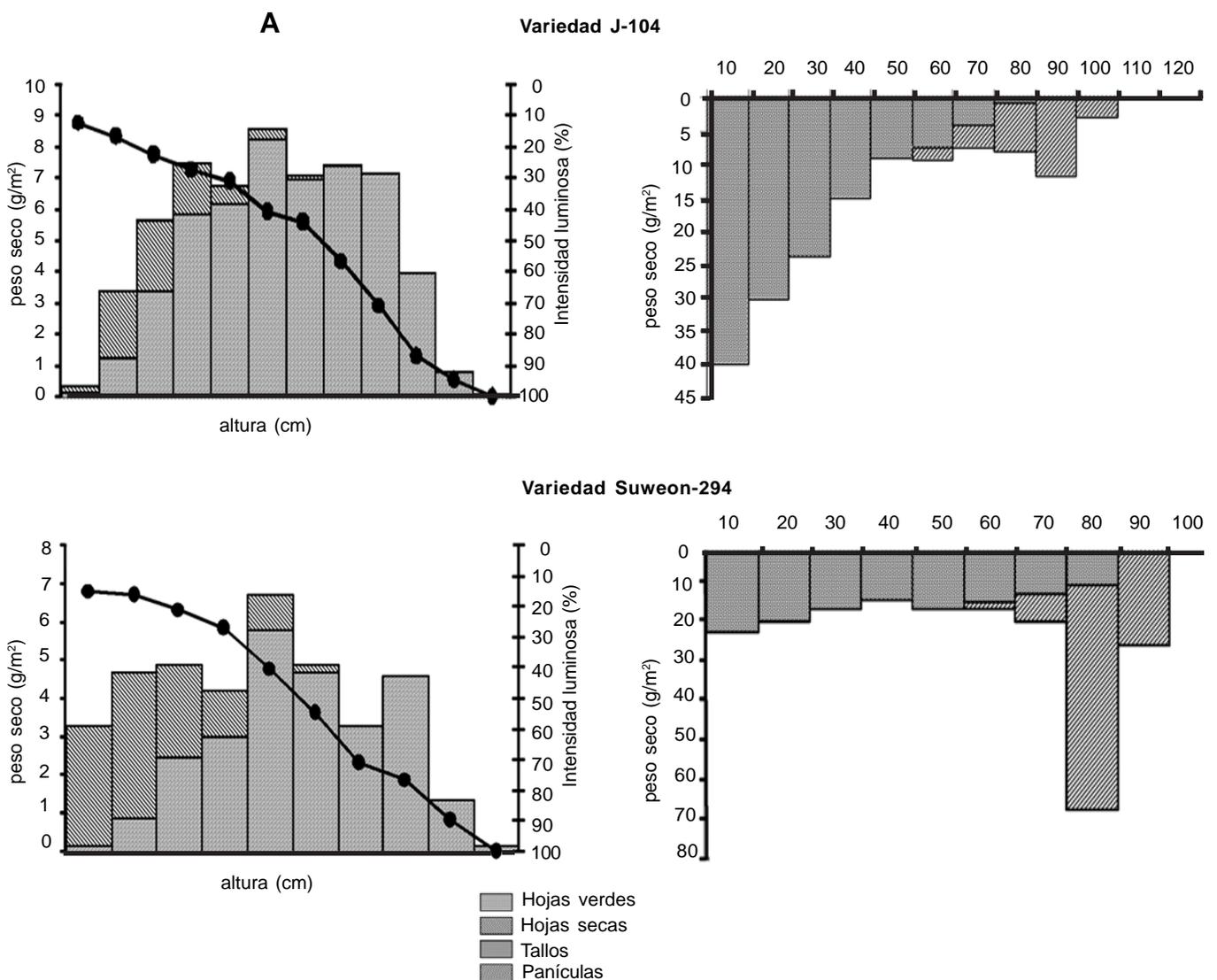


Figura 2A. Estructura productiva de las variedades J-104 y Suweon-294

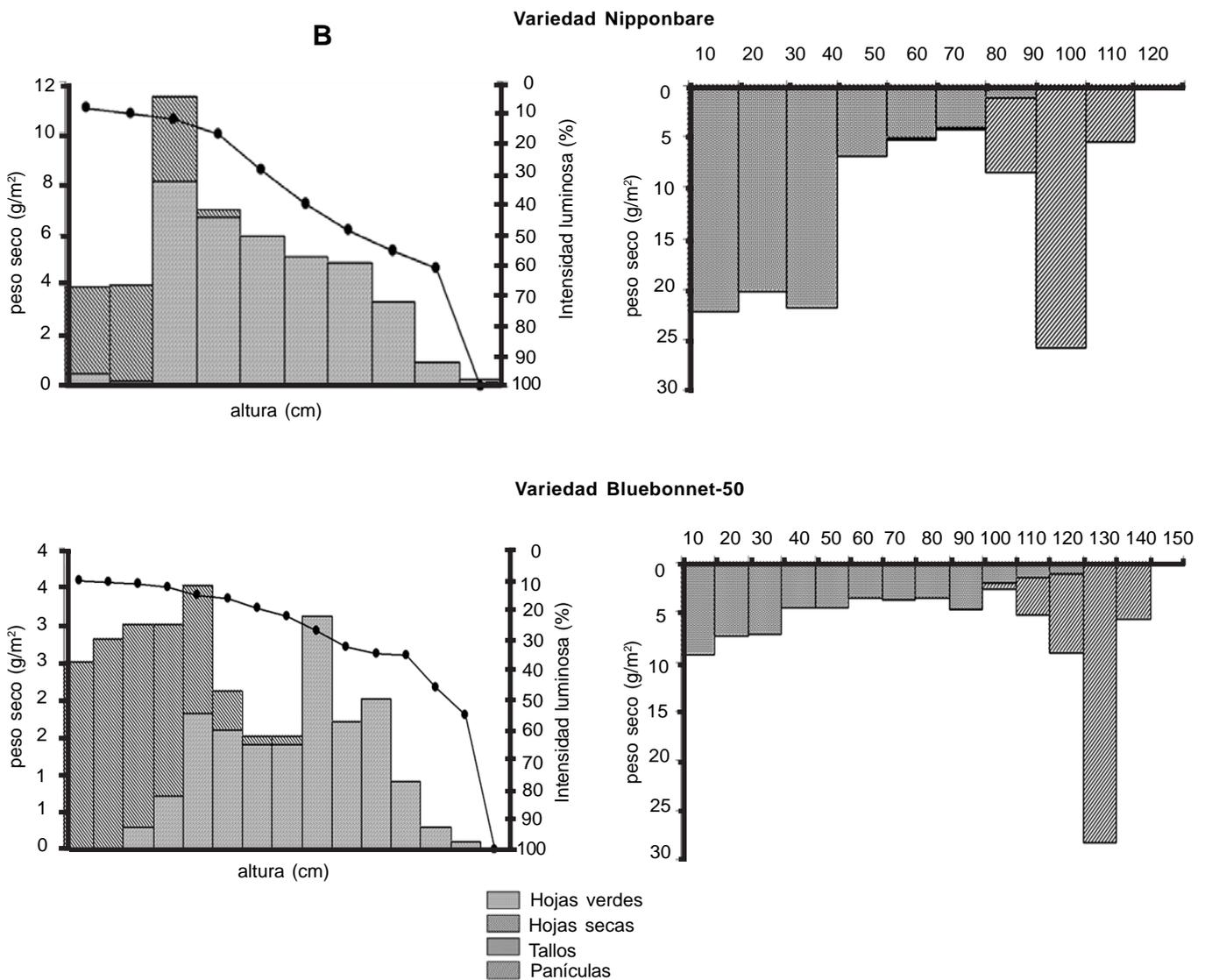


Figura 2B. Estructura productiva de las variedades Nipponbare y Bluebonnet-50

El efecto es algo menor en el período de llenado de granos, y en este caso afecta el número de granos llenos (11). También el sombreado durante la fase vegetativa afecta ligeramente al rendimiento y sus componentes, a los 16 días de paniculación causa esterilidad de las espiguillas por falta de carbohidratos y tiene efectos serios sobre el número de espiguillas, además reduce en forma considerable el rendimiento debido al menor porcentaje de espiguillas llenas (12).

