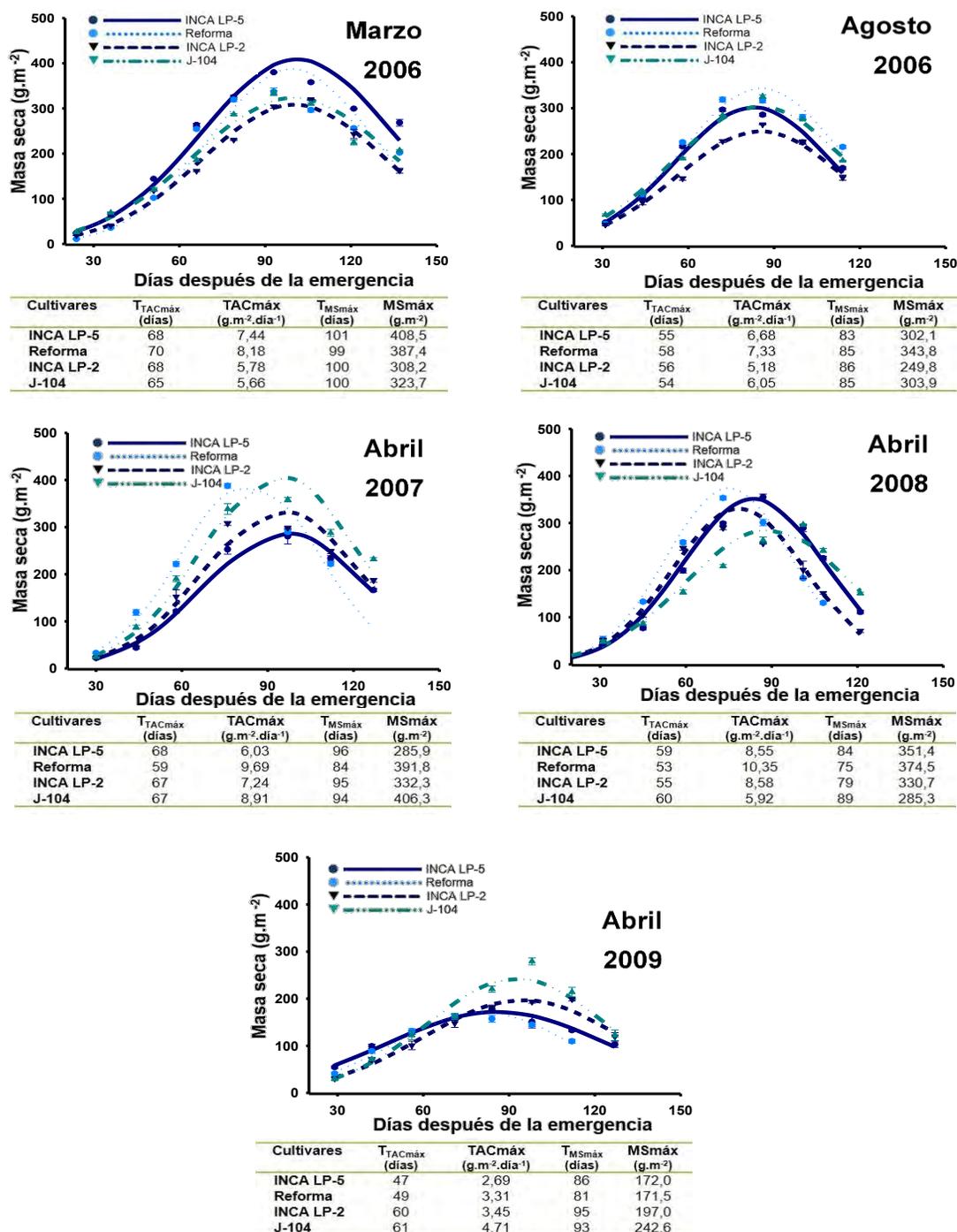


**Figura 12.** Dinámicas estimadas de la masa seca de hojas (g.m<sup>-2</sup>) de plantas de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en diferentes fechas de siembra en la época “poco lluviosa” y variables derivadas de las mismas. T<sub>TACmáx</sub>: tiempo en el que se alcanza la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento; TACmáx: valor de la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento; T<sub>MSmáx</sub>: tiempo en el que se alcanza el valor máximo de Masa Seca; MSmáx: valor máximo de la Masa Seca.



**Figura 13.** Dinámicas estimadas de la masa seca de hojas ( $\text{g.m}^{-2}$ ) de plantas de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en diferentes fechas de siembra en la época “lluviosa” y variables derivadas de las mismas.  $T_{TACmáx}$ : tiempo en el que se alcanza la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento;  $T_{ACmáx}$ : valor de la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento;  $T_{MSmáx}$ : tiempo en el que se alcanza el valor máximo de Masa Seca;  $MSmáx$ : valor máximo de la Masa Seca.

máximo alcanzado por la variable, como en los momentos en el que se logró el mismo.

En la acumulación de masa seca de los tallos para todos los cultivares en la época “poco lluviosa” (Figura 10), se destaca, que el valor máximo, se alcanzó en un período de tiempo entre 107 y 134 días después de la emergencia (dde). En el caso de la época “lluviosa” (Figura 11) esta acumulación de masa seca se logró en un período de tiempo entre 85 y 112 dde. Estos momentos en los que se alcanzan las máximas magnitudes de las variables, que indican el cese del crecimiento, se presentan de manera general en la fase reproductiva.

La masa seca de las hojas (Figuras 12 y 13) aumentó hasta un período de tiempo entre los 99 y 128 y entre los 75 y 101 dde, en la época “poco lluviosa” y “lluviosa”, respectivamente. Se destaca que no se aprecian diferencias en los valores entre cultivares de diferentes ciclos y se observó una influencia marcada de las fechas de siembra en la acumulación de masa seca de hojas de las plantas. Al igual que para los tallos, estos valores se alcanzaron en la fase reproductiva.

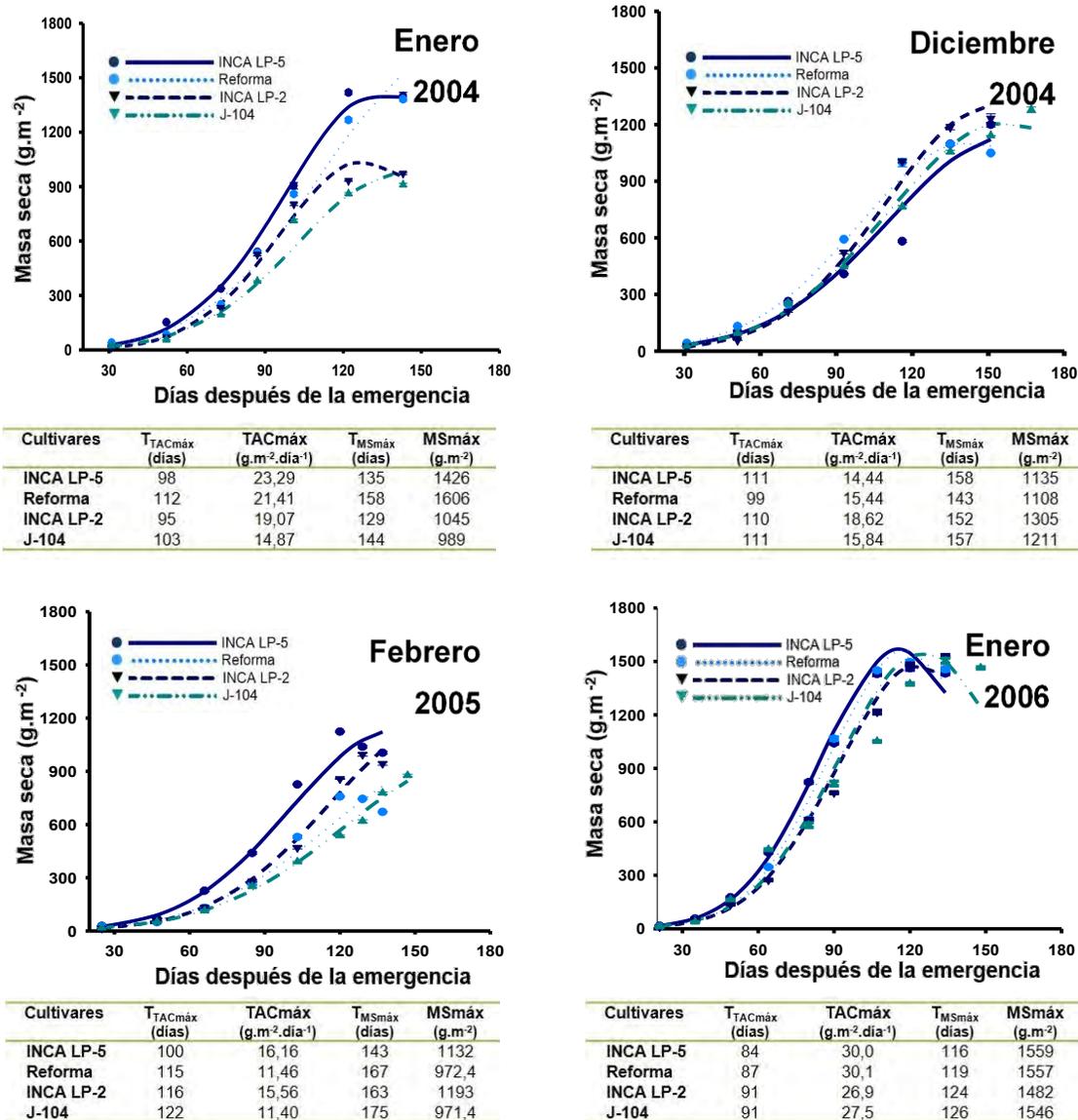
Los momentos en el que se alcanzaron las TAC máximas en estas variables en la época “poco lluviosa” se encontraron entre 80 a 97 días para los tallos (Figura 10) y 70 y 87 días para las hojas (Figura 12); en la época “lluviosa”, los valores para los tallos se obtuvieron entre 60 y 76 días (Figura 11) y entre 47 y 68 días para las hojas (Figura 13). Para todos los casos, este momento coincide con las etapas finales de la fase vegetativa, por lo que la máxima velocidad de crecimiento se alcanza durante el periodo de ahijamiento en el cultivo. Las fechas de siembra mostraron su influencia en esta variable, sobre todo en los valores máximos para ambos órganos.

Además, es posible resaltar que las hojas de la planta alcanzan la máxima acumulación de masa seca antes que los tallos, los que siguen acumulando por un período relativamente mayor; tal comportamiento apunta a estos últimos como órgano de reserva de fotoasimilados, que puede cumplir funciones fisiológicas en momentos cruciales del desarrollo del vegetal.

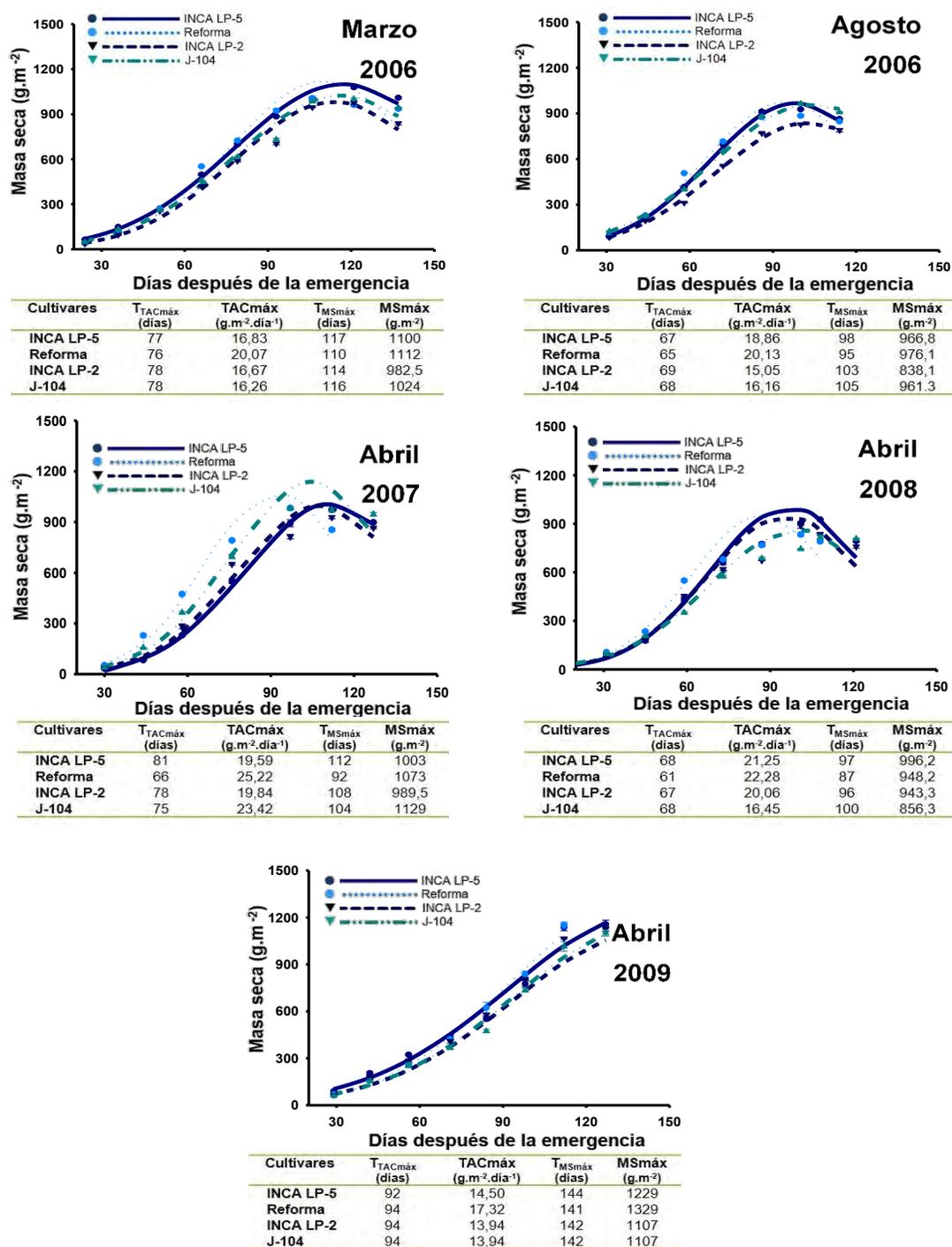
La variación de la masa seca de la parte aérea (tallos, hojas y espiga) en las dos épocas de siembra, siguió el curso de los órganos individuales (en lo fundamental tallos y hojas). Se apreció un aumento de la variable hasta las etapas finales del crecimiento (Figuras 14 y 15). Los máximos de la variable se encontraron entre los 116 y 175 días después de la emergencia (dde), para la época “poco lluviosa” (Figura 14), y 87 y 144 dde, para la época “lluviosa” (Figura 15), lo que coincide con la fase de maduración, con valores que oscilaron entre 900 y 1600 g.m<sup>-2</sup>. En las fechas de siembra de febrero del 2005 y de abril del 2009, para todos los cultivares, las plantas no lograron en la realidad alcanzar el estadio en que mostraran el máximo crecimiento en masa seca.

En relación con el aspecto anterior, se puede pensar que existió alguna limitante para el desarrollo de las plantas en estas fechas, como la reducción de la disponibilidad de radiación en las etapas posteriores a la antesis o aumentos de temperatura que provocan mayores pérdidas por respiración y fotorespiración, que no les permitió expresar su máximo desarrollo.

La acumulación de biomasa están dadas por el balance del metabolismo del carbono, atendiendo a que el arroz una planta de tipo C<sub>3</sub> donde las pérdidas por respiración y fotorespiración son mayores en comparación con plantas de tipo C<sub>4</sub>,



**Figura 14.** Dinámicas estimadas de la masa seca de la parte aérea (g.m<sup>-2</sup>) de plantas de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en diferentes fechas de siembra en la época “poco lluviosa” y variables derivadas de las mismas. T<sub>TACmáx</sub>: tiempo en el que se alcanza la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento; TACmáx: valor de la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento; T<sub>MSmáx</sub>: tiempo en el que se alcanza el valor máximo de Masa Seca; MSmáx: valor máximo de la Masa Seca.



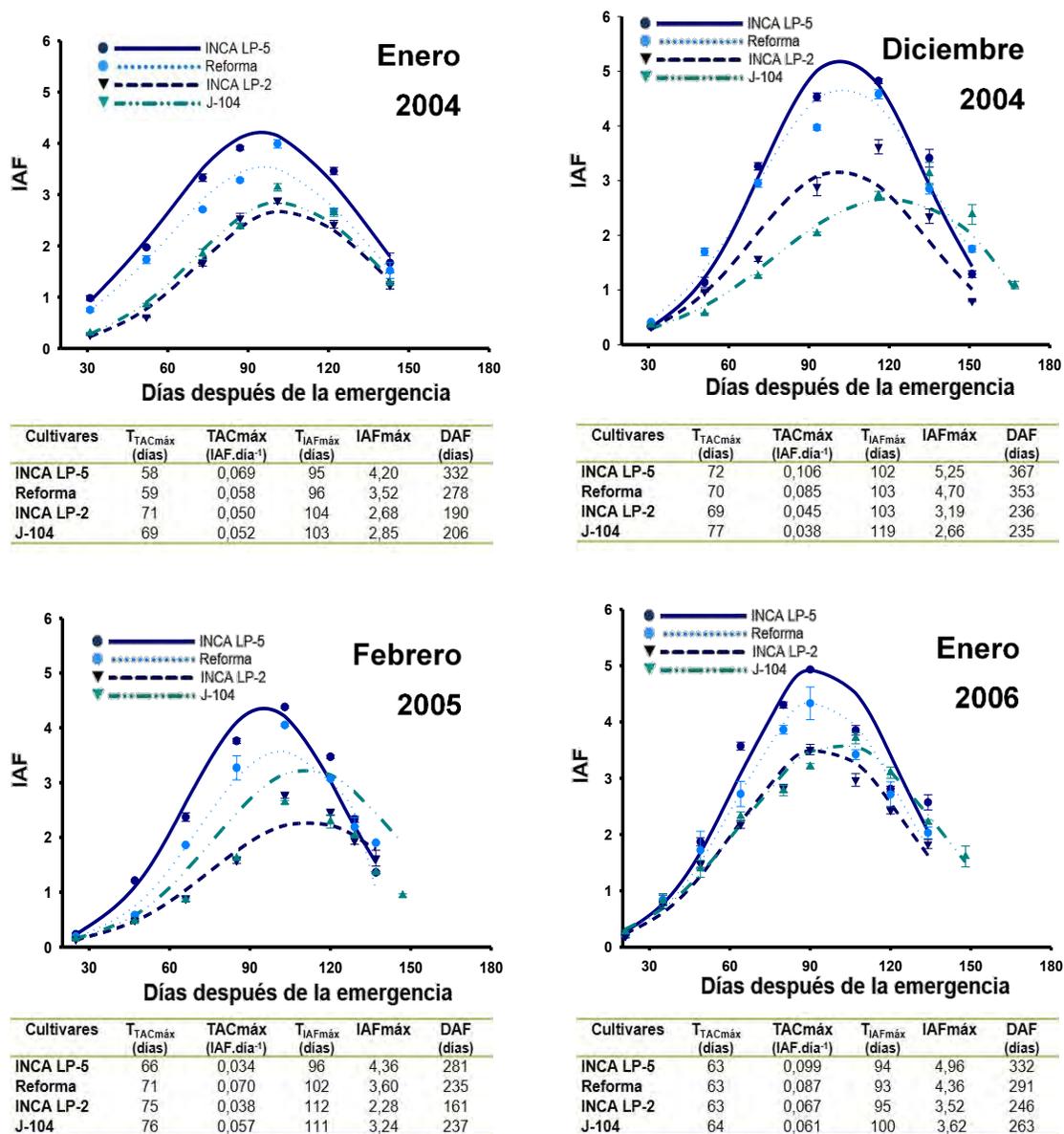
**Figura 15.** Dinámicas estimadas de la masa seca de la parte aérea ( $\text{g.m}^{-2}$ ) de plantas de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en diferentes fechas de siembra en la época “lluviosa” y variables derivadas de las mismas. T<sub>TACmáx</sub>: tiempo en el que se alcanza la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento; TACmáx: valor de la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento; T<sub>MS máx</sub>: tiempo en el que se alcanza el valor máximo de Masa Seca; MS máx: Valor máximo de la Masa Seca.

principalmente cuando aumenta la temperatura del aire (Gowik y Westhoff, 2011; Evans, 2013). Todo lo anterior, puede causar limitaciones en el crecimiento de la planta, sobre todo cuando el número y tamaño de las hojas, y por tanto la superficie foliar por planta, presentan limitaciones que conllevan a una menor intercepción de la radiación, lo cual disminuye la actividad fotosintética por planta. En tal sentido, en trabajos realizados con el cultivo de trigo, se destaca que las variaciones en la eficiencia del uso de la radiación trae como resultado variaciones en la productividad biológica del cultivo (Parry *et al.*, 2011).