Para el peso seco, en el caso de las hojas verdes, el mayor valor correspondió a la variedad J-104 y el menor valor a Bluebonnet-50. Mientras, para las hojas secas ocurrió lo contrario, Bluebonnet-50 mostró el mayor valor y J-104 el menor.

Es importante destacar que a pesar de que en el cultivar tradicional Bluebonnet-50 que resultó ser el más alto (150 cm) las hojas secas comienzan a aparecer a los 80 cm de altura, a diferencia de la variedad mejorada J-104 de 120 cm de altura donde estas aparecen a los 70 cm;

no obstante, Bluebonnet-50 casi duplica el peso de las hojas secas con respecto a J-104. Se debe señalar que el cultivar J-104 al tener un ciclo más largo que el resto, en el momento que se hizo la evaluación de la estructura productiva estaba aún en fase de paniculación y el resto ya se encontraba en fase de maduración, es decir estaba un poco desfasada del resto. Esta aclaración pudiera justificar las diferencias.

En este sentido se plantea que disminuyendo el largo de la hoja del primer, segundo y tercer nudo puede ayudar a reducir el sombreado mutuo y aumentar la asimilación en esas hojas (13).

En otras investigaciones se verificaron diferencias entre variedades de arroz en la Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC) de la masa seca de la parte aérea, en cuanto a la magnitud y precocidad en el crecimiento (14), mostrando algunos de los cultivares analizados similitudes con los evaluados en este trabajo, tanto en ciclo como en otros caracteres morfoagronómicos.

Los cultivares tradicionales de porte alto como Bluebonnet-50 y con ángulos de la hoja horizontales tienen un menor aprovechamiento de la intensidad luminosa. Por esta razón, se recomiendan las variedades con tallos y hojas erectas, en este caso con similares características que J-104 y Suweon-294, que evitan el sombreado recíproco y así interceptan más la luz solar, para una mejor fotosíntesis y consecuentemente mejores rendimientos. La selección de cultivares con hoja bandera erectas, ángulo agudo y panojas que no sobresalgan en exceso a la hoja bandera a modo de minimizar la sombra de las hojas superiores durante la fase de maduración, son también caracteres deseados (12). Otros autores señalan que un porte con hojas erectas es un carácter agronómico importante para producir altos rendimientos porque este tipo de plantas soporta una alta densidad de siembra y los nudos basales de la planta perciben mayor radiación solar ante estas condiciones de cultivo. Las hojas erectas son causadas por un gen que confiere insensibilidad a las hormonas del grupo brasinoesteroides que regula la división y la diferenciación celular. Existen varios tipos de genes que se emplean actualmente en el mejoramiento de arroz para regular la arquitectura de la planta (15).

Analizando el peso seco de los tallos y panículas se evidencia que el mejor comportamiento lo tuvo la variedad Suweon-294 que alcanzó los mayores valores para estos indicadores; sin embargo, en el caso del peso seco de los tallos la variedad J-104 tuvo un comportamiento similar a ella, aunque al analizar las panículas esta variedad fue la de menor peso seco, debido a que se encontraba en la fase de paniculación y este proceso no había culminado aún, pero cuando se evaluó al final del ciclo el rendimiento de grano, resultó ser la variedad de mejores resultados integralmente (Tabla II).

En el caso de Bluebonnet-50 el peso seco de los tallos es muy bajo; sin embargo, con las panículas ocurre lo contrario, lo que está relacionado con las características de esta variedad, cuya planta es muy alta, de hojas largas y anchas con senescencia temprana, que además tiene pobre capacidad de ahijamiento y panículas completamente emergidas, compactas y generalmente grandes.

Se plantea que las características del sistema fuente-sumidero son dinámicas y varían de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo, genotipo y condiciones agroclimáticas. Uno de los objetivos del mejoramiento genético convencional ha sido favorecer el balance del carbono hacia el sumidero. Sin embargo, en cultivos básicos como arroz, se ha llegado, al parecer, a un tope genético que requiere la implementación de estrategias distintas para incrementar el rendimiento y la eficiencia metabólica del carbono en la fuente y el sumidero. Determinadas porciones de carbono se asignan para proveer las necesidades del metabolismo inmediato de la hoja y para satisfacer la demanda metabólica durante el ciclo de 24 horas. Las reservas foliares son en consecuencia accesibles para ser reasignadas y exportadas en las noches o durante los periodos de estrés cuando la fotosíntesis es muy baja (16).

El análisis estadístico mostró diferencias significativas para el rendimiento y sus componentes en las cuatro variedades (Tabla II). La variedad japonesa Nipponbare tuvo el mayor número de panículas por metro cuadrado con diferencias estadísticas significativas con las demás variedades evaluadas, mientras que el mejor comportamiento para el resto de los caracteres lo mostró la variedad cubana J-104. Esta última presentó el mayor número de granos llenos por panícula sin diferencias significativas con Bluebonnet-50, ambas del tipo indica, también los granos de J-104 fueron los más pesados y a su vez logró los mayores rendimientos.

Los componentes que determinan el rendimiento son las panojas por unidad de superficie, el número de espiguillas por panoja, el porcentaje de espiguillas llenas y el peso de los granos. El principal componente que afecta el rendimiento es el número de panojas por superficie, que se establece durante el período vegetativo. En esta etapa el nitrógeno es fundamental para lograr un alto macollaje y acumulación de biomasa. El tamaño de la panoja es determinado durante el período reproductivo y el peso de los granos junto con la esterilidad es definida durante el llenado. Los estreses bióticos y abióticos en los distintos períodos reducen los rendimientos.

Tabla II. Resultados del ANOVA para el rendimiento agrícola y sus componentes de las variedades de arroz evaluadas

Variedades	Número de Panículas/m ²	Número de granos llenos/Panícula	Peso de mil granos (g)	Rendimiento (t/ha)
<i>Nipponbare</i>	320 a	71 c	25.8 c	4.88 b
<i>Suweon-294</i>	240 b	122 b	25.6 c	5.27 b
<i>J-104</i>	236 b	142 ab	31.2 a	5.80 a
<i>Bluebonnet-50</i>	115 c	153 a	28.1 b	3.95 c
\bar{x}	228	122	27.7	4.97
$\bar{ES x}$	25.41 ***	16.90 ***	0.69 ***	0.32 ***
CV %	11.16	13.84	2.51	6.50

Sin embargo, el período reproductivo es considerado el más sensible y las limitaciones en esta etapa causan los mayores perjuicios (17).

Se plantea que el arroz en los trópicos se cosecha aproximadamente un mes después de la floración, mientras que en Japón no se cosecha hasta un mes y medio después. El hecho de que el período de floración sea más corto en los trópicos, en parte se debe a las altas temperaturas. Según estudios, el número de días que transcurre entre la floración y el momento en que el grano alcanza su peso máximo es menor en las variedades índicas que en las variedades japónicas. Las bajas temperaturas alargan a menudo el período de maduración, para las variedades índicas, es posible que un período de maduración más largo sea favorable para la producción, por tanto existe la posibilidad de aumentar la cosecha de índicas alargando este período por selección genética (18).

Una importante relación es la que se establece entre la intensidad luminosa recibida por la planta y el rendimiento. La intensidad de la luz tiene un papel primordial en el período de formación del grano, se sabe que se origina la acumulación de reservas en el grano a partir de los productos fotosintetizados en esta etapa. Según Singh, 2008 en el arroz hay una fórmula que establece que a mayor intensidad de radiación solar después de la floración mayores serán los rendimientos.

La Figura 3, muestra un análisis de regresión entre estas variables para las cuatro variedades evaluadas. El coeficiente de determinación es de 87,02 y el de correlación es de 0,9328, indicando una relación lineal directa entre las variables, estadísticamente significativas para un nivel de confianza del 95 %, se aprecia que en la medida que aumenta la intensidad luminosa también se incrementa el rendimiento.