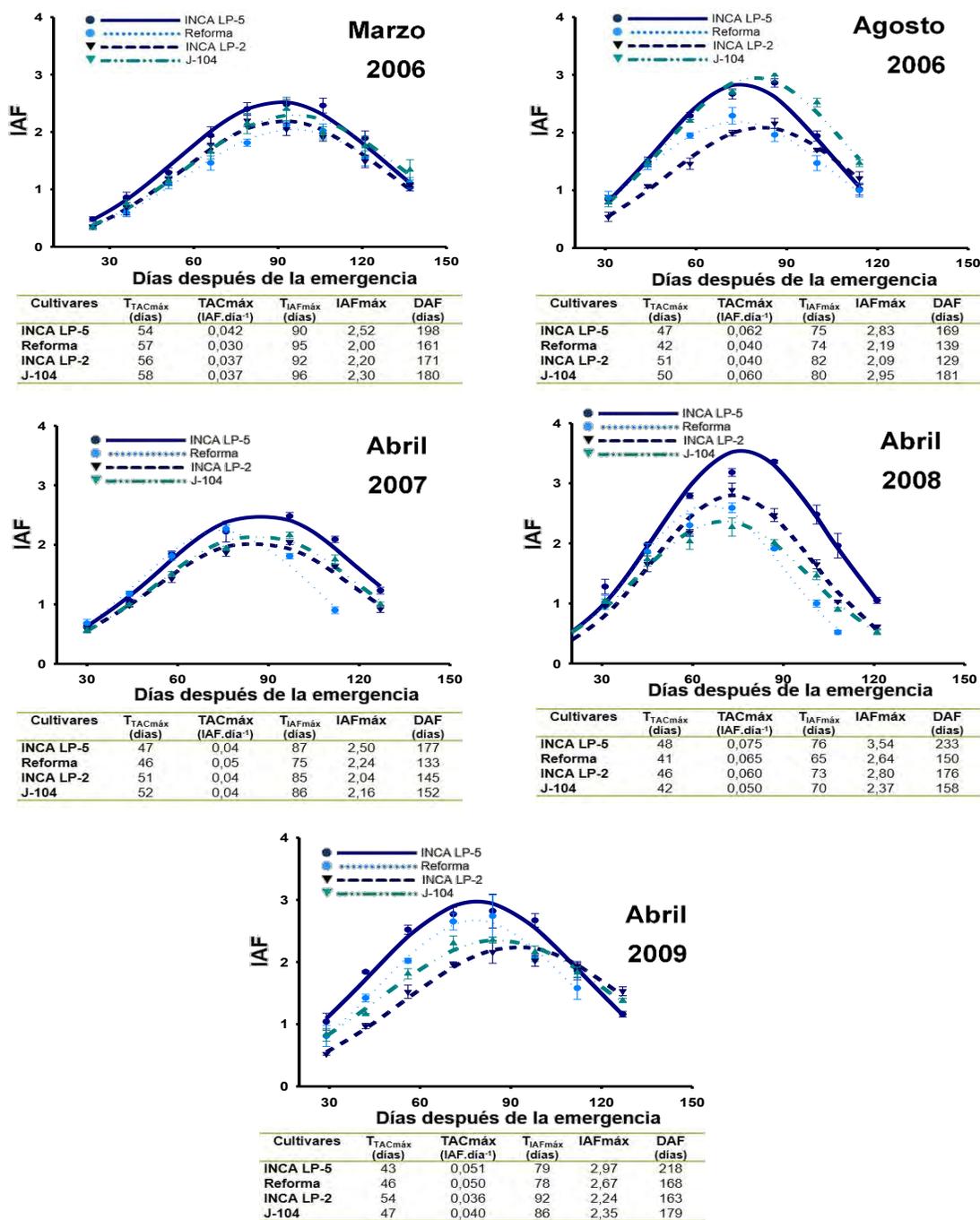
Por otra parte, el que la máxima acumulación de biomasa en estos órganos se haya extendido hasta las fases finales del desarrollo y su variabilidad, se encuentra asociada a las variaciones en el comportamiento de las condiciones ambientales, fundamentalmente la temperatura del aire (Xiao *et al.*, 2007; Soto *et al.*, 2009; Hernández y Soto, 2012 b) y apuntan a la posible relación con la limitación para obtener mayores rendimientos agrícolas.

La variación del IAF con la edad del cultivo en las diferentes fechas de siembra se aprecia en las figuras 16 y 17. De forma general, el comportamiento del IAF mostró una tendencia al incremento desde el inicio del ciclo de crecimiento hasta llegar a un valor máximo y disminuir posteriormente, como consecuencia de la senescencia de gran parte del follaje y de una posible traslocación de fotoasimilados hacia la espiga en desarrollo (Nargis *et al.*, 2011).

En la época “poco lluviosa” (Figura 16), el IAF aumentó hasta un período de 93 a 112 dde momento que coincide con la fase reproductiva. Las magnitudes más altas de esta variable se lograron en las siembras de diciembre del 2004 para los



**Figura 16.** Dinámicas estimadas del Índice de Área Foliar (IAF) de plantas de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en diferentes fechas de siembra en la época “poco lluviosa” y variables derivadas de las mismas. T<sub>TACmáx</sub>: tiempo en el que se alcanza la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento; TACmáx: valor de la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento; T<sub>IAFmáx</sub>: tiempo en el que se alcanza el valor máximo del IAF; IAFmáx: valor máximo del IAF; DAF: Duración del Área Foliar.



**Figura 17.** Dinámicas estimadas del Índice de Área Foliar (IAF) de plantas de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en diferentes fechas de siembra en la época “lluviosa” y variables derivadas de las mismas. T<sub>TACmáx</sub>: tiempo en el que se alcanza la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento; TAC<sub>máx</sub>: valor de la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento; T<sub>IAFmáx</sub>: tiempo en el que se alcanza el valor máximo del IAF; IAF<sub>máx</sub>: valor máximo del IAF; DAF: Duración del Área Foliar.

cultivares INCA LP-5 y Reforma, con valores de 5,25 y 4,70, respectivamente. Mientras que para los cultivares INCA LP-2 y J-104, el valor máximo se alcanzó en enero 2006 con, 3,52 y 3,62, respectivamente. Los cultivares de ciclo corto presentaron mayores valores que los de ciclo medio en cada una de las fechas de siembra.

En la época “lluviosa” los valores máximos de esta variable se encontraron entre 2 y 3,5 (Figura 17) y no se apreció una diferencia entre cultivares de ciclos diferentes, como en la época de siembra anterior, lográndose estos entre 73 y 96 dde. En todos los casos los mayores valores de IAF también se alcanzaron en la fase reproductiva con la excepción de los cultivares INCA LP-2 y J-104, en la fecha de abril 2008 que lo alcanzaron a finales de la fase vegetativa.

Los más altos valores alcanzados de IAF por los cultivares de ciclo corto en la época “poco lluviosa”, se corresponden con los mayores rendimientos obtenidos por esos cultivares en dicha época. Esto evidencia la importancia de esta variable y su relación con el rendimiento, aspecto que ha sido resaltado en otras investigaciones en el cultivo del arroz (Maqueira *et al.*, 2014).

Las diferencias en los momentos de lograr los valores máximos de IAF entre épocas de siembra, se relacionan con el hecho de que en la época “lluviosa” la tasa de crecimiento del arroz se incrementa linealmente con la temperatura respecto a la “poco lluviosa”, donde el crecimiento del cultivo es más lento, atendiendo a que es la temperatura una variable principal en la regulación del desarrollo del cultivo (Moradpour *et al.*, 2013), sin embargo, los valores máximos resultaron menores, de manera general.

Algunos autores, al estudiar la influencia de la altura del rebrote en plantas de arroz, utilizando los cultivares INCA LP-5 y J-104, han obtenido un mejor comportamiento de este índice en cultivares de ciclo corto respecto a los de ciclo medio (Chapman, 2009; Polón *et al*, 2003; 2006). Por lo general, las plantas sembradas en la época “poco lluviosa” presentaron mayores valores que las sembradas en la época “lluviosa” con valores informados entre 6 y 8; resultados muy superiores a los encontrados en este trabajo. En este sentido, hay que destacar que las condiciones de cultivo fueron muy diferentes a las del presente trabajo, y que en el cultivo del rebrote se logra un mayor número de tallos por m<sup>2</sup> ya que con esta tecnología se estimula el ahijamiento a partir de los tallos primarios y secundarios de la cosecha anterior.

López (1991) señala que la literatura es bastante contradictoria en cuanto a los valores óptimos de IAF para obtener elevados rendimientos, aunque de manera general se considera que los superiores a 4 son adecuados para alcanzar rendimientos más allá de las 5 t.ha<sup>-1</sup>

Valores elevados del IAF pueden provocar una mayor intercepción de la radiación luminosa por unidad de área cultivada y aumentar así la asimilación del carbono por unidad de superficie cubierta por el cultivo, lo que conllevaría a lograr altos rendimientos. De esta forma, en estudios realizados por Shimabuku *et al*. 1980, citado por Torres, (1991), se encontró una relación positiva y significativa entre la máxima eficiencia de utilización de la energía solar y el IAF. No obstante, estos autores obtuvieron una óptima eficiencia en la utilización de la energía solar con un

IAF máximo de alrededor de 5 y una disminución de ésta con valores de IAF superiores.

En tal sentido, se destaca que en el análisis de la eficiencia en la interceptación de la radiación luminosa no sólo se debe prestar atención a lograr altos valores del IAF, ya que resulta de fundamental importancia la disposición que presentan las láminas foliares en relación con el tallo. Por otra parte, otros autores apuntan a que una excesiva producción de área foliar promovida por el ahijamiento podría ser la causa de una reducción del rendimiento potencial por el incremento del sombreado mutuo (San-oh *et al.*, 2004).

Importante para lograr el máximo aprovechamiento de la radiación luminosa disponible no resulta sólo la magnitud máxima del IAF y el ángulo de inserción de las láminas foliares en relación con el tallo, sino también la permanencia de los valores del IAF durante el desarrollo de la planta.

La DAF ha demostrado ser un criterio valioso para identificar genotipos productivos en muchos cultivos, incluyendo el arroz. Teniendo en cuenta los resultados del presente trabajo se puede precisar que, en la época “poco lluviosa” este indicador mostró un comportamiento similar al que se alcanzó con el IAF máximo de las plantas (Figura 16). Los mayores valores se obtuvieron en los meses de diciembre del 2004 y enero del 2006.

En la época “lluviosa”, se observó una mayor influencia de las fechas de siembra sobre la DAF que lo alcanzado para el IAF máximo (Figura 17). Es de precisar que en todas las fechas de siembra, excepto en agosto 2006, el cultivar INCA LP-5 obtuvo los mayores valores. Esto resulta una característica importante del cultivar

que favorece la obtención de los mejores rendimientos, en las dos épocas de siembra. Los cultivares que logran mantener sus hojas activas durante mayor número de días, aportan una mayor cantidad de fotoasimilados para el crecimiento de la planta y resultan más productivas en comparación con las plantas de aquellos cultivares que su follaje activo dura un menor número de días. Esto es producto a que estas últimas, deben mantener durante un determinado tiempo esas hojas cuya actividad fotosintética cada día es menor; proporcionando mayores gastos por la respiración para el mantenimiento de las mismas, lo que implica un costo biológico que repercute negativamente en el rendimiento.

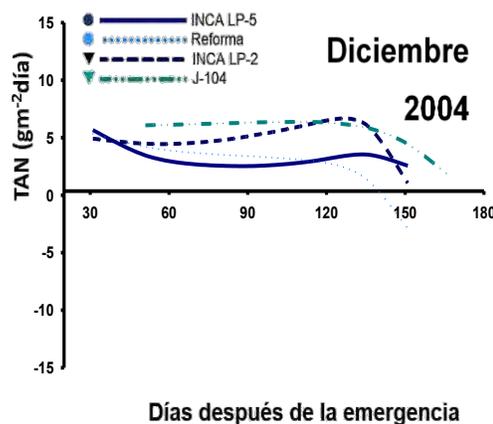
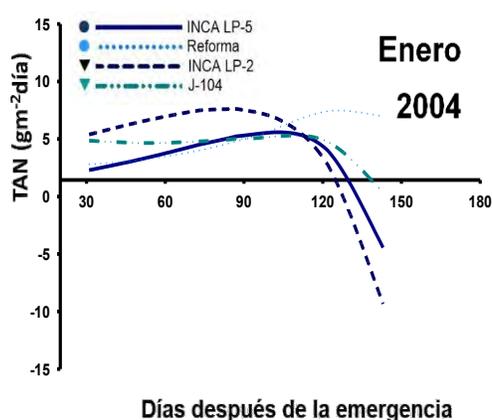
La dinámica de la TAN, para los distintos cultivares en cada fecha de siembra, se aprecia en las figuras 18 y 19, donde se presentan valores de este índice calculados en diferentes momentos de crecimiento. En ambas épocas, se nota una diferencia en el comportamiento de este indicador de crecimiento, en función de las fechas de siembra. En la mayoría de los casos los valores aumentan hasta un máximo para posteriormente disminuir. En la época “poco lluviosa” aproximadamente en el 40 % de los tratamientos, la TAN llega a alcanzar valores negativos en las etapas finales de crecimiento. En la época “lluviosa” esto ocurre en 80% de las fechas de siembra, excepto en la de abril del 2009, donde los valores se mantienen sin grandes variaciones durante todo el desarrollo. Las variaciones de la TAN están dadas por una disminución en el proceso de traslocación, un aumento de la edad media de las hojas y una mayor carga respiratoria por el aumento de tejido no fotosintético. La disminución de la TAN después de alcanzar el máximo valor, indica que la capacidad fotosintética del follaje tiende a disminuir continuamente con el crecimiento y

expansión del área foliar y puede cesar en el momento en el que las plantas alcanzan su máxima área foliar, lo cual ocasiona que la respiración tienda a ser más intensa que la fotosíntesis.

En cuanto al incremento en las primeras fases de crecimiento es posible resaltar que puede estar relacionado con la mayor eficiencia de las plantas en el uso de la radiación aun con la presencia del incremento de la superficie foliar. Se destacan en este comportamiento general, las fechas de diciembre del 2004, febrero del 2005 y abril del 2009, con bajas eficiencias al inicio del desarrollo del cultivo (Figuras 18 y 19).

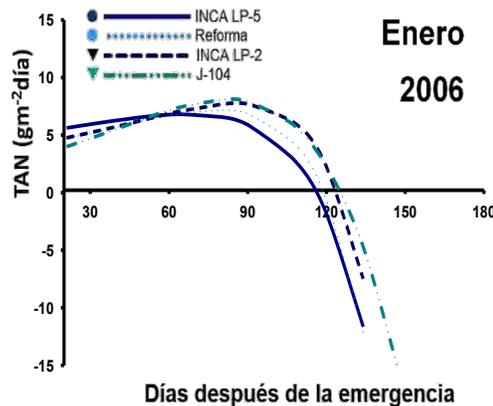
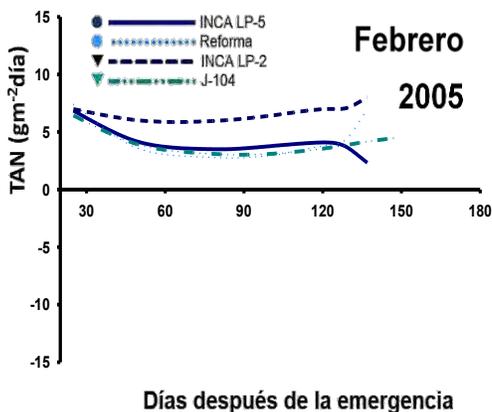
En tal sentido Hernández y Soto (2012 a), destacan que la mayor eficiencia en el uso de la radiación conlleva a valores máximos elevados en la TAN. Resultados similares habían sido obtenidos por Morales *et al.* (2006), en investigaciones realizadas sobre la influencia de la radiación solar en la producción de semilla de papa, donde una menor radiación disminuyó la eficiencia fotosintética de la planta, lo que repercutió directamente en la biomasa del vástago y del tubérculo. Torres (1989) destaca que la TAN se encuentra positivamente relacionada con la intensidad luminosa, dentro de los límites naturales; por tanto, la velocidad de fotosíntesis está directamente ligada a la radiación dentro de ciertos límites y un aumento de ésta puede proporcionar una mayor disponibilidad de fotosintatos para el crecimiento.