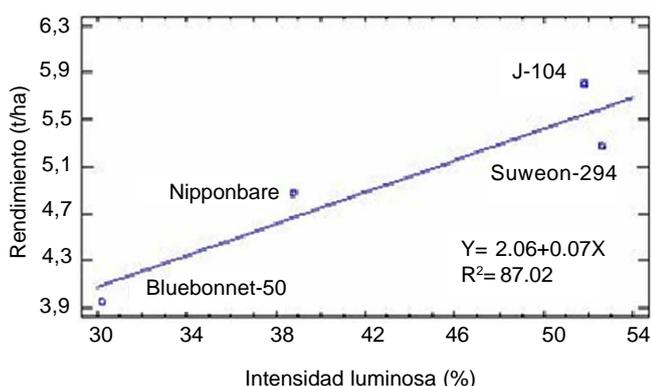


Figura 3. Relación entre la intensidad luminosa y el rendimiento para las variedades estudiadas

Se corroboran así las consideraciones hechas anteriormente cuando se analizó la Figura 2 (A y B) y la Tabla II, donde las variedades J-104 y Suweon-294 fueron las de mejor comportamiento al evaluar la intensidad luminosa y las que mostraron los mayores rendimientos respectivamente. Estas variedades aunque son originarias de Cuba y Corea respectivamente tienen en común

características del tipo indica y fueron evaluadas en Japón bajo condiciones óptimas de cultivo, favorables para expresar su potencial. Se conoce que la eficiencia del proceso fotosintético depende de factores ambientales como humedad, temperatura e intensidad lumínica. La planta ajusta su eficiencia fotosintética a la máxima intensidad de luz, temperatura, estado de desarrollo, factores genéticos y a la apertura y cierre estomáticos dependientes de la dinámica del continuo suelo-planta-atmósfera (16).

Algunas experiencias señalan que la radiación incidente en Yunnan (China) no es elevada (17 Mj/m²/d) si se compara con otros sitios de alto rendimiento como Yanco en Australia (23 Mj/m²/d); pero un rápido crecimiento inicial, con un alto índice de área foliar y buena dotación de N posibilitan una gran intersección y buena conversión de la radiación incidente. En Yunnan los altos rendimientos han sido relacionados con un extenso ciclo de cultivo, junto con una alta tasa de crecimiento, mientras que en Yanco, fue como resultado de una elevada radiación solar (19).

Particularmente, la carencia de insolación en la fase reproductiva afecta el llenado y la calidad de los granos. La asimilación comienza con la salida del sol y se vuelve más activa a medida que aumenta la luz. Una parte importante de los carbohidratos acumulados en los cereales proviene del proceso de fotosíntesis que tiene lugar durante el período comprendido entre prefloración hasta el período de maduración. Por tanto, es lógico que cuanto más fuerte sea la radiación solar a lo largo de la maduración, más abundante será la cosecha (18).

Algunos autores al evaluar diferentes ambientes afirman que la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar fueron las principales variables ambientales que afectaron la calidad del arroz. Es frecuente la ocurrencia de bajos rendimientos en los años de poca luz solar causada por condiciones de nublado y lluvia, estas condiciones también producen plantas más altas (20). En trabajos desarrollados en el Este de Uruguay se ha constatado que ocurre una disminución en radiación disponible para llenado de granos en la medida que se atrasa la fecha de siembra, lo que supone exponer el cultivo a un ambiente productivo más carente de recursos. La disminución en la energía fotosintética disponible para el llenado de granos podría ser parcialmente compensada por la acumulación de reservas de carbohidratos en tallos y vainas en prefloración, en cultivares con esta capacidad. Se conocen reportes de cultivares que traslocan eficientemente dichas reservas durante el llenado de granos contribuyendo a este proceso en hasta 30 a 40 % (21).

En este sentido hay coincidencia de criterios ya que otros autores señalan que el período más crítico de necesidades de radiación solar del arroz es el comprendido desde el inicio de la formación de la panícula hasta 10 días antes de la maduración completa del grano. La cantidad de energía solar recibida por el cultivo, desde el inicio de la formación de la panícula hasta su maduración, es

esencial para la acumulación de materia seca, cuyo incremento en dicho período se relaciona con el rendimiento. Además señalan la existencia de correlaciones entre estas variables (7). Asimismo la translocación de carbohidratos juega un rol fundamental al inicio del llenado de granos, y actúa como «buffer» cuando un estrés limita la capacidad fotosintética. Cuando la demanda de los destinos supera la capacidad de producción fotosintética, la removilización de sustancias de reserva del tallo aporta a esa demanda⁴.