En estudios realizados por Jarma *et al.* (2006), se demuestra que cada especie responde de manera particular a los estímulos de radiación que recibe del ambiente. Estas respuestas resultan diferentes dentro de una misma especie, en diversas etapas fisiológicas del desarrollo. Se asegura además, que los valores máximos de la



CULTIVARES	T	TAN	T	TAN	T	TAN
	TAC máx MST	TAC máxMST	IAF máx	IAF máx	TAC máxIAF	TAC máxIAF
INCA LP-5	98	5,56	58	3,64	95	5,50
Reforma	112	6,68	59	3,34	96	5,42
INCA LP-2	95	7,36	71	7,43	104	6,61
J-104	103	5,21	69	4,70	103	5,21

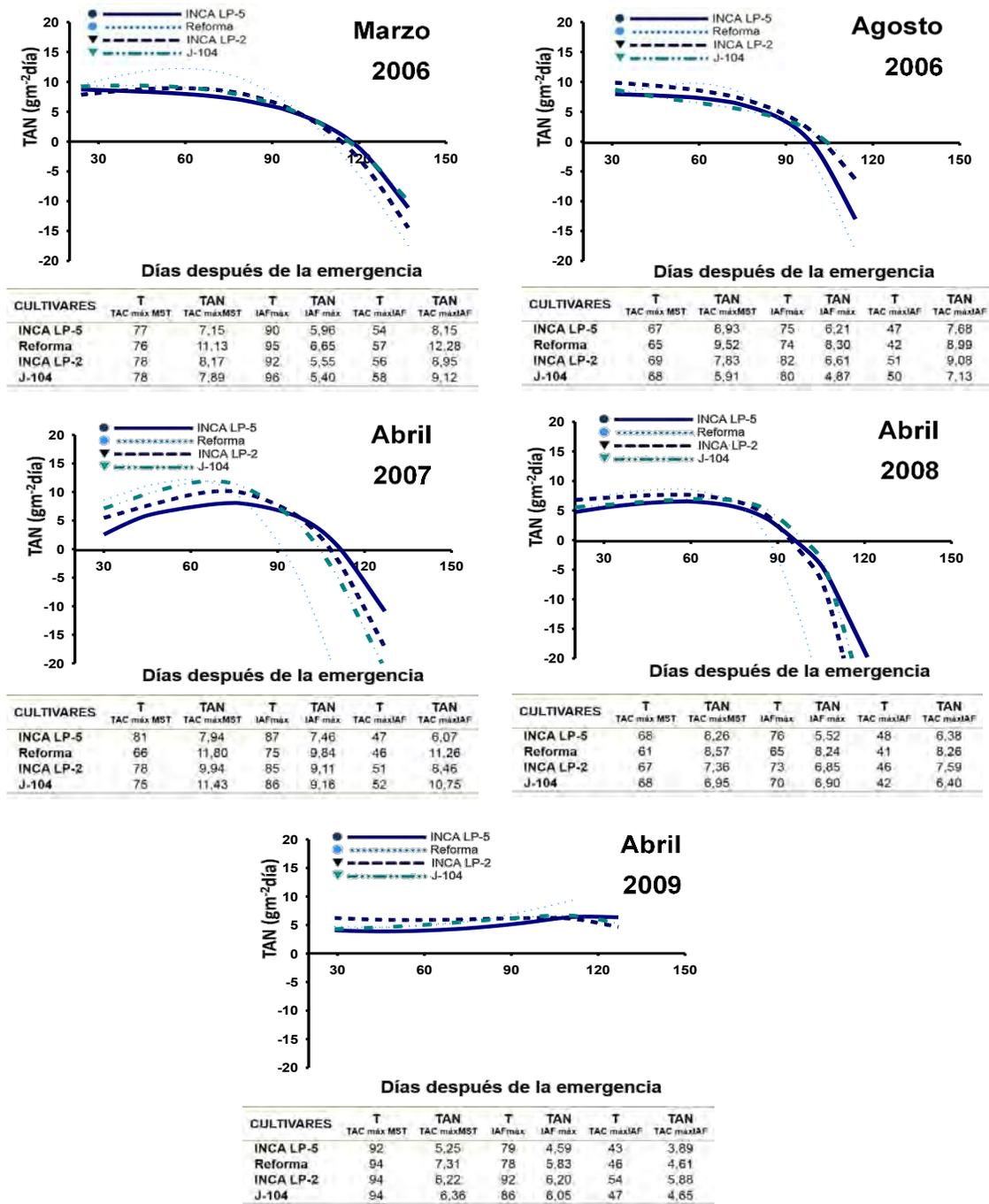
CULTIVARES	T	TAN	T	TAN	T	TAN
	TAC máx MST	TAC máxMST	IAF máx	IAF máx	TAC máxIAF	TAC máxIAF
INCA LP-5	111	2,86	72	2,64	102	2,66
Reforma	99	3,31	70	3,68	103	3,25
INCA LP-2	110	6,03	69	4,55	103	5,69
J-104	111	6,06	77	6,36	119	5,74



CULTIVARES	T	TAN	T	TAN	T	TAN
	TAC máx MST	TAC máxMST	IAF máx	IAF máx	TAC máxIAF	TAC máxIAF
INCA LP-5	100	3,76	66	3,59	96	3,67
Reforma	115	3,51	71	2,81	102	3,00
INCA LP-2	116	6,26	75	5,90	112	6,25
J-104	112	3,61	76	3,08	111	3,30

CULTIVARES	T	TAN	T	TAN	T	TAN
	TAC máx MST	TAC máxMST	IAF máx	IAF máx	TAC máxIAF	TAC máxIAF
INCA LP-5	84	6,36	63	6,80	94	5,45
Reforma	87	7,03	63	6,82	93	6,65
INCA LP-2	91	7,67	63	7,01	95	7,51
J-104	91	7,87	64	7,41	100	7,09

**Figura 18.** Dinámicas estimadas de la Tasa de Asimilación Neta (TAN) de plantas de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en diferentes fechas de siembra en la época “poco lluviosa” y variables derivadas de las mismas.  $T_{TACmáxMST}$ : tiempo en el que se alcanza la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento de la masa seca de la parte aérea;  $TAN_{TACmáxMST}$ : Tasa de Asimilación Neta en el tiempo en el que se alcanza la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento de la masa seca de la parte aérea;  $T_{IAFmáx}$ : tiempo en el que se alcanza el máximo IAF;  $TAN_{TIAFmáx}$ : Tasa de Asimilación Neta en el tiempo de máximo IAF;  $T_{TACmáxIAF}$ : tiempo en el que se alcanza el máximo de la Tasa Absoluta de Crecimiento del IAF;  $TANTACmáxIAF$ : Tasa de Asimilación Neta en el tiempo de máxima Tasa Absoluta de Crecimiento del IAF.



**Figura 19.** Dinámicas estimadas de la Tasa de Asimilación Neta (TAN) de plantas de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en diferentes fechas de siembra en la época “lluviosa” y variables derivadas de las mismas.  $T_{TAC\acute{m}\acute{a}xMST}$ : tiempo en el que se alcanza la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento de la masa seca de la parte aérea;  $TAN_{TAC\acute{m}\acute{a}xMST}$ : Tasa de Asimilación Neta en el tiempo en el que se alcanza la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento de la masa seca de la parte aérea;  $T_{IAF\acute{m}\acute{a}x}$ : tiempo en el que se alcanza el máximo IAF;  $TAN_{TIAF\acute{m}\acute{a}x}$ : Tasa de Asimilación Neta en el tiempo de máximo IAF;  $T_{TAC\acute{m}\acute{a}xIAF}$ : tiempo en el que se alcanza el máximo de la Tasa Absoluta de Crecimiento del IAF;  $TAN_{TAC\acute{m}\acute{a}xIAF}$ : Tasa de Asimilación Neta en el tiempo de máxima Tasa Absoluta de Crecimiento del IAF.

TAN implican mayor producción de masa seca por unidad de área foliar y por unidad de tiempo.

En este sentido, en trabajos realizados con maíz bajo condiciones óptimas de crecimiento, las diferencias observadas en la acumulación de biomasa entre las fechas de siembra se atribuyen, a variaciones en la eficiencia del uso de la radiación, debido a las diferencias en el desarrollo del área foliar (Lindquist *et al.*, 2005).

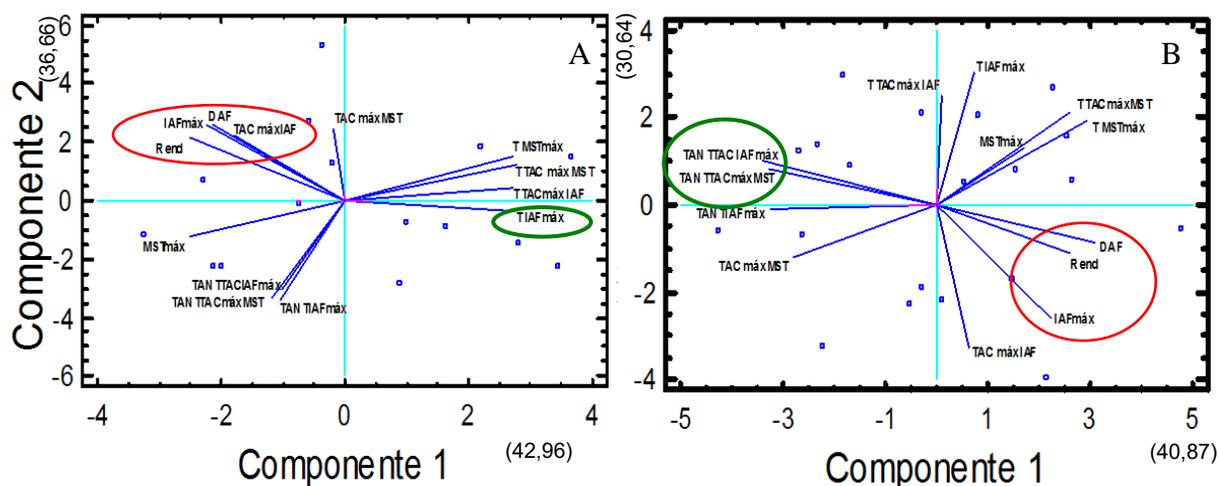
Resulta importante destacar el aumento de los valores de la TAN en las etapas finales de crecimiento para los cultivares INCA LP-2 y J-104 en la fecha de febrero 2005 y para el cultivar Reforma en la fecha de abril 2009.

Esto puede estar dado por la fuerza que ejercen los sitios de consumo (los granos) sobre la fuente, aun cuando el área foliar se encuentre disminuyendo. Lo cual provoca un aumento de la actividad fotosintética de las plantas y como resultado, un balance positivo entre los procesos de fotosíntesis y respiración y fotorespiración, en una etapa donde la respiración de mantenimiento es superior a la de crecimiento.

### **4.3.2. Dependencia del rendimiento del crecimiento del cultivo.**

La representación gráfica del análisis de componentes principales realizado para el comportamiento de los cultivares en las diferentes fechas de siembra, frente a las variables fisiológicas del crecimiento, tanto para la época “poco lluviosa” como para la “lluviosa”, se aprecian en la figura 20.

Al tener en cuenta el grado de asociación entre las variables, para la época “poco lluviosa” (Figura 20 A), la mejor asociación positiva con el rendimiento la presentaron, el valor del Índice de Área Foliar máximo (IAF<sub>máx</sub>), la Duración del Área Foliar (DAF) y el valor de la máxima Tasa Absoluta de Crecimiento del IAF (TAC<sub>máx</sub> IAF),



**Figura 20.** Asociación del rendimiento agrícola con las variables derivadas de las dinámicas estimadas del crecimiento a partir del análisis de componentes principales representados por un Biplot en las épocas “poco lluviosa” (A) y “lluviosa” (B). Contribución porcentual de cada componente, época “poco lluviosa” n=16, Época “lluviosa” n=20. T<sub>MSTmáx</sub>: momento en el que se alcanza el punto de máxima masa seca total (días). MSTmáx: valor de la masa seca total en el punto de máxima (g.m<sup>-2</sup>). T<sub>TACmáxMST</sub>: momento en el que se alcanza Tasa Absoluta de Crecimiento de la masa seca total en el punto de máxima (días). TACmáxMST: valor de de la Tasa Absoluta de Crecimiento de la masa seca total en el punto de máxima (g.días). T<sub>IAFmáx</sub>: momento en el que se alcanza el punto de máximo Índice de Área Foliar (días). IAFmáx: valor del Índice de Área Foliar en el punto máximo. T<sub>TACmáxIAF</sub>: momento en el que se alcanza el punto de máxima Tasa Absoluta de Crecimiento del Índice de Área Foliar (días). TACmáxIAF: valor de la Tasa Absoluta de Crecimiento del Índice de Área Foliar en el punto de máxima (g.días). DAF: Duración del Área Foliar (IAFdías). Rend.: Rendimiento (t.ha<sup>-1</sup>). TAN TACmáxMST: valor de la Tasa de Asimilación Neta en el punto de máxima Tasa Absoluta de Crecimiento de la masa seca total (g.m<sup>2</sup>.días). TAN IAFmáx: valor de la Tasa de Asimilación Neta en el punto de máximo IAF (g.m<sup>2</sup>.días). TAN TACmáxIAF: valor de la Tasa de Asimilación Neta en el punto de máxima Tasa Absoluta de Crecimiento del IAF (g.m<sup>2</sup>.días).

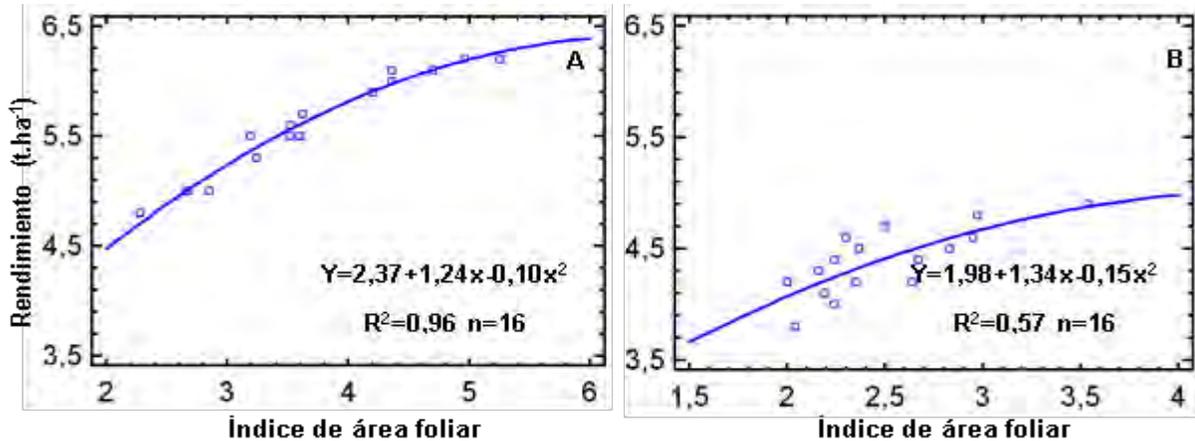
aspectos lógicos atendiendo al papel que juegan estas variables fisiológicas en la formación del rendimiento. En esta época, se presentó una relación negativa con el momento de alcanzar el máximo del IAF (T IAFmáx), lo que significa que a medida que se alcance el valor del máximo IAF en etapas más tempranas del desarrollo de la planta; mayor será el rendimiento, el valor de IAFmáx, la DAF y la TACmáx IAF. Esto evidencia la necesidad de lograr un rápido crecimiento del IAF y mayor duración de la misma para obtener plantas más eficientes.

A partir de estos resultados se puede enfatizar que, en la época “poco lluviosa” se obtendrán mayores rendimientos cuando se alcancen altos valores de IAF, DAF y la TACmáx IAF y que estos se logren en momentos más tempranos del desarrollo. Para el caso de la época “lluviosa” (Figura 20 B), la mejor asociación positiva con el rendimiento la presentaron la DAF y el valor del IAFmáx, resultados lógicos teniendo en cuenta el papel que juegan estas variables en la asimilación del carbono. La explicación para la relación negativa del rendimiento con las TAN es un tanto más compleja.

La TAN es un indicador de la eficiencia de la planta en convertir la energía luminosa en biomasa, a través de su superficie foliar y el balance de los procesos de síntesis y degradación. De la figura 20 B se puede deducir, que en la mayoría de los tratamientos donde se alcanzan bajas TAN en los momentos del desarrollo seleccionados, la permanencia de valores positivos, es superior. Lo anterior permite que la planta se encuentre en condiciones de mayor eficiencia en la acumulación de biomasa durante un mayor período de su desarrollo en la época “lluviosa”.

A partir de los resultados de esta correspondencia positiva del rendimiento con variables del crecimiento primarias, IAF y DAF y de manejo relativamente fácil, se determinó la relación del rendimiento con las mismas (Figuras 21 y 22). En ambas épocas de siembra, el rendimiento se relacionó con el IAF y la DAF, a través de un polinomio de segundo grado, lo que indica la existencia de un valor óptimo, para ambas variables, en que se logra el máximo rendimiento y a partir del cual éste disminuye (Figura 21). Por tanto, bajo las condiciones de estos experimentos, quedó demostrado que en la época “poco lluviosa” con un IAF de alrededor de 4,5 a 5,0 se

lograron rendimientos de 6 t.ha<sup>-1</sup>; sin embargo, con valores de IAF similares en la época “lluviosa”, el rendimiento no sobrepasa las 5 t.ha<sup>-1</sup>.

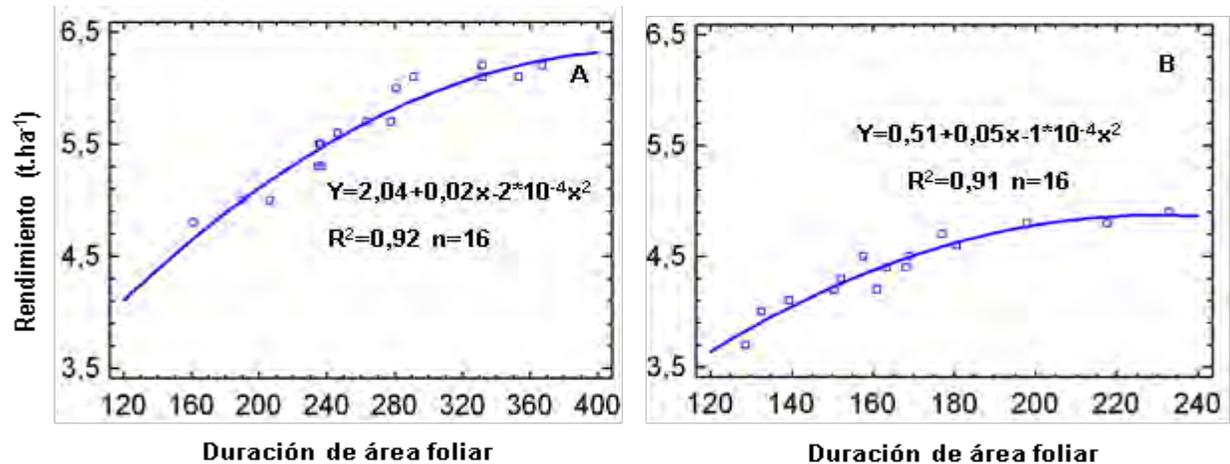


**Figura 21.** Relación del rendimiento agrícola al 14 % de humedad con el Índice de Área Foliar máximo (IAF) de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) desarrollados en diferentes fechas de siembra de la épocas “poco lluviosa” (A) y “lluviosa” (B). Cultivares: INCA LP-5, Reforma, INCA LP-2 y J-104.

La estrecha relación entre el rendimiento y el IAF ha sido resaltada por diferentes autores; los cuales han informado mayores rendimientos con un aumento del IAF (Yamagata 1999; Reddy *et al.*, 2000; Moradpour *et al.*, 2013); mientras que otros plantean, no obtener beneficios en el rendimiento con su aumento (Bashor *et al.*, 1999; Cuevas, 1999). En estudios realizados por López (1991), se plantea que el incremento del IAF en un cultivo debe tener un límite; para un cultivar bajo condiciones de cultivo determinadas, valores de IAF superiores a este límite tienen como resultado una disminución del rendimiento económico del cultivo.

Un comportamiento similar al de las anteriores relaciones con el rendimiento se encontró con la DAF. En la época “poco lluviosa” (Figura 22), se requiere una DAF de 420 IAF.día para lograr rendimientos aproximadamente de 6,3 t.ha<sup>-1</sup>, mientras que

para la “lluviosa” los mejores rendimientos de alrededor de 4,7 t.ha<sup>-1</sup> se logran con una duración de 230 IAF.día.



**Figura 22.** Relación del rendimiento agrícola al 14 % de humedad con la Duración del Área Foliar (DAF) de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) desarrollados en diferentes fechas de siembra de la épocas “poco lluviosa” (A) y “lluviosa” (B). Cultivares: INCA LP-5, Reforma, INCA LP-2 y J-104.

La importancia de la DAF ha sido resaltada por López (1991), quien demostró que la mayor intercepción de la radiación solar durante un largo período de tiempo, generalmente, está relacionada con una mayor producción de masa seca y por ende un mayor rendimiento. También, Escalante (1999) plantea que alcanzar rendimientos máximos estará en relación directa con una fotosíntesis neta máxima, partiendo de que la misma ocurra en un tiempo prolongado.

Algunos autores destacan que los cereales de alto rendimiento se caracterizan por un óptimo desarrollo del aparato fotosintético durante la fase de crecimiento vegetativo y por una alta tasa de producción de masa seca durante la fase de crecimiento reproductivo; lo que depende de un óptimo índice de área foliar, una prolongada actividad foliar y de una alta tasa de fotosíntesis (Xiao *et al.*, 2007; Soto *et al.*, 2009). En resultados alcanzados por

Soto y Hernández (2012), se destaca que el mayor rendimiento en el cultivo del sorgo, estuvo en correspondencia con los valores del IAF y DAF.

#### 4.3.3. Coeficiente Fototérmico y Eficiencia del Uso de la Radiación (EUR).

La tabla 10 muestra la disponibilidad de radiación global que presentaron las plantas de los cuatro cultivares de arroz en cada una de las fechas de siembra, en las diferentes fases fenológicas y para todo el ciclo del cultivo, atendiendo a la radiación real que se presentó y la duración de las fases. De manera general, los valores resultaron diferentes entre fases y fechas, además, la mayor disponibilidad de radiación para todo el ciclo del cultivo se alcanzó en las fechas de siembra de la época “poco lluviosa”, aunque en marzo del 2006 (época “lluviosa”), se lograron valores similares a los obtenidos en la época “poco lluviosa”.

**Tabla 10.** Disponibilidad de radiación solar global (Mj.m<sup>-2</sup>) para cada fase de desarrollo y el ciclo del cultivo de cuatro cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en las diferentes fechas de siembra.

Cultivares	Ene. 2004	Dic. 2004	Feb. 2005	Ene. 2006	Mar. 2006	Agost 2006	Abr. 2007	Abr. 2008	Abr. 2009
<b>Fase vegetativa</b>									
INCA LP-5	1908,4	1542,6	1885,5	1517,2	1477,6	1283,7	1487,9	1568,0	1513,2
Reforma	1909,4	1499,8	1810,7	1517,2	1629,7	1205,9	1402,4	1481,5	1356,4
INCA LP-2	1933,6	1651,1	1997,2	1734,1	2078,7	1430,9	1533,8	1800,8	1766,9
J-104	2125,8	1807,5	2157,7	2086,0	2122,9	1467,8	1692,1	1824,0	2001,4
<b>Fase Reproductiva</b>									
INCA LP-5	893,7	946,6	688,2	895,9	926,8	588,9	645,8	781,4	790,7
Reforma	716,9	818,3	671,5	895,9	797,4	547,8	594,0	750,2	620,7
INCA LP-2	665,5	863,3	706,1	882,5	601,7	514,5	713,6	667,3	675,7
J-104	646,5	972,5	658,0	843,8	650,2	527,2	737,4	737,0	666,2
<b>Fase de Maduración</b>									
INCA LP-5	487,4	509,6	557,5	620,3	890,8	524,8	524,8	621,3	652,9
Reforma	500,9	561,9	559,0	620,3	592,7	661,9	661,9	651,4	734,0
INCA LP-2	582,4	583,4	542,4	617,6	733,3	538,3	538,3	545,4	576,7
J-104	499,4	589,9	496,9	534,6	650,0	531,0	531,0	660,2	543,5
<b>Ciclo del cultivo</b>									
INCA LP-5	3289,5	2998,2	3131,2	3033,4	3295,2	2397,4	2658,5	2970,7	2956,8
Reforma	3127,2	2880,0	3041,2	3033,4	3019,8	2415,6	2658,3	2883,1	2711,1
INCA LP-2	3181,5	3097,8	3245,7	3234,2	3413,7	2483,7	2785,7	3013,5	3019,3
J-104	3271,7	3369,9	3312,6	3464,4	3423,1	2526,0	2960,5	3221,2	3211,1

Suma de radiación solar diaria en los días que duró cada fase fenológica, y la suma de estas para el ciclo del cultivo.

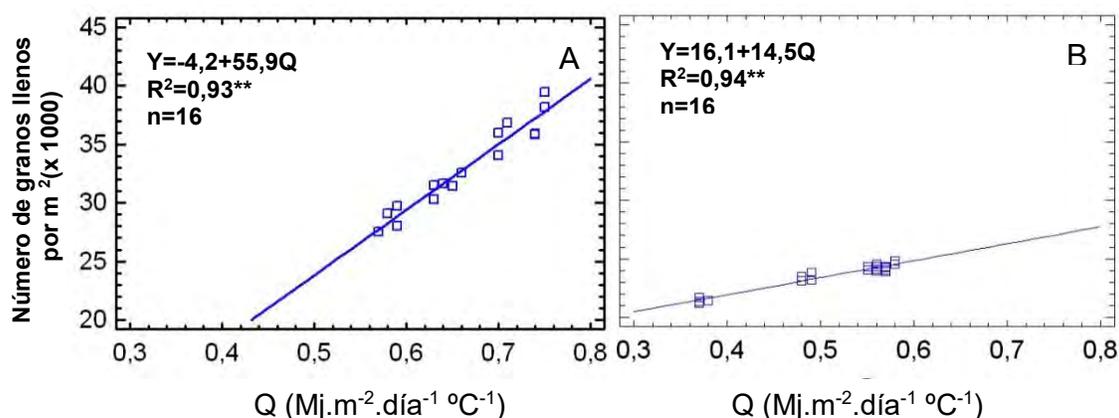
Teniendo en cuenta lo planteado por Quintero (2009), existió una adecuada disponibilidad de radiación para todo el ciclo del cultivo, ya que los valores sobrepasaron los 2500  $\text{Mj.m}^{-2}$ . Según estudios realizados por este autor en Entre Ríos, Argentina, los cultivares de arroz aumentaron su rendimiento agrícola (superior a 8  $\text{t.ha}^{-1}$ ) cuando la disponibilidad de radiación fue de 2800  $\text{Mj.m}^{-2}$  durante todo el ciclo.

Resulta interesante resaltar los valores de disponibilidad de radiación alcanzados durante la fase reproductiva y en menor medida la de maduración en las fechas de siembra de diciembre del 2004 y enero 2006. Lo cual pudo ser motivado por una mayor duración de las fases en estas fechas, provocado por el efecto de la temperatura del aire, como se destacó en el epígrafe 4.2.2. Esta pudo ser una de las causas de los mejores rendimientos alcanzados por los cultivares en esas fechas de siembra, sobre todo si para la época “poco lluviosa”, la mayor asociación con el rendimiento la alcanzó la duración de la fase de maduración (Figura 3).

Si bien los rendimientos agrícolas aumentan con una mayor disponibilidad de radiación durante todo el ciclo, estos pueden elevarse cuando existe mayor disponibilidad de radiación en las últimas fases de desarrollo y sobre todo la reproductiva. Al respecto, Hirai (2008) y Pérez de Vida (2010), resaltan que la fase reproductiva está especialmente influida por la radiación y que es en esta fase donde se declara el período crítico para el efecto de esta variable meteorológica en la planta de arroz, al existir un mayor requerimiento de la misma.

Por otra parte, se encontró una relación lineal, positiva y significativa entre el número de granos llenos por metro cuadrado y el coeficiente fototérmico (Figura 23). La

pendiente de la relación en la época “poco lluviosa” resultó superior en comparación con la “lluviosa”, lo que indica que en la primera por cada unidad de radiación por grado celsius por día, se logra un mayor número de granos llenos por m<sup>2</sup> lo que coloca a la época “poco lluviosa” en ventajas para estos propósitos. Con estos resultados se demuestra una vez más la alta asociación que existe entre la radiación solar y el número de granos llenos por m<sup>2</sup> en el cultivo del arroz, cuando la temperatura por encima de un valor base, acelera el desarrollo del cultivo acortando el período crítico.



**Figura 23:** Relación entre el número de granos llenos por metro cuadrado y el coeficiente fototérmico (Q) de cuatro cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en diferentes fechas de siembra en las épocas “poco lluviosa” (A) y “lluviosa” (B). Cultivares: INCA LP-5, Reforma, INCA LP-2 y J-104.

Fisher (1985) resalta la importancia de este coeficiente para valorar las condiciones de crecimiento en trigo, ya que el mismo representa la relación existente entre la radiación efectiva diaria en superficie y la temperatura media diaria. Lo cual proporciona una medida del potencial de crecimiento por unidad de tiempo térmico de desarrollo en el cultivo. Este índice ha sido utilizado de manera eficiente, con el fin de predecir los granos llenos por m<sup>2</sup> en trabajos realizados con trigo

(Lázaro *et al.*, 2010). En este sentido se logra por primera vez en el país esta relación para el cultivo del arroz, la que puede ser empleada a escala local para predecir este importante componente del rendimiento, a partir de mediciones de la temperatura y la radiación global.

En cuanto a la relación de la radiación disponible para el desarrollo del cultivo y el rendimiento, un aspecto a tener en cuenta es la capacidad de intercepción de ésta por la superficie foliar de la comunidad de plantas que ocupa una determinada superficie de suelo. Atendiendo al máximo de los valores de IAF estimados (epígrafe 4.3.1) para cada cultivar en función de la época de siembra y las consideraciones de Boschetti *et al.* (2006). Es posible señalar que en la época “poco lluviosa” (Tabla 11) se intercepta entre el 79 y 91 % de la radiación disponible y en la “lluviosa” entre el 70 y el 80 % de la misma. Los valores de IAF máximos estimados en los diferentes tratamientos del presente estudio (Figuras 16 y 17), están por debajo de los necesarios para la intercepción del 95 % de la radiación solar. Igual situación se presenta para los valores del IAF para obtener los máximos rendimientos (Figura 21), aun cuando la situación es más destacable, para la época “lluviosa” de siembra. En este sentido Gardner *et al.* (1985) destacaron que para cada cultivo se denomina IAF crítico al valor mínimo de IAF que permite interceptar el 95 % de la radiación incidente. Alcanzar el IAF crítico en el menor tiempo posible es un objetivo fundamental de manejo para maximizar la producción de masa seca.

Estos resultados indican que es preciso, a la hora de planificar las actividades de manejo, tener en cuenta las condiciones meteorológicas existentes a escala local y las características del cultivo para así evitar realizar acciones generalizadoras que

puedan impedir una mayor productividad del cultivo, a partir de las condiciones ambientales a las que son expuestos.

**Tabla 11.** Fracción de la radiación incidente interceptada por las plantas de arroz (*Oryza sativa* L.), sembradas en época “poco lluviosa” y “lluviosa”. Calculada teniendo en cuenta lo descrito por Boschetti *et al.* (2006) a partir del mayor IAF máximo estimado para cada cultivar en cada época.

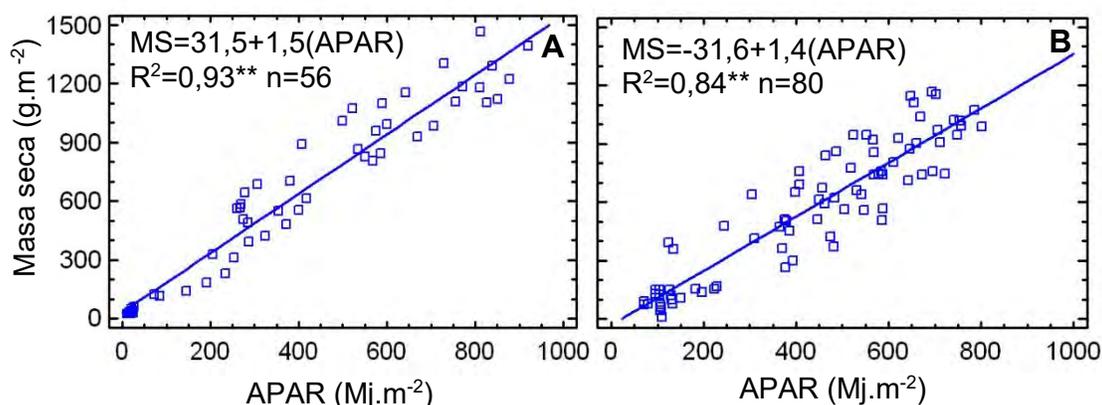
<b>cultivares</b>	<b>Época “poco lluviosa”</b>	<b>Época “lluviosa”</b>
<b>INCA LP-5</b>	0,91	0,80
<b>Reforma</b>	0,88	0,70
<b>INCA LP-2</b>	0,79	0,72
<b>J-104</b>	0,80	0,73

Los aspectos abordados son un aporte de esta tesis, ya que en el país no se han informado estudios similares y constituyen una de las bases para el manejo de cultivares de arroz en las diferentes épocas de siembra. Los valores de IAF en la práctica productiva se pueden regular a partir de diferentes labores fitotécnicas, entre las que se pueden mencionar densidades de siembra, fertilización, características morfológicas del genotipo entre otras. Teniendo en cuenta estos resultados, se resalta que el IAF que alcanzan los cultivares en las diferentes fechas de siembra, puede considerarse uno de los factores que impiden lograr mayores rendimientos. Los valores de IAF obtenidos son inferiores a los estimados como IAF críticos, tanto por su relación con el rendimiento (Figura 21) como para interceptar la mayor cantidad de radiación solar (Tabla 11).

Entre los aspectos importantes para lograr altos rendimientos en el cultivo no es tan solo, la cantidad de radiación incidente, ni la capacidad del mismo para interceptar dicha radiación y su permanencia durante el desarrollo del cultivo, sino también, resulta un aspecto primordial la capacidad que tiene la superficie foliar de convertir la

radiación fotosintéticamente activa en biomasa. Es por ello que un indicador fundamental en este proceso lo constituye la eficiencia de uso de la radiación (EUR), que no es más que la pendiente de la relación lineal que existe entre la producción de biomasa y la radiación fotosintéticamente activa que es absorbida (APAR), cuando el cultivo crece en condiciones adecuadas, sobre todo de agua, nutrientes y sin afectaciones por plagas. La figura 24 muestra la relación de la producción de masa seca de la parte aérea de las plantas y APAR, para la época “poco lluviosa” y “lluviosa”, teniendo en cuenta los cuatro cultivares en estudio y las diferentes fechas de plantación empleadas.

Es importante destacar que la regresión lineal para el rango de valores obtenidos de los cultivares en las dos épocas de siembra fue satisfactoria. A partir de esto, es posible destacar los valores de EUR, donde para la época “poco lluviosa”, los cultivares producen 1,5 g de masa seca por cada  $Mj.m^{-2}$  que reciben; mientras que en la época “lluviosa” producen aproximadamente 1,4 g.



**Figura 24.** Relación entre la masa seca de la parte aérea (tallos, hojas, espiga,  $g.m^{-2}$ ) y la radiación fotosintéticamente activa absorbida (APAR,  $Mj.m^{-2}$ ) en cuatro cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en época “poco lluviosa” (A) y “lluviosa” (B). Cultivares INCA LP-5, Reforma, INCA LP-2 y J-104.

Los valores de la EUR en el cultivo del arroz, resultan diferentes teniendo en cuenta lo informado en la literatura consultada. Al respecto, Kiniry *et al.* (1989) y Kiniry *et al.* (2001) destacan valores entre 2,2 y 2,56 g.Mj<sup>-1</sup> para cultivares americanos, aunque Campbell *et al.* (2001) informan valores de hasta 5,66 g.Mj<sup>-1</sup>; por otra parte, Boschetti *et al.* (2006) señalan un valor de 3,14 g.Mj<sup>-1</sup> para cultivares de tipo índica y 1,8 g.Mj<sup>-1</sup> para los de tipo japónica. En estimaciones realizadas en Entre Ríos, Argentina, a partir de siete ensayos en dos años de siembra consecutiva se calculó un valor de 3,6 g.Mj<sup>-1</sup> (Quintero, 2009). Los diferentes valores informados para la EUR están relacionados con la variabilidad genética de los cultivares existentes y sus características, además de la respuesta de los mismos a las diferentes condiciones del clima. En este sentido, resulta importante destacar que algunos autores han señalado que la EUR es un indicador importante en los modelos de cultivo y son varios los factores externos que influyen sobre la misma, donde el comportamiento fenológico, el nivel de radiación incidente y la temperatura, se encuentran entre los más importantes (Boschetti *et al.*, 2006). Estudios de este tipo no habían sido informados en Cuba hasta el momento, por lo que los valores para el cultivo del arroz obtenidos, resultan un aporte de esta tesis bajo las condiciones de las dos épocas de siembra establecidas en el país.

#### **4.4. Exportación de asimilados durante el desarrollo del grano desde los órganos vegetativos de la planta.**

Una aproximación a los procesos fisiológicos relacionados con la formación del rendimiento en el cultivo del arroz, en particular la movilización de las reservas almacenadas en diferentes órganos de la planta previo a la antesis, la suministra el

método empleado para el arroz por Takami *et al.* (1990) y Cruz-Aguado *et al.* (2000) en trigo, a partir del análisis de las variaciones de la masa seca de la parte aérea de la planta (sin las espigas) y de los granos, en el período de la antesis a la madurez.

Los resultados expresados en la figura 25, reflejan que ninguno de los cultivares en las condiciones de estudio, alcanzaron el rendimiento potencial en granos (punto con valor 1:1 en la figura), indicando que ni el balance de la asimilación del carbono ni las reservas acumuladas por la planta previo al período del llenado del grano fueron capaces de asumir las demandas potenciales del sumidero principal durante este período (Takami *et al.*, 1990). El cultivar que presentó rendimientos reales más cercanos al potencial fue el INCA LP-5 y el más alejado de este valor fue J-104.

Al realizar un análisis de las variaciones de la masa seca de la parte aérea de la planta durante el período y el rendimiento final por espiga, se puede establecer que estas variaciones pudieron significar entre un 9 y un 60 % de la masa seca del grano, sin mostrar un patrón definido entre cultivares, ni fechas o épocas de siembra. El resto de la masa seca acumulada en el grano provendría del balance entre los procesos de fotosíntesis y respiración que experimentaría la planta durante este período, lo que depende en principio de la superficie foliar y la capacidad de asimilación de la misma, y las condiciones meteorológicas, en este momento.

El anterior análisis sólo brinda información de la posible movilización de reservas desde la parte aérea hacia los granos y se logra un acercamiento más detallado evaluando las variaciones de la masa seca en cada uno de los órganos o partes de ellos, durante el período anteriormente mencionado.



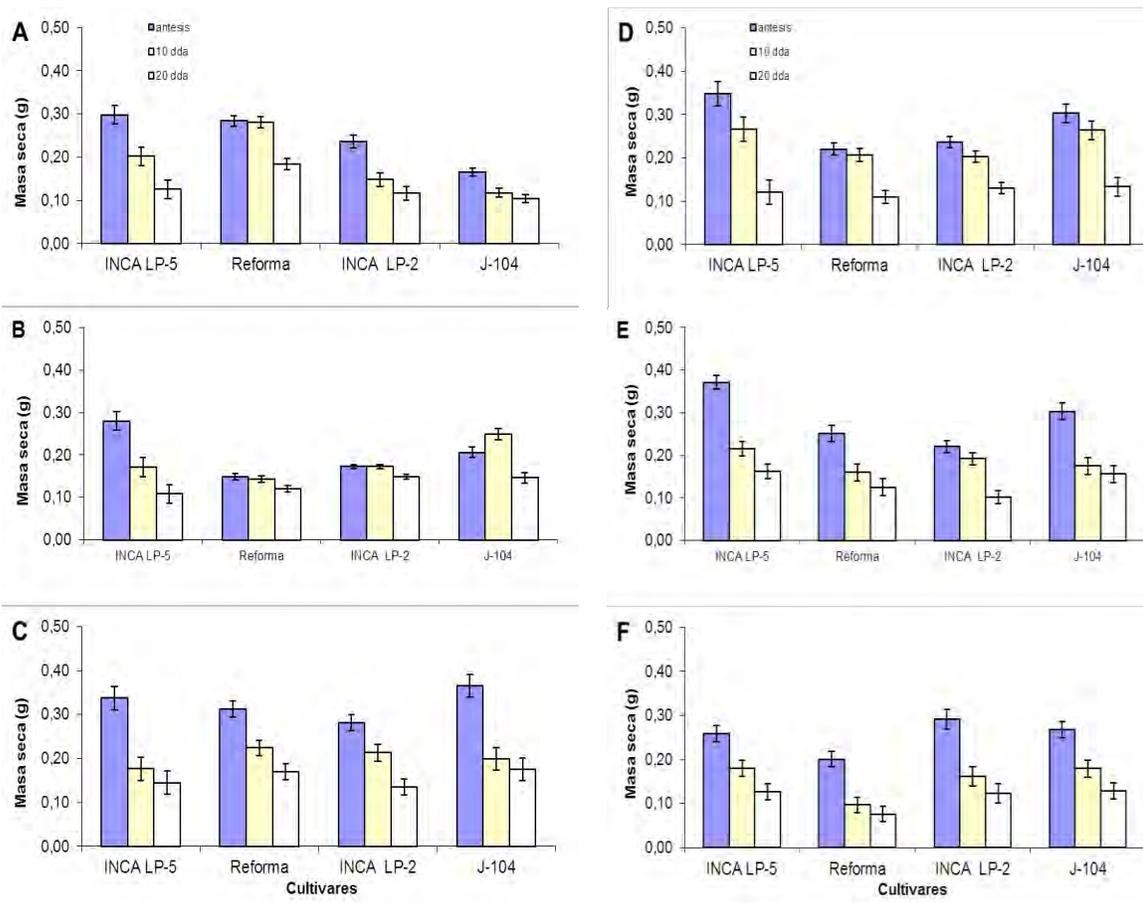
En las figuras 26, 27, 28 y 29, se presenta el comportamiento de la acumulación de biomasa en los entrenudos superiores del tallo principal y el pedúnculo. Se demostró que este proceso fue diferente para cada uno de los cultivares en las distintas fechas de siembra.

Se observó una disminución de la masa seca del tercer entrenudo (Figura 26) en más del 90 % de los casos desde la antesis, independientemente del cultivar, fecha y época de siembra. Un comportamiento similar ocurre con el segundo entrenudo, donde la disminución de la masa seca resultó en más del 50 % de los casos (Figura 27). En el primer entrenudo (Figura 28) hay que destacar que en el 60 % de los casos la masa seca se mantuvo con valores similares desde la antesis hasta los 20 días después, sin diferencias entre estos, y en el resto, existe un incremento de la masa seca desde la antesis hasta los 10 días posteriores, para después disminuir.

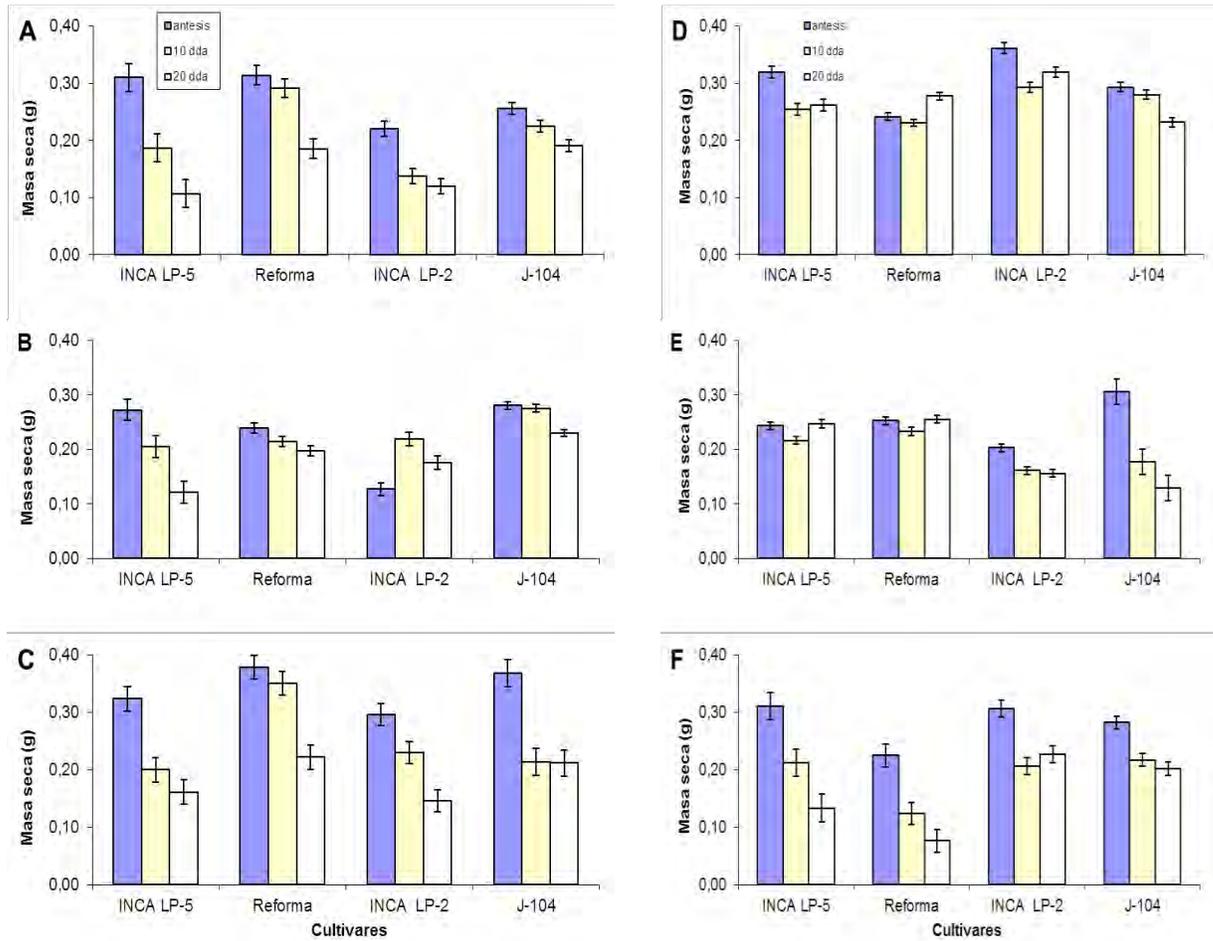
En cuanto al pedúnculo (Figura 29), resulta importante precisar que en la mayoría de los casos (60 %) se aprecia que la masa seca se mantuvo relativamente constante.

En relación con las variaciones de la masa seca de la lámina de la hoja bandera, la vaina de las hojas, y la lámina del resto de las hojas (Figuras 30, 31 y 32), se puede señalar que, para el caso de la lámina de la hoja bandera (Figura 30), en el 60 % de los casos los valores se mantuvieron generalmente constantes durante todo el período, y sólo en la época "lluviosa" se encontró una disminución de esta variable.

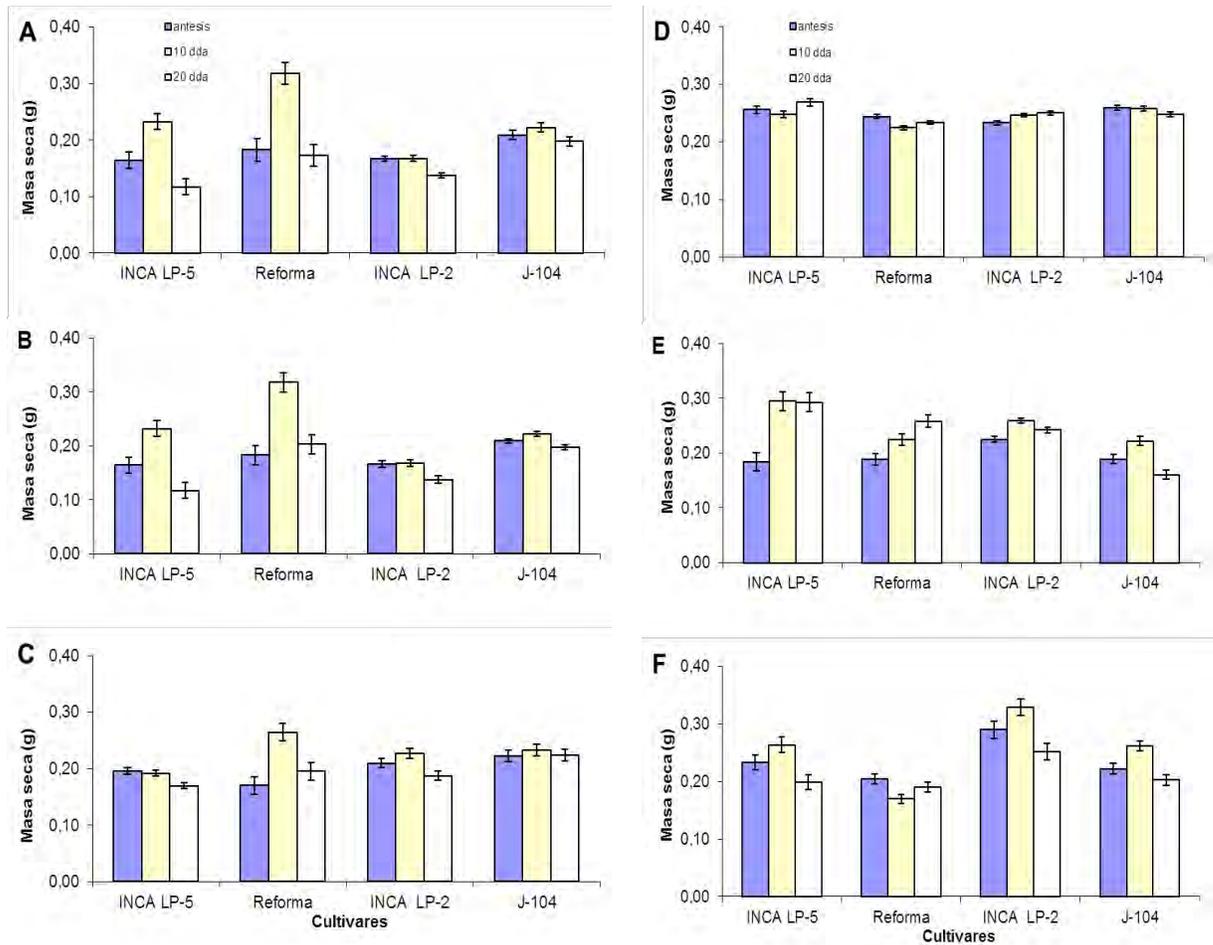
La mayor variación en la disminución del contenido de masa seca a los días considerados después de la antesis se encontró en la vaina de las hojas y en las láminas del resto de las hojas del tallo principal, en más del 80 % de los casos, respectivamente (Figuras 31 y 32).



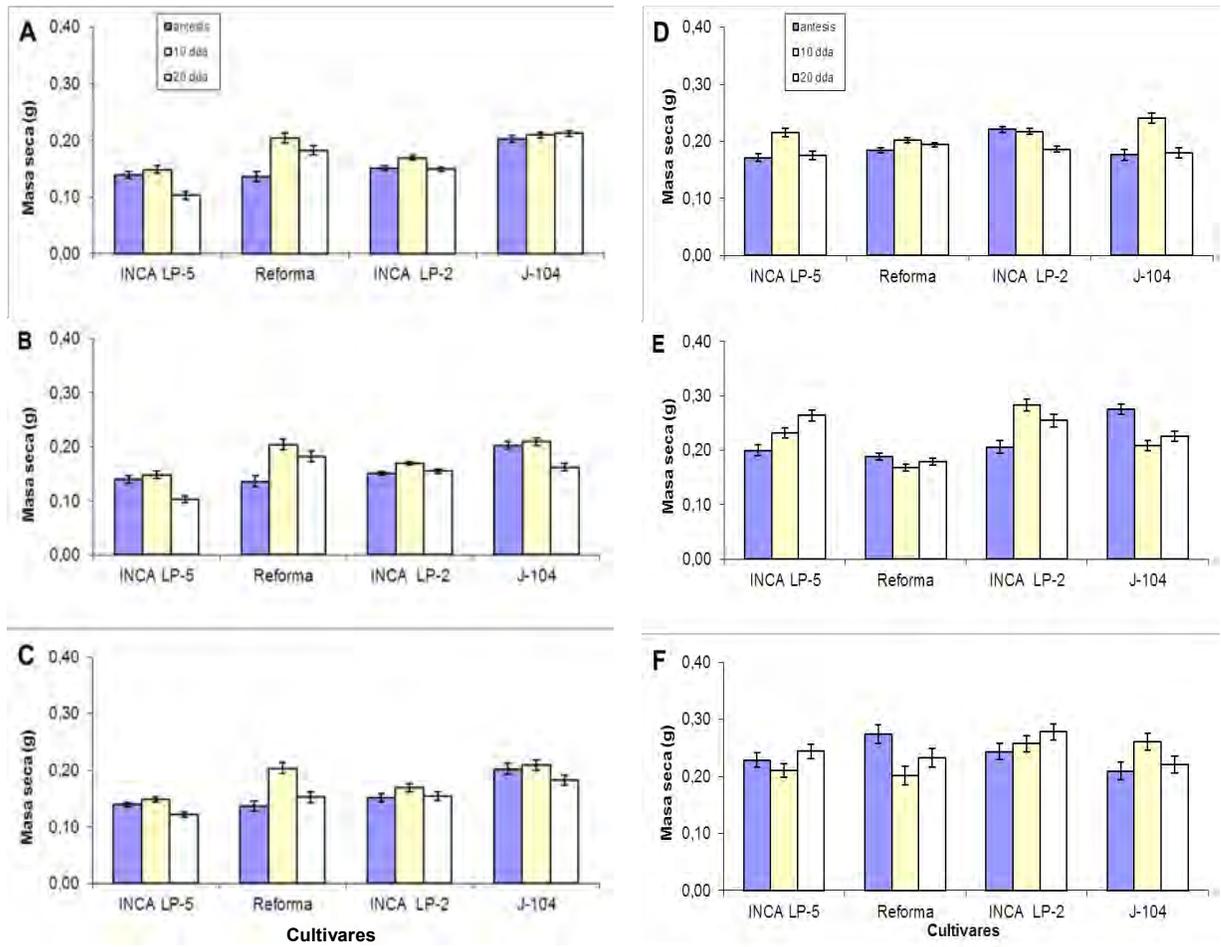
**Figura 26.** Masa seca (g) del tercer entrenudo del tallo principal de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.), en tres momentos del llenado del grano en seis fechas de siembra durante las épocas “poco lluviosa” (diciembre 2004 (A), febrero 2005 (B), enero 2006 (C)) y “lluviosa”. (marzo 2006 (D), abril 2008 (E), abril 2009 (F)).



**Figura 27.** Masa seca (g) del segundo entrenudo del tallo principal de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.), en tres momentos del llenado del grano en seis fechas de siembra durante las épocas poco lluviosa (diciembre 2004 (A), febrero 2005(B), enero 2006 (C)) y lluviosa. (marzo 2006 (D), abril 2008 (E), abril 2009 (F)).



**Figura 28.** Masa seca (g) del primer entrenudo del tallo principal de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.), en tres momentos del llenado del grano en seis fechas de siembra durante las épocas “poco lluviosa” (diciembre 2004 (A), febrero 2005 (B), enero 2006 (C)) y “lluviosa”. (marzo 2006 (D), abril 2008 (E), abril 2009 (F)).



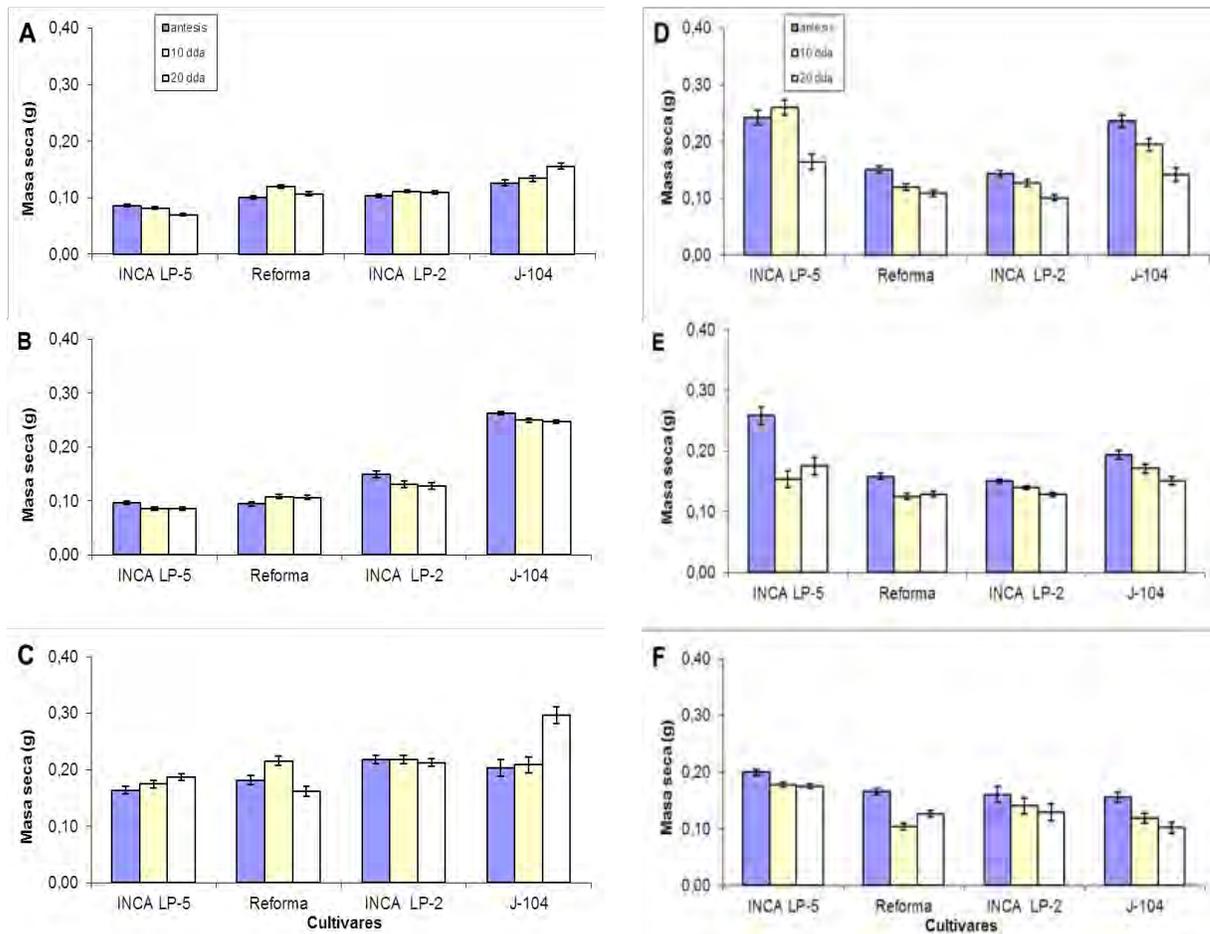
**Figura 29.** Masa seca (g) del pedúnculo del tallo principal de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.), en tres momentos del llenado del grano en seis fechas de siembra durante las épocas “poco lluviosa” (diciembre 2004 (A), febrero 2005 (B), enero 2006 (C)) y “lluviosa” (marzo 2006 (D), abril 2008 (E), abril 2009 (F)).

Es posible destacar que el destino de estas reservas pudo ser la respiración, la traslocación hacia los granos o hacia otras partes de la planta, o ambos. Abdul-Razack y Tarpley (2009) han señalado que la porción de las reservas del tallo usadas en los procesos de respiración es insignificante, lo que indica que la respiración utiliza fundamentalmente como sustrato a los fotoasimilados, recientemente sintetizados por la vía de la fotosíntesis, y no las reservas movilizadas desde los tallos. Además, estos autores destacan que la respiración de las plantas, alcanzan un máximo en el estadio temprano de llenado del grano y disminuye significativamente hacia la mitad de este estadio.

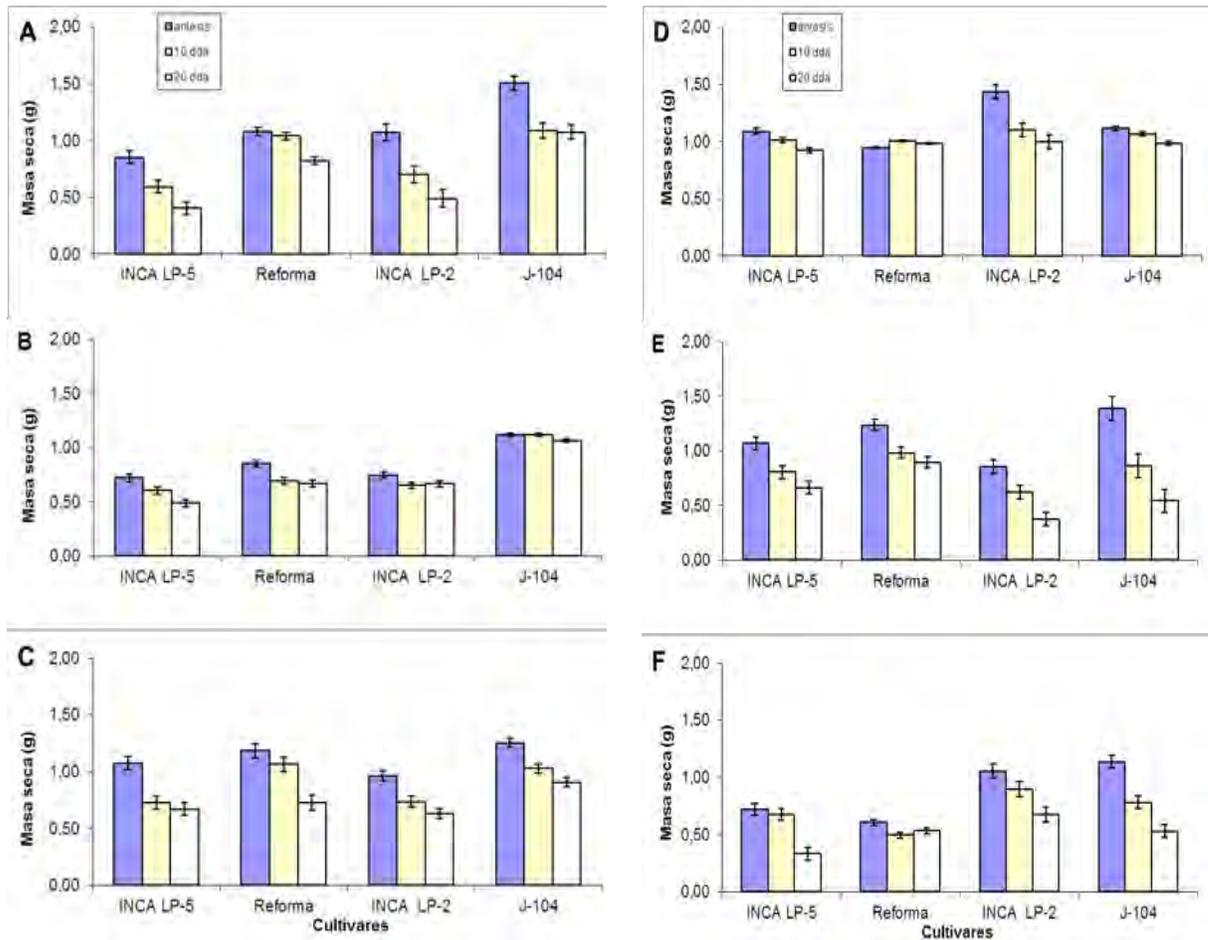
Estos resultados señalan que el peso de la respiración como sumidero para las reservas movilizadas del tallo durante el llenado de los granos, puede ser despreciado. Por tanto, se puede inferir que el principal destino de la masa seca que se pierde de los tallos, desde la antesis hasta la madurez fisiológica, es hacia los granos.

Los resultados apuntan al tercer entrenudo del tallo como una fuente importante de reservas que se movilizan y se utilizan en el crecimiento del grano, aspecto que coincide con Ehdai *et al.* (2006 a y b y 2008), quienes identificaron a los entrenudos basales del tallo de plantas de trigo como los más importantes en la movilización de reservas hacia los granos en el período posantesis, atendiendo a que son los que presentan mayor longitud y masa en la antesis y tienen una mayor capacidad movilizativa durante esta fase del desarrollo de las plantas.

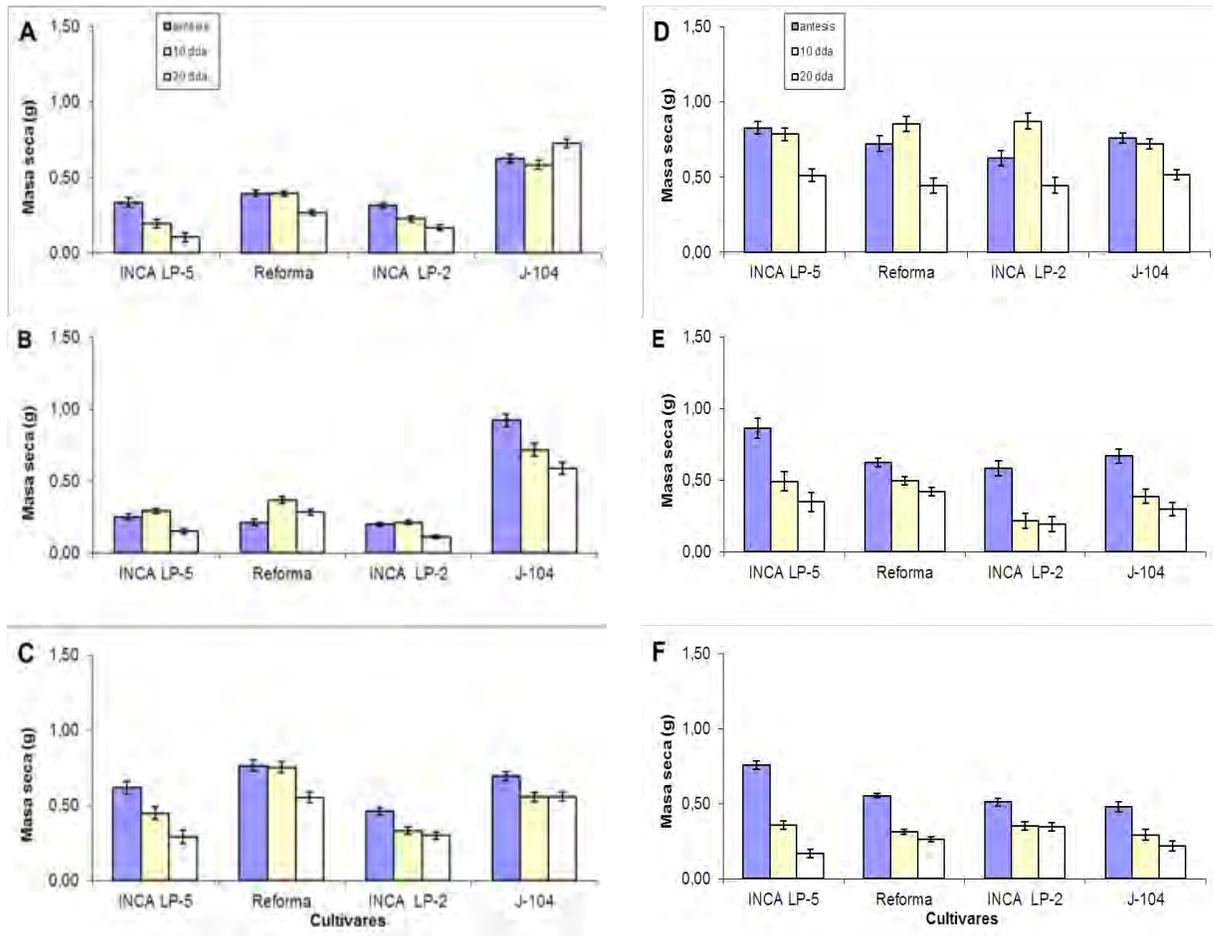
Es evidente, que el análisis de la contribución de las reservas del tallo al suministro de masa seca al resto de los sumideros en la planta es complejo, en las fases finales



**Figura 30.** Masa seca (g) de la lámina de la hoja bandera del tallo principal de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.), en tres momentos del llenado del grano en seis fechas de siembra durante las épocas “poco lluviosa” (diciembre 2004 (A), febrero 2005 (B), enero 2006 (C)) y “lluviosa” (marzo 2006 (D), abril 2008 (E), abril 2009 (F)).



**Figura 31.** Masa seca (g) de las vainas de las hojas del tallo principal de cultivares de arroz, en tres momentos del llenado del grano en seis fechas de siembra durante las épocas “poco lluviosa” (diciembre 2004 (A), febrero 2005 (B) enero 2006 (C)) y “lluviosa” (marzo 2006 (D), abril 2008 (E), abril 2009 (F)).



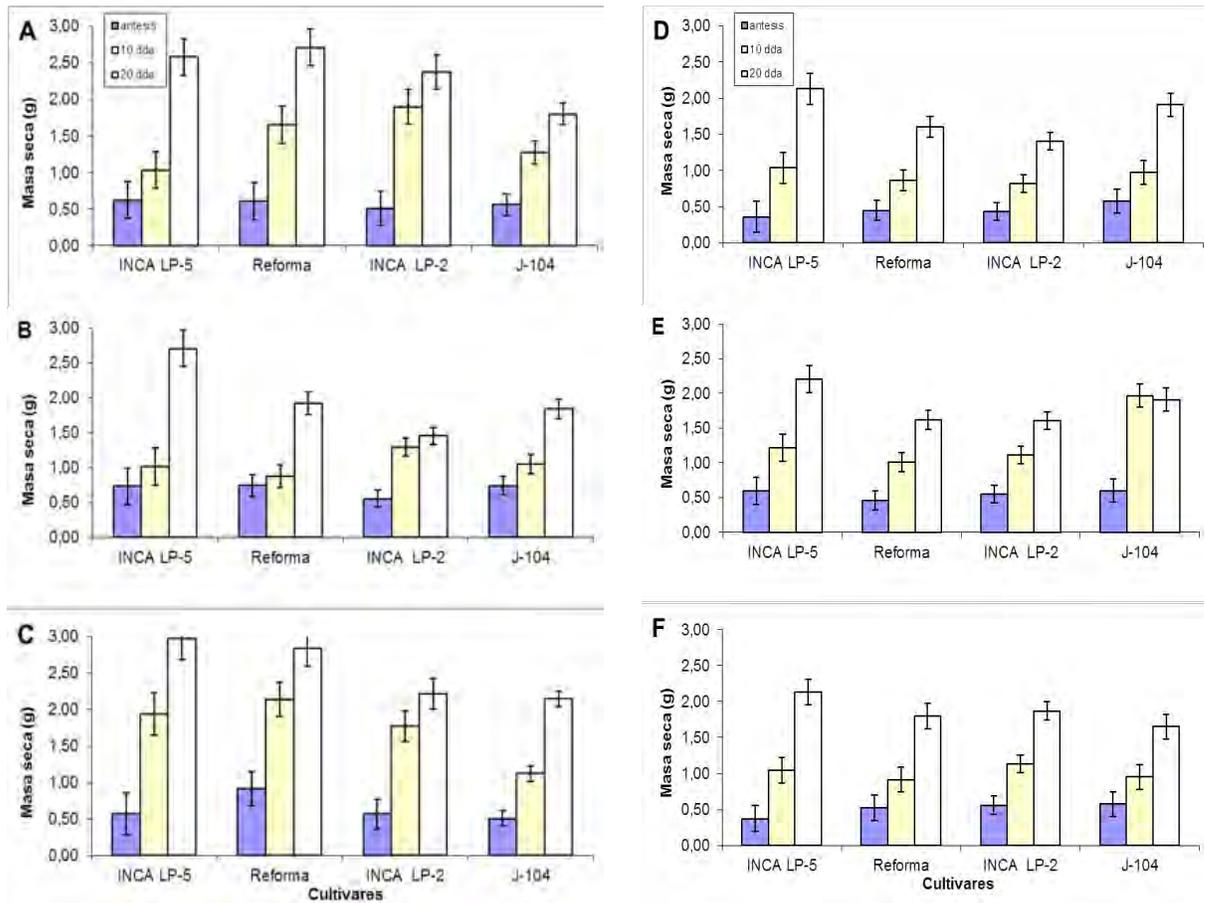
**Figura 32.** Masa seca (g) de las láminas de las hojas del tallo principal de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.), en tres momentos del llenado del grano en seis fechas de siembra durante las épocas “poco lluviosa” (diciembre 2004 (A), febrero 2005 (B) enero 2006 (C)) y “lluviosa” (marzo 2006 (D), abril 2008 (E), abril 2009(F)).

del desarrollo los tallos ocupan una posición intermedia entre los principales órganos fuente y los considerados como sumidero. Este análisis se hace aún más complicado cuando se toman en consideración las diferencias en las capacidades de almacenamiento y la movilización de reservas entre los entrenudos. En este sentido, el empleo de técnicas donde se utilice el marcaje con isótopos radiactivos, pueden contribuir aún más a determinar el aporte de las partes de los órganos al rendimiento del grano (Cruz, 2000).

En cuanto a la masa seca de la panícula, hay que destacar que se incrementó significativamente desde la antesis hasta los 20 días posteriores, para ambas épocas de siembra (Figura 33). De forma general, las plantas sembradas en las fechas de siembra de la época “poco lluviosa” presentaron mayor cantidad de masa seca en la panícula que las sembradas en la época “lluviosa”. Estos resultados corroboran los obtenidos por García *et al.* (2010), en estudios con el cultivar J-104 en condiciones semicontroladas, aspecto que se generaliza con el presente trabajo, a otros cultivares, en experimentos de campo, y teniendo en cuenta diferentes fechas de siembra dentro de las dos épocas establecidas en Cuba para el desarrollo del cultivo. Sin embargo, el incremento del tamaño del sumidero, expresado por el número de granos en la panícula, dada su fortaleza y actividad como sitio de consumo, pudo demandar una mayor actividad de la fuente y provocar también una movilización mayor de fotoasimilados acumulados en los entrenudos del tallo principal y las otras partes de la planta. En tal sentido las condiciones medioambientales y el estado de crecimiento del cultivo, sobre todo la superficie foliar desde el inicio del llenado del grano, resultan tener un papel fundamental para lograr tal incremento.

Esto se evidencia en las diferencias en el patrón de comportamiento en cuanto al incremento de la masa seca de las espigas entre las dos épocas de siembra. En la época “poco lluviosa”, el crecimiento activo de las panículas comenzó desde el momento de la antesis (en más del 50 % de los casos) y en la época “lluviosa” comenzó a partir de los 10 dda donde de forma general, disminuyó significativamente la masa seca en las distintas partes de la planta, sobre todo en el entrenudo tres y en la vaina de las hojas. Esto sugiere que el llenado de los granos estuvo afectado por la disponibilidad de fotoasimilados y fue necesaria la movilización de reservas almacenadas en los tallos.

En varios estudios se ha demostrado que la actividad de los sumideros determina la descarga de los carbohidratos en el floema, lo que pudiera influir en la movilización de las reservas de estos, almacenadas en las vainas y los tallos de las plantas. La actividad del sumidero se incrementa a los 10 días posteriores a la antesis y se produce un aumento de la masa seca de la panícula (Nagata *et al.*, 2001; Okawa *et al.*, 2003; Ralph *et al.*, 2009; Yan y Zang, 2006; 2010). Se ha informado que existen 33 enzimas principales involucradas en el metabolismo de carbohidratos en endospermo del grano de arroz en vías de desarrollo (Nakamura *et al.*, 1989; Zhang *et al.*, 2011). Sin embargo, cinco enzimas se consideran que juegan un papel crucial en este proceso durante el llenado de los granos, las cuales son: sacarosa sintasa, invertasa, almidón sintasa, difosfato-glucosa fosforilasa, enzima de ramificación del almidón (Nakamura *et al.*, 1989; Kato, 1995; Yang *et al.*, 2001; Zhang *et al.*, 2011).



**Figura 33.** Masa seca (g) de la panícula del tallo principal de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.), en tres momentos del llenado del grano en seis fechas de siembra durante las épocas “poco lluviosa” (diciembre 2004 (A), febrero 2005 (B), enero 2006 (C)) y “lluviosa” (marzo 2006 (D), abril 2008 (E), abril 2009 (F)).

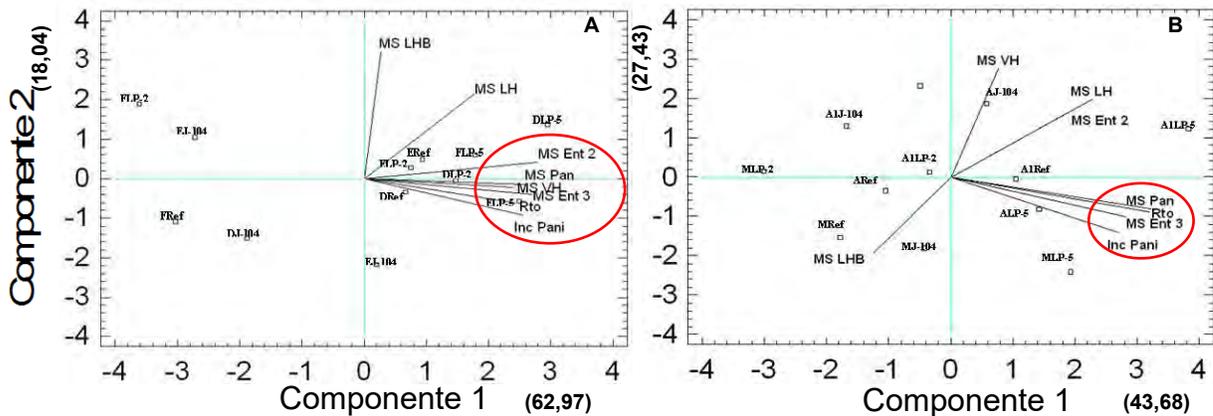
La mayor cantidad de masa seca de la panícula en la época “poco lluviosa” pudiera estar dada por el efecto de las condiciones ambientales prevalecientes en esa etapa del desarrollo sobre el proceso de traslocación de fotoasimilados hacia el grano, fundamentalmente las temperaturas. Hay que señalar que en la época “poco lluviosa” el llenado de los granos transcurre con temperaturas más cálidas (superior a los 30 °C), y Yoshida (1981) destaca que los cultivares de tipo índica como los utilizados en el presente trabajo, se adaptan mejor a temperaturas altas durante el llenado del grano con respecto a los cultivares de tipo japónica. Esto se corresponde también con lo informado Jin *et al.* (2005) en el cultivo del arroz.

Sobre la incidencia de las temperaturas en el llenado de los granos Cruz (2000) demostró que el incremento de la temperatura influye negativamente en la actividad del sumidero, y provoca una translocación menor de fotoasimilados y un menor incremento de masa seca en los granos de plantas de trigo. Otros autores destacan que las altas temperaturas incrementan la tasa de respiración después del inicio de la paniculación, y como los fotoasimilados que son producidos en ese período por la fuente (láminas foliares) participan en el proceso de respiración, esto crea una disponibilidad baja de asimilados al inicio del proceso de llenado de los granos (Pham *et al.*, 2004; Abdul-Razack y Tarpley, 2009).

Para determinar cuál o cuáles de los órganos de la planta analizados en el trabajo tributaron en mayor medida al llenado de los granos se tuvo en cuenta los resultados del análisis del Biplot para ambas épocas de siembra (Figura 34). Como se puede apreciar en la figura 34 A, para la época “poco lluviosa”, las variables más asociadas al rendimiento, además del incremento de masa seca de la panícula posterior a la

antes y la masa seca final de ésta son, el porcentaje de variación de las masas seca del entrenudo tres, dos y de la vaina de las hojas. Por otra parte, para la época “lluviosa” (Figura 34 B), estas asociaciones estuvieron relacionadas solo con el porcentaje de variación de la masa seca del entrenudo tres (Ent. 3).

Por tanto, partiendo de lo anterior, es posible inferir que el entrenudo tres, en las dos épocas y el entrenudo dos junto a las vainas de las hojas del tallo principal de plantas de arroz en la época “poco lluviosa”, son los órganos que más tributan al llenado de los granos con un aporte considerable a la formación del rendimiento en el cultivo. Estos órganos parecen ser los más sensibles a la fuerza de los sumideros presentes en la planta en el período de llenado de los granos.



**Figura 34.** Asociación del rendimiento agrícola y el porcentaje de pérdida de masa seca de diferentes partes de los órganos de la planta de arroz (*Oryza sativa* L.) a partir del análisis de componentes principales representados por un Biplot en las épocas “poco lluviosa” (A) y “lluviosa” (B). (D, F, E, M, A, A1, fechas de siembra: diciembre 2004, febrero 2005, enero 2006, marzo 2006, abril 2008, abril 2008, respectivamente; LP-5, Ref, LP-2, J-104: cultivares INCA LP-5, Reforma, INCA LP-2 y Jucarito 104, respectivamente; MS Ent 3 (%): variación de masa seca del entrenudo 3 desde la antesis hasta los 20dda; MS Ent 2 (%): variación de masa seca del entrenudo 2 desde la antesis hasta los 20dda; MS VH (%): variación de masa seca de la vaina de la hoja bandera desde la antesis hasta los 20dda; MS LHB (%): variación de masa seca de la lámina de la hoja bandera desde la antesis hasta los 20dda; MS LH (%): variación de masa seca de la lámina de las hojas desde la antesis hasta los 20dda; Inc Pani (%): incremento de la masa seca de la panícula posterior a la antesis (antesis-20 dda); MS Paní (g): masa seca final de la panícula; Rto (t.ha<sup>-1</sup>): Rendimiento agrícola.

La distribución de las reservas hacia los granos fue mayor en la época “poco lluviosa” con respecto a la época “lluviosa” y las diferencias pudieran atribuirse al balance del metabolismo del carbono establecido por las plantas en las diferentes condiciones. Sobre todo porque en la época “poco lluviosa”, las plantas mantienen una mayor DAF y las temperaturas tienden a ser más frescas durante el período de acumulación de masa seca en los entrenudos, lo que pudiera favorecer el proceso. Aspecto importante para posteriormente asegurar el proceso de llenado del grano, donde el comportamiento de la temperatura después de la antesis juega un papel determinante en la movilización de las reservas acumuladas en esta etapa.

Los resultados del presente trabajo señalan además, a la utilización de la masa seca del tercer entrenudo en la antesis, como criterio de selección de cultivares de arroz con superior rendimiento, y probablemente con mayor capacidad de responder a situaciones de estrés durante el llenado de los granos.

#### **4.5. Estimación del rendimiento potencial para el cultivo del arroz en la localidad de Los Palacios y modelo bioclimático para la formación del rendimiento.**

Con los resultados del acápite 4.3 y teniendo en cuenta las evaluaciones y estimaciones realizadas para el cálculo de la Eficiencia del Uso de la Radiación y el Índice de Cosecha, se puede inferir el rendimiento potencial para las condiciones específicas de la localidad en estudio. De manera general se aprecian diferencias entre épocas de siembra. Los valores para la época “poco lluviosa” están entre 7 y 9 t.ha<sup>-1</sup> y para la “lluviosa”, se encontraron valores relativamente más bajos, entre 5 y 6 t.ha<sup>-1</sup> (Tabla 12).

**Tabla 12.** Rendimiento potencial estimado ( $t.ha^{-1}$ ) al 14 % de humedad de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.), sembrados en las épocas “poco lluviosa” y “lluviosa”,  $\pm$  representa los intervalos de confianza.

Cultivares	Rendimiento Potencial
	Época “poco lluviosa”
INCA LP-5	9 $\pm$ 0,45
Reforma	8 $\pm$ 0,22
INCA LP-2	7 $\pm$ 0,34
J-104	7 $\pm$ 0,22
	Época “lluviosa”
INCA LP-5	6 $\pm$ 0,10
Reforma	5 $\pm$ 0,39
INCA LP-2	5 $\pm$ 0,13
J-104	5 $\pm$ 0,39

Estos resultados, permiten determinar en la localidad, las brechas que existen entre los rendimientos que realmente se alcanzan (epígrafe 4.1, Tablas 5 y 6) y los que se pudieran obtener, atendiendo al rendimiento potencial de los cultivares y el comportamiento del clima. En este sentido es posible realizar las actividades de manejo con el fin de aumentar los rendimientos de manera más eficiente.

Es importante destacar que no existen en el país estimaciones de rendimientos potenciales en el cultivo a partir de criterios ecofisiológicos, lo que constituye un aporte de esta tesis. Además, también es posible señalar, que los rendimientos potenciales estimados en esta investigación, para los diferentes cultivares, no coinciden en parte, con los rendimientos máximos alcanzados por los cultivares en un momento dado, en determinada zona del país (Tabla 3).

Para la época “poco lluviosa” los cultivares INCA LP-5 y Reforma, superan en aproximadamente en una  $t.ha^{-1}$ , el valor del rendimiento máximo alcanzado en Cuba, según MINAG (2005). Sin embargo, los cultivares INCA LP-2 y J-104 presentaron valores por debajo de lo informado (Tabla 3). Para la época “lluviosa”, se estiman

valores similares a los máximos informados en el instructivo para el cultivar INCA LP-5, aunque en los restantes cultivares se estima un rendimiento potencial inferior en aproximadamente en una  $t.ha^{-1}$  (Tabla 3).

Considerando que el rendimiento medio alcanzado en la producción, en la localidad de Los Palacios, es de  $3,5 t.ha^{-1}$ , se puede señalar que existe una brecha con el rendimiento potencial, que oscila entre  $1,5$  (época “lluviosa”) y  $5,5$  (época “poco lluviosa”). Esto indica que resulta necesario perfeccionar las actividades de manejo del cultivo con el fin de elevar la producción y atender las particularidades climáticas que brinda la localidad. En este sentido, a partir de la utilización de las temperaturas del aire para determinar el momento en que ocurren las fases fenológicas, teniendo en cuenta los GDCA por fases y etapas; es posible aplicar la fertilización, realizar el manejo de agua y el control de arvenses de manera oportuna con el fin de lograr una mayor productividad agrícola en el cultivo.

En estudios desarrollados con diferentes cultivares de arroz en el mundo, se ha determinado una brecha entre el rendimiento potencial y el rendimiento alcanzado superior a  $8 t.ha^{-1}$ . Esto, según lo señalado por Blum (2005) y Fageria (2007), está asociado a factores de estrés biótico y abiótico; entre los que se destacan la influencia de plagas y enfermedades, largos períodos de sequía, la salinidad de los suelos, las variaciones en las temperaturas, entre otros. Es por ello que se recomendó perfeccionar las actividades de manejo teniendo en cuenta las limitaciones existentes en cada lugar para aumentar las producciones.

A partir de estudios realizados en Entre Ríos, Argentina, se estimó un rendimiento potencial para los cultivares más empleados en la región de  $14 t.ha^{-1}$ . Teniendo en

cuenta esta estimación, se determinaron los factores que mayormente estaban influyendo en la baja productividad del cultivo y se perfeccionaron las labores de manejo, lo que permitió alcanzar un rendimiento medio en producción de  $10 \text{ t.ha}^{-1}$ . Actualmente se trabaja en disminuir la brecha de  $3 \text{ t.ha}^{-1}$ , por lo que se pretende seguir aumentando los rendimientos actuales, buscando los factores limitantes ante tales condiciones (Quintero, 2009).

Los resultados del presente trabajo permiten desarrollar un esquema, que representa un modelo bioclimático de la formación del rendimiento de cultivares de ciclo corto y medio de plantas de arroz para las épocas “poco lluviosa” y “lluviosa”, tomando como base la localidad de Los Palacios.

Teniendo en cuenta las condiciones en la época “poco lluviosa” (Figura 35), la fase de maduración es la más determinante en el rendimiento, el que puede llegar potencialmente hasta  $9 \text{ t.ha}^{-1}$ . Los GDCA necesarios para completar todo el ciclo de los cultivares se encuentra en un rango de  $2080 \pm 43 \text{ }^\circ\text{C}$  para los de ciclo corto y  $2287 \pm 32 \text{ }^\circ\text{C}$  para los de ciclo medio. Los valores críticos promedio del IAF, para captar entre el 85 y el 95% de la radiación luminosa disponible, se encuentran entre 4 y 7, y éste debe ser obtenido con una máxima velocidad de crecimiento mayor o igual a  $0,1 \text{ IAF.día}^{-1}$ ; estos valores de IAF pueden ser alcanzados durante la fase reproductiva a partir de una densidad de planta superior a  $500 \text{ plantas.m}^2$ , teniendo en cuenta que la superficie foliar por planta para los cultivares en estudio en esta época se encuentra en un rango de  $0,0074$  a  $0,0085 \text{ m}^2$ ; además, resulta determinante la duración del área foliar durante todo el ciclo de los cultivares con valores de hasta  $367 \text{ IAF días}$ .



FASES	Fase Vegetativa				Fase Reproductiva				Fase Maduración			
	Plántula	I.Ahijamiento	A. Act.	M. Ahij.	P.A	Emb	Flo.	Ant	Lech		Mad.	
T. Acu. CCC.	359±19	525±43	902±37	1062±25	286±35	411±34	1511±32	1636±28	1900±57		2080±43	
T. Acu. CCM.	359±18	543±40	1081±47	1309±26	490±35	622±31	1722±26	1833±30	2091±42		2287±32	
IAF máx								$4 \leq x \leq 7$				
TAC IAF				$\geq 0,1$								
DAF											$\geq 367$	
Q									$\geq 0,8$			
% perd MS Ent 3										$\geq 40 \%$		
% perd MS Ent 2										$\geq 30 \%$		
% perd MS VH										$\geq 30 \%$		
Comp. Rto.	Panículas por m <sup>2</sup>				$\geq 450$	Granos llenos por panícula			$\geq 70$	Masa de 1000 granos		$\geq 29$
<b>RENDIMIENTO AGRÍCOLA</b>											<b>9 t.ha<sup>-1</sup></b>	

**Figura 35.** Esquema del modelo bioclimático de la formación del rendimiento de cultivares de arroz en la época “poco lluviosa”. (T. Acu. CCC: Temperatura acumulada para cultivares de ciclo corto; T. Acu. CCM: Temperatura acumulada para cultivares de ciclo medio; IAF: Valor del índice de área foliar; TAC IAF: Valor de la Tasa Absoluta de Crecimiento del Índice de área foliar; DAF: Duración del área foliar; Q: Coeficiente Fototérmico; % perd MS Ent 3: Porcentaje de pérdida de la masa seca del entrenudo 3; % perd MS Ent 2: Porcentaje de pérdida de la masa seca del entrenudo 2; % perd MS VH: Porcentaje de pérdida de la masa seca de la vaina de las hojas; Comp. Rto.: Componentes del rendimiento; I. Ahijamiento: Inicio de Ahijamiento; A. Act.: Ahijamiento Activo; M. Ahij.: Máximo Ahijamiento; P.A.: Punto de Algodón; Emb.: Embuchamiento; Flo.: Floración; Ant.: Antesis; Lech.: Lechosa; Mad.: Maduración).

También, los valores del coeficiente fototérmico (Q) logrados en el intervalo de tiempo desde la etapa de “embuchamiento” de la fase reproductiva y hasta la etapa “lechosa” en la fase de maduración deben ser mayores o iguales que  $0,8 \text{ Mj. m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ , con los cuales será posible alcanzar  $40\,000$  granos llenos.  $\text{m}^2$ , lo que representaría unos  $70$  granos llenos por panícula, al obtener  $450$  panículas.  $\text{m}^2$ .

Otro aspecto de relativa importancia son los órganos que se consideran como fuente de reservas de fotoasimilados en el momento de la antesis. Donde el tercer entrenudo, el segundo entrenudo y la vaina de las hojas movilizan entre el  $40$  y  $30\%$  de los fotoasimilados de reserva durante todo el período de llenado del grano, por lo que para la siembra en esta época resulta importante tener en cuenta que el cultivar utilizado tenga la capacidad de almacenar fotoasimilados en sus entrenudos y movilizarlos al grano durante su desarrollo.

Para la época “lluviosa” (Figura 36), es la fase reproductiva la de mayor importancia en la formación del rendimiento, los que potencialmente pueden llegar hasta  $6 \text{ t. ha}^{-1}$ . Los valores de GDCA y de IAF resultan similares a los alcanzados para la época “poco lluviosa”, aunque el IAF en esta época puede ser alcanzado con más de  $400$  plantas.  $\text{m}^2$ , teniendo en cuenta que la superficie foliar por planta de los cultivares estudiados está entre los  $0,0091$  a  $0,0100 \text{ m}^2$ ; además, la duración del área foliar durante todo el ciclo debe superar los  $233$  IAF días.

Los valores de Q en el intervalo de tiempo descrito en la época “poco lluviosa” deben ser mayores o iguales a  $0,6 \text{ Mj. m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ , con los que será posible alcanzar unos  $25\,000$  granos llenos.  $\text{m}^2$ , lo que representaría unos  $55$  granos llenos.  $\text{panícula}^{-1}$  al obtener más de  $400$  panículas por  $\text{m}^2$ . En cuanto a los órganos que se consideran

como fuentes de reservas de fotoasimilatos en el momento de la antesis, es el tercer entrenudo el que llega a movilizar más del 50% de las reservas almacenadas durante el período de llenado del grano.



FASES	Fase Vegetativa				Fase Reproductiva				Fase Maduración	
Etapas	Plántula	I. Ahijamiento	A. Act.	M. Ahij.	P.A	Emb	Flo.	Ant	Lech	Mad.
T. Acu. CCC.	359±19	525±43	902±37	1062±25	286±35	1411±34	1511±32	11636±28	1900±57	2080±43
T. Acu. CCM.	359±18	543±40	1081±47	1309±26	490±35	1622±31	1722±26	1833±23	2091±42	2287±32
IAF máx									4 ≤ x ≤ 7	
DAF									≥233	
Q									≥0,6	
% perd MS Ent 3									≥50 %	
Comp. Rto.	Panículas por m <sup>2</sup> ≥400				Granos llenos por panícula ≥55				Masa de 1000 granos ≥29	
<b>RENDIMIENTO AGRÍCOLA</b>										<b>6 t.ha<sup>-1</sup></b>

**Figura 36.** Esquema del modelo bioclimático de la formación del rendimiento de cultivares de arroz en la época “lluviosa”. (T. Acu. CCC: Temperatura acumulada para cultivares de ciclo corto; T. Acu. CCM: Temperatura acumulada para cultivares de ciclo medio; IAF máx: Valor del máximo índice de área foliar; DAF: Duración del área foliar; Q: Coeficiente Fototérmico; % perd MS Ent 3: Porcentaje de pérdida de la masa seca del entrenudo 3; Comp. Rto.: Componentes del rendimiento; I. Ahijamiento: Inicio de Ahijamiento; A. Act.: Ahijamiento Activo; M. Ahij.: Máximo Ahijamiento; P.A.: Punto de Algodón; Emb.: Embuchamiento; Flo.: Floración; Ant.: Antesis; Lech.: Lechosa; Mad.: Maduración).



**CONCLUSIONES**

**5. CONCLUSIONES**

1- La duración real de los ciclos de desarrollo de los cultivares de arroz, varía en función de la fecha de siembra, atendiendo a las particularidades del comportamiento de la temperatura del aire en la localidad y el rendimiento agrícola se relaciona de manera diferencial con la duración de las últimas fases de desarrollo en dependencia de la época.

2- Para las épocas de siembra del cultivo del arroz en Cuba, el rendimiento se relaciona de manera positiva con las variables del crecimiento afines con la superficie foliar y de manera negativa, en la época "lluviosa", con las velocidades de desarrollo del Índice de Área Foliar y la máxima masa seca total.

3- El Índice de Área Foliar presenta valores bajos, que no le permiten a la planta captar el 95% de la radiación solar, lo que constituye una de las causas que impiden alcanzar rendimientos máximos, apoyado esto por valores de bajos índices de la Eficiencia del Uso de la Radiación.

4- El coeficiente fototérmico presenta diferencias entre épocas de siembra y permite predecir el comportamiento de la magnitud del sumidero principal de las plantas durante el llenado de los granos en función de la temperatura y la radiación solar.

5- La relación fuente-sumidero presenta un comportamiento diferente para cada época y se demuestra en la mayoría de los casos, que las limitaciones para el logro de rendimientos superiores, se encuentran en la fuente y en menor grado en el sitio de consumo.

6- Se estima el rendimiento potencial para cada cultivar y época de siembra y se determina la brecha existente entre el rendimiento alcanzado y el potencial en la localidad de Los Palacios.

7- Se logra un esquema bioclimático para la formación del rendimiento en dependencia de la época de siembra, que integra aspectos relacionados con la temperatura, la radiación solar, el desarrollo fenológico y las variables del crecimiento.



# RECOMENDACIONES

**6. RECOMENDACIONES**

- 1- Tener en cuenta para la selección y el mejoramiento genético del cultivo del arroz en Cuba, los aspectos relacionados con el IAF y la DAF, así como la capacidad de movilización de reservas en los entrenudos.
- 2- Utilizar las variables fisiológicas calculadas, en los modelos de predicción del rendimiento del cultivo del arroz.
- 3- Aplicar los resultados de los grados días de calor acumulados para la predicción de la duración de las fases fenológicas, atendiendo a las particularidades del comportamiento de la temperatura en cada localidad, con el fin de optimizar el manejo del cultivo.
- 4- Extender el enfoque de trabajo del presente estudio para profundizar en la formación del rendimiento de otras especies de interés agrícolas en el país.
- 5- Caracterizar el sitio fuente de los genotipos de arroz en diferentes momentos del desarrollo, atendiendo a la actividad fotosintética de las plantas y el empleo de carbono marcado.
- 6- Determinar la actividad de las enzimas que participan en la síntesis de almidón durante el llenado de los granos, para profundizar en los mecanismos bioquímicos relacionados con la movilización de este compuesto.



# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbate, P. E., Andrade, F. H., Culot, J. P. 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 124:351-360.
- Abdul-Razack, M. y Tarpley, L. 2009. Impact of high nighttime temperature on respiration, membrane stability, antioxidant capacity, and yield of rice plants. *Crop Science*, 49:313–322.
- Acevedo, E., Craufurd, P. Q., Austin, R. B., Perez, M. P. 1991. Traits associated with high yield in barley in low-rainfall environments. *Journal Agricultural Science, Cambridge*, 116:23-36.
- Acevedo, M. A., Castrillo, W.A., Belmonte, U. C. 2006. Origen, evolución y diversidad del arroz. *Revista Agronomía Tropical*. 56: 151-170.
- Acevedo, M. A., Reyes, E., Castillo, W., Torres, O., Marín, C., Álvarez, R., Moreno, O., Torres, E. 2010. Estabilidad fenotípica de arroz de riego en Venezuela utilizando los modelos LIN-BINNS y AMMI. *Agronomía Tropical*, 60:131-138
- Acevedo, M. A., Salazar, M., Castillo, W., Torres, A., Reyes, E., Navas, M., Alvares, R., Moreno, O., Torres, E. 2011. Efectos de la densidad de siembra y fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de granos de arroz del cultivar centauro en Venezuela. *Agronomía Tropical*, 61:15-26.
- Acreche, M. M., Slafer, G. A. 2006. Grain weight response to increases in number of grains in wheat in a Mediterranean area. *Field Crops Res.*, 98:52-59.
- Aguilar, L. J., Mao, E., Mendoza, M., Pedro A., Lwanga, E., Hernández, D. S., Becerra, A., Ramiro, A., Villanueva, E. G. 2011. Crecimiento y productividad

- de chaya (*Cnidoscolus chayamansa* McVaugh, Euphorbiaceae) con densidad de plantación variable. *Cultivos Tropicales*, 32:42-48.
- Aguilar, P.M. 2001 Variedades comerciales de arroz campaña 2001. Red andaluza de Experimentación Agraria. Consejería de agricultura y Pesca, 29 p.
- Aguirre, C. A. 2011. Mapeo del Índice de Área Foliar y cobertura arbórea mediante fotografía hemisférica y datos Spot 5 HRG: Regresión y K-NN. *Agrociencia*, 45: 105-119.
- Akinbile, C.O., Sangodoyin, A. Y. 2010. Estimating crop coefficient model for upland rice (NERICA) under sprinkler irrigation system. *African Journal of Agricultural Research*, 5: 436-441.
- Akinbile, C. O., Sangodoyin, A. Y. 2011. Crop water use responses of upland rice to differential water distribution under sprinkler irrigation system. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 12:516- 526.
- Akinbile, Ch. O. 2013. Assessment of the CERES-Rice model for rice production in Ibadan, Nigeria. *Agricultural Journal*, 15:19-27.
- Alfonso R. 1998. Determinación de parámetros genético-fisiológicos indicadores del estrés hídrico para el mejoramiento genético del arroz (*Oryza sativa* L.). [Tesis de Doctorado]. *IIArroz*, 100 p.
- Alfonso, R., Rodríguez, S., Pérez, R., Hernández, J. L., Suarez, E., Ginarte, A., Corrales, R., Fernández, J. L. 2011. Resultados del mejoramiento de arroz para bajos insumos de agua y fertilizantes en cuba 2008-2010. En Resúmenes del 5 Encuentro Internacional del Arroz, La Habana. Pág. 2013-2019.

- Álvarez, R., Pérez, M., Reyes, E. 2008. Evaluación comparativa de híbridos y variedades de arroz en los llanos centroccidentales de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 58:101-110.
- Amador M., Peña., R. 1986. Tamaño óptimo de muestra para evaluar rendimiento y sus parámetros en el cultivo del arroz en la Estación Experimental de Jucarito. *Ciencia y Técnica en la Agricultura. Arroz*, 5:41-62.
- Angladette, M. 1969. *El Arroz*. Barcelona, España, Edit. Blunce. 867 pág.
- Araus, J. I., Tapia, L. 1987. Photosynthetic gas exchange characteristics of wheat flag leaf blades and sheaths during grain filling. The case of a spring crop grown under mediterranean climate conditions. *Plant Physiology*, 85:667-673
- Argissain, G. G. 2006. Ecofisiología del cultivo del arroz. En: *El Arroz, su cultivo y estabilidad en Entre Ríos*. UNER-UNL. P: 75-94.
- Atencio, V. J.; Berrío, L. E.; Borrero, J., Carabalí, S. J. 2010. Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Tomo I. Publicación CIAT No. 370. Cali, Colombia. 487 p.
- Austin, R. B., Edrich, J.A., Ford, M. A., Blackwell, R. D. 1977. The fate of the dry matter, carbohydrates and  $^{14}\text{C}$  lost from the leaves and stems of wheat during grain filling. *Annals Botany*, 41:1309-1321.
- Austin, R. B., Ford, M. A., Morgan, C. L. 1989. Genetic improvement in the yield of winter wheat: a further evaluation. *Journal agricultural Science, Cambridge*, 112:295-301.
- Baker, R. J., Gebeyehou, G. 1982. Comparative growth analysis of two spring wheats and one spring barley. *Crop Science*, 22:1225-1229.

- Bashor, M. K., Hague, E., Das, R. U., Miah, N. M. 1999. Relationship of flag area to yield, filled grains for panicle and panicle length in upland rice varieties. *News Letters*,16:1-12.
- Bauer, A., Frank, A. B., Black, A. L. 1987a. Aerial parts of hard red spring wheat. I. Dry matter distribution by plant development stage. *Agronomy Journal*, 79:845-852.
- Bauer, A., Frank, A. B., Black, A. L. 1987b. Aerial parts of hard red spring wheat. II. Nitrogen and phosphorus concentration and content by plant development stage. *Agronomy Journal*, 79:852-858.
- Bauer, A., Frank, A. B., Black, A. L. 1987c. Aerial parts of hard red spring wheat. III. Nitrogen and phosphorus concentration and content in kernels, anthesis to ripe stage. *Agronomy Journal*, 79:859-864.
- Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*. 56: 1159– 1168.
- Borojevic, S., Cupina, T., Krasmanovic, M. 1980. Green area parameters in relation to grain yield of different wheat genotypes. *Z. Pflanzenzüchtg*, 84:265-283.
- Borojevic, S., Williams, W. A. 1982. Genotype x environment interactions for leaf area parameters and yield components and their effects on wheat yields. *Crop Science*, 22:1020-1025.
- Bos, H. J., Neuteboom, J.H. 1998. Morphological analysis of leaf and tiller number dynamics of wheat (*Triticum aestivum* L.): Responses to temperature and light intensity. *Annali of Botany*. 81:131-139.

- Boschetti, M., Bocchi, S., Stroppiana, D., Brivio, P. 2006. Estimation of parameters describing morpho-physiological features of mediterranean rice varieties for modelling purpose. *Italian Journal of Agrometeorology*, 5:40-49.
- Briceño, I., Álvarez, L. E. 2010. Evaluación de un sistema de preparación de suelo y siembra en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). *Ciencia y Técnica de la Agricultura, Arroz*, 28:16-24.
- Brooking, I. R., Kirby, E. J. M. 1981. Interrelationships between stem and ear development in winter wheat: the effects of a Norin 10 dwarfing gene *Gai/Rht2*. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 97:373-381.
- Calderini, D. F., Abeledo, L. G., Savin, R., Slafer, G. A. 1999. Effect of temperature and carpel size during pre-anthesis on potential grain weight in wheat. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 132:453-459.
- Calderini, D. F., Dreccer, M. F., Slafer, G. A. 1995. Genetic Improvement in Wheat Yield and Associated Traits. A Re-Examination of Previous Results and Latest Trends. *Plant Breeding*, 11:108-112.
- Calderini, D. F., Savin, R., Abeledo, R. G., Reynolds, M. P., Slafer, G. A. 2001. The importance of the period immediately preceding anthesis for grain weight determination in wheat. *Euphytica* 119:199-204.
- Campbell, C. S., Heilman, J. L., McInnes, K. J., Wilson, L. T., Medley, J. C., Wu, G., Cobos, D. R. 2001. Seasonal variation in radiation use efficiency of irrigated rice. *Agriculture and Forest Meteorology*, 110: 45-54.

- Canet, R., Franco, I. 2002. Acumulación de temperaturas en las variedades de arroz J-104 y Perla de Cuba en condiciones de riego. *Revista Cubana de Arroz*, 4:79-83.
- Canfalonieri, R., Bregaglio, S., Rosenmund, A. S., Acutis, M., Savin, I. 2011. A model for simulating the height of rice plants. *European Journal of Agronomy*, 34:20-25.
- Chapman, J. 2009. Ratoon rice culture as alternative form technology for rainfed lowland areas. Los Baños Philippine. Systems Program Seminar International Rice, p. 200-203.
- CIAT 1985. Investigación y producción de arroz. Crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. CIAT, Palmira, p. 19-100.
- CIAT. 2005. Morfología de la planta de arroz. CIAT Colombia, 16p,
- Cristo, E., González, M. C., Cárdenas, R. M., Cabrera, A. 2006. Comportamiento de nuevos genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) obtenidos mediante cultivo de anteras para condiciones de bajo suministro de agua. *Cultivos Tropicales*, 27:57-62.
- Cruz, J. A. 2000. Influencia de la relación fuente-sumidero sobre el llenado de los granos en trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivado en las condiciones tropicales de Cuba. [Tesis de Doctorado].INIFAT. 100p
- Cruz-Aguado, J. A.; Rodés, R.; Pérez, I.P. y Dorado, M. 2000. Morphological characteristics and yield components associated with accumulation and loss of dry matter in internodes in wheat. *Field Crop Research*, 66:129-139.

- Cuevas, A. 1999. Manejo de la soca de arroz. Santa Fé de Bogotá-Colombia. Arroz, 48:16-18.
- Cutforth, H. W., Campbell, C. A., Jame, Y. W., Clarke, J. M., Depauw, R. M. 1988 Growth characteristics, yield components and rate of grain development of two high yielding wheats, HY320 and DT367, compared to two standard cultivars, Neepawa and Wakoma. Canadian Journal of Plant Science, 68:915-928.
- Davidson, D. J., Chevalier, P. M. 1990. Preanthesis tiller mortality in spring wheat. Crop Science, 30: 832-836.
- Deus, J. 1995. El diminuto grano sigue todavía un largo camino hacia la variedad perfecta. Revista Ciencia, Innovación y Desarrollo. Información Científica y Tecnológica, 1:6-8.
- Díaz, S., Cristo, E., Morejón, R., Castro, R., Shiraishi, M., Dhanappala, M. y Keisuke, A. 2013. 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, 34:42-50.
- Duggan, B. L., Domitruk, D. R., Fowler, D. B. 2000. Yield component variation in winter wheat grown under drought stress. Canadian Journal Plant Science, 80: 739–745.
- Ehdaie, B., Alloush, G.A., Madore, M. A., Waines, J.G. 2006 a. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat. I. Posanthesis changes in internode dry matter. Crop Science, 46:735-746.

- Ehdaie, B., Alloush, G. A., Madore, M. A., Waines, J. G. 2006 b. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat. II. Postanthesis changes in internode water-soluble carbohydrates. *Crop Science*, 46:2093-2103.
- Ehdaie, B., Alloush, G. A., Waines, J. G. 2008. Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat. *Field Crops Research*, 106:34-43.
- Escalante, J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Tierra*, 17:149-157.
- Evans, J. R. 2013. Improving photosynthesis. *Plant Physiology*, 162:1780–1793.
- Evans, S. A., Neild, A. 1981. The achievement of very high yields of potatoes. *Journal Agricultural Science, Cambridge*, 97:391-396.
- Evers, J. B., Vos, J., Fournier, C., Andrieu, B., Chelle, M., Struik, P. C. 2005. Towards a generic architectural model of tillering in Gramineae, as exemplified by spring wheat (*Triticum aestivum*). *New Phytologist*, 166: 801-812.
- Fageria, N. K. 2007. Yield Physiology of Rice. *Journal of Plant Nutrition*, 30:1-37.
- Feng, Q., Zhang, Y., Hao, P. 2002. Sequence and analysis of rice chromosome 4. *Nature*, 420:316–20.
- Fischer, R. A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 105: 447-461.
- Fischer, R. A. 2007. The importance of grain or kernel number in wheat: A reply to Sinclair and Jamieson. *Field Crops Research*, 101:204.-202.

- Ford, M. A., Austin, R. B., Gregory, R. S., Morgan, C. L. 1984. A comparison of the grain and biomass yields of winter wheat, rye and triticale. *Journal Agricultural Science. Cambridge*, 103:395-403.
- Foulkes, M. J., Scott, R. K., Sylvester B. R. 2002. The ability of wheat cultivars to grown under drought stress. *Canadian Journal of Plant Science*, 80:739–745
- Foulkes, M. J., Slafer, G. A., Davies, W. J., Berry, P. M., Sylvester, B. R., Martre, P., Calderini, D. F., Griffiths, S., Reynolds, M. P. 2011. Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance. *Journal of Experimental Botany*, 62: 469-486.
- Franco, I., Ramírez, A. 2000. Variación de las fases del cultivo del arroz bajo condiciones de aniego en función de la época de siembra. *Revista Cubana del Arroz*, 2:21-26.
- Fujii, S., Saka, H. 2001. Distribution of assimilates to each organ in rice plants exposed to a low temperature at the ripening stage and the effect of brassinolide on the distribution. *Plant Production Science*, 4:136-144.
- Gallagher, J. N. 1979. Field studies of cereal leaf growth. I. Initiation an expansion in relation to temperature and ontogeny. *Journal of Experimental Botany*, 117:625-636.
- García del Moral, L. F., Morena, I., Ramos, J. M. 1987. Biomasa, duración del área foliar y proporción grano/hoja en relación con la cosecha y sus componentes en cebada. *Agricultura Mediterranea*, 117:163-170.

- García del Moral, L. F., Ramos, J. M., Recalde, L. 1985. Relationship between vegetative growth, grain yield and grain protein content in six winter barley cultivars. *Canadian Journal Plant Science*, 65:523-532.
- García del Moral, L. F., Rharrabti, Y., Elhani, S., Martos, V., Royo, C. 2005. Yield formation in mediterranean durum wheat under two contrasting water regimes based on path-coefficient analysis. *Euphytica* 146:213–222.
- García del Moral, L. F., Rharrabti, Y., Villegas, D., Royo, C. 2003. Evaluation of grain yield in wheat. *Canadian Journal Plant. Science*, 69:625-643.
- García del Moral, M. B, García del Moral, L. F. 1995. Tiller production and survival in relation to grain yield in spring and winter barley. *Field Crops Research.*, 44:85-93.
- García, A., Dorado, M., Pérez, I., Cun, R., López, T., Montilla, E. 2009. Acumulación de biomasa seca en diferentes órganos de la planta de arroz en condiciones de déficit hídrico. *Agronomía Tropical*, 59:15-24.
- García, A., Dorado, M., Pérez, I., Montilla E. 2010. Efecto del déficit hídrico sobre la distribución de fotoasimilados en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.). *Interciencia*, 35:50-54.
- García, D., Torres, W., Núñez, M. 1998. Análisis del crecimiento de callos de *Coffea canephora* var. Robusta en presencia del análogo de brasinosteroide MH5. *Cultivos Tropicales*, 19:55-60.
- Gardner, F.P.; Brent P., R; Mitchel, R.L. 1985. Carbon fixation by crop canopies. In: *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. p. 31-57.

- Gebbing, T., Schnyder, H., Kuhbauch, W. 1999. The utilization of pre-anthesis reserves in grain filling of wheat. Assessment by steady-state (CO<sub>2</sub>)-C-13/(CO<sub>2</sub>)-C-12 labelling. *Plant and Cell Environment*, 22:851-858.
- Gent, M. P., Kiyomoto, R. K. 1989. Assimilation and distribution of photosynthate in winter wheat cultivars differing in harvest index. *Crop Science*, 29:120-125.
- González, C., Linares, O. 2008. Efecto de la *Sesbania rostrata* sobre el rendimiento agrícola de arroz de aniego. En Resúmenes del 4 Encuentro Internacional del Arroz, La Habana. Pág. 64-65.
- Gowik, U., Westhoff, P. 2011. The path from C<sub>3</sub> to C<sub>4</sub> photosynthesis. *Plant Physiology*, 155:56–63.
- Hasanuzzaman, M., Ahamed, K. U., Rahmatullah, N. M., Akhter, N., Nahar, K., Rahman, M. L. 2010. Plant growth characters and productivity of wetland rice (*Oryza sativa* L.) as affected by application of different manures. *Journal of Food and Agriculture*, 22:46-58.
- Hatfield, J. L., Gitelson, A. A., Schepers, J. S