Es importante señalar que el 80 % de los hijos formados por J-104 fueron efectivos, siendo esta una característica importante ya que la planta de arroz no gasta energía en formar hijos que al final mueren o no forman panículas e igualmente esta variedad alcanzó los mejores resultados en el análisis de la tendencia de los valores SPAD, que miden la cantidad de clorofila y se utilizan como indicador del contenido de nitrógeno en las hojas de los cultivos. Lo que se constató también de forma visual, observándose una coloración verde más intensa durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo (22).

De forma general se puede decir que la variedad índica-japonesa Suweon-294 tuvo el mejor comportamiento en el análisis de la estructura productiva, mientras que la variedad índica J-104 logró el mejor comportamiento para rendimiento y la mayoría de sus componentes. Se deduce que en el análisis de la estructura productiva de J-104, podría haber conseguido mejores resultados, ya que el ciclo de esta variedad tuvo una duración mayor que el resto y cuando se realizó este análisis estaba aún paniculando, mientras que el resto de las variedades ya se encontraban en la fase de maduración. Este criterio se basa en el hecho de que fue una de las variedades que mayor incidencia de la radiación solar mostró debido a su porte erecto e incluso en esas condiciones logró una buena formación de tallos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) y a todo el personal del Centro Internacional de Tsukuba (TBIC) por la posibilidad de realizar este estudio. A todos los profesores e integrantes del Program Team II, especialmente al Dr. Shohara Kenishiro y al resto de los Asesores Técnicos por las sugerencias realizadas durante la conducción del experimento.

Así mismo a Santiago Hernaiz y Karla Cordero, investigadores del Centro Regional de Investigación Quilamapu perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile por la minuciosa revisión del documento y los valiosos consejos brindados para su terminación.

REFERENCIAS

1. Franquet Bennis, J. M. y Borrás-Pamies, C. Economía del Arroz: Variedades y mejora [en línea] Universidad de Málaga. Biblioteca Virtual de Derecho, Economía y Ciencias Sociales, 2006. ISBN-10:84-689-7762-4 [Consultado: 4 de mayo de 2010] Disponible en: <http://www.eumed.net/libros/2006a/fbbp/index.htm>.
2. Cuñarro, R.; Fitó, Elaine; Batista, Katia; Pelegrín, Yudith M.; Cardona, Ena Lidia; Puldón, Violeta, Gómez, P. J. y Prieto, J. A. Comportamiento de cinco híbridos de arroz (*Oryza sativa* L.) introducidos en Cuba. [CD-Rom] En: 5to Encuentro Internacional de Arroz (V: 2011, 7-10. Jun.: La Habana). Palacio de las Convenciones. ISSN: 1607-6273 RNPS No: 1879. Edición Especial Revista Cubana del Arroz.
3. InfoAgro. El cultivo del arroz. 1ª parte. [en línea] [Consultado: 4 de mayo de 2010] Disponible en: <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/arroz.htm>.
4. Tang, S. X.; Wei, X. H.; Jian, Y. Z.; Brar, D. S. y Cruz, G. S. Genetic Diversity bases on allozyme alleles of Chinese cultivated rice. *Agricultural Science in China*, 2007, vol. 6, p. 641-646.
5. Martínez, C. P.; Borrero, J.; James, S.; Correa, F.; Sanabria, Y. y Duque, Myriam. Aprovechamiento de la variabilidad genética escondida en las especies silvestres de arroz. [CD-Rom] En: Encuentro Internacional del Arroz. (IV: 2008, 2-6 jun.: La Habana). Palacio de las Convenciones. ISBN: 978-959-282-076-0.
6. FAO. Resumen de las principales conclusiones y recomendaciones. En: Conferencia Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. [Consultado: 20 de abril de 2009]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/meeting/008/J2881s/J2881s.htm>.
7. López, L. Cultivos Herbáceos. Cereales. Ed. Mundi-Prensa Madrid, España. Arroz, 1991, 419 p.
8. Taniyama, T.; Subbaiah, S. V. y Rao, M. L. N. Comparison of growth between improved and local rice cultivars grown in wet season in Deccan area of India. *Japan. Jour. Crop Sci.*, 1988, vol. 57, no. 1, p. 205-210.
9. Díaz, Sandra; Morejón, R.; Castro, R.; Pérez, Noraida y González, María C. Evaluación de variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) para la época de primavera en Pinar del Río. *Cultivos Tropicales*, 2004, vol. 25, no. 4, p. 5-9.
10. Ruiz, M.; Díaz, G. S.; Pérez, Noraida; Muñoz, Yumara; Rodríguez, M. E. y Domínguez, D. Comportamiento de la variedad de arroz (*Oryza sativa* L.) INCA LP-4 sembrada en diferentes épocas del año. *Cultivos Tropicales*, 2009, vol. 30, no. 1, p. 57-60.
11. Marin, A. Influencia del clima en la campaña 05/06. Tierra Correntina. INTA Corrientes, Argentina. Arroz, 2007. p. 1-3.
12. FAO. Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. Problemas y limitaciones de la producción de arroz. Depósito del documento de la FAO, Departamento de la Agricultura. 2003.
13. Dutta, R. K.; Baset Mia, M. A. y Khanam, S. Plant architecture and growth characteristics of fine grain and aromatic rices and their relation with grain yield. Research and Applied Technology. International Rice Commission Newsletter. 2002. vol. 51.

⁴Quintero César, E. Factores limitantes para el crecimiento y productividad del arroz en Entre Ríos, Argentina. [Tesis Doctoral] Universidade da Coruña, 2009. 167 p.

14. Maqueira, L. A.; Torres, W. y Miranda, A. Crecimiento y rendimiento de dos variedades de arroz de ciclo corto en época poco lluviosa. *Cultivos Tropicales*, 2009, vol. 30, no. 3, p. 28-31.
15. Olmos, Sofía. Apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético del arroz. [En línea] Corrientes: UNNE. Facultad de Ciencias Agrarias, 2006. [Consultado: 12 de julio de 2011]. Disponible en: <http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/Informacion_Academica.html>
16. Tofiño Adriana, Romero, H. M. y Ceballos, H. Efecto del estrés abiótico sobre la síntesis y degradación de almidón. *Agronomía Colombiana*, 2007, vol. 25, no. 2, p. 245-254.
17. Fageria, N. K. Yield Physiology of Rice. *Journal of Plant Nutrition*, 2007, no. 30, p. 1-37.
18. JICA. Agencia de Cooperación Internacional del Japón. Centro Internacional de Tsukuba, Japón. Aspectos morfológicos y fisiológicos de los caracteres fundamentales de la planta de arroz. 2da. Edición. 2006. 87 p.
19. Katsura, K.; Maeda, S.; Lubis, I.; Horie, T.; Cao, W. y Shiraiwa, T. The high yield of irrigated rice in Yunnan, China «A cross-location analysis». *Field Crops Research*, 2008, no. 107, p. 1-11.
20. Hirai, Y.; Tagami, K.; Hamagami, K.; Uchida, S.; Inaba, S. y Mori, K. Evaluation of Environment on Rice Production for the Rice Terraces in Hoshino Village. *Kyushu Univ., J. Fac. Agr.*, 2008, vol. 53, no. 1, p. 95-100.
21. Pérez de Vida, F. Aspectos de la ecofisiología del cultivo de arroz en Uruguay: II. Importancia de la fecha de siembra en la productividad. En: Capítulo 8, Ecofisiología del cultivo de arroz. Resultados Experimentales 2009-2010. *Arroz*. 2010. p. 8-12.
22. Cristo, Elizabeth; Díaz, Sandra; Shiraishi, M. y Dhanapala, M. P. Comparación entre las características de crecimiento de las variedades de arroz con diferente origen. *Cultivos Tropicales*, 2009, vol. 30, no. 3, p. 23-27.

Recibido: 14 de julio de 2011

Aceptado: 23 de agosto de 2012

¿Cómo citar?

Díaz Solís, Sandra H.; Cristo Valdés, Elizabeth; Morejón Rivera, Rogelio; Castro Álvarez, Rodolfo; Shiraishi, Masaaki; Dhanappala, Madduma P. y Keisuke, Arai. Análisis de la estructura productiva y comportamiento del rendimiento de cuatro variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) de diferentes orígenes en la prefectura de Ibaraki, Japón. *Cultivos Tropicales*, 2013, vol. 34, no. 1, p. 42-50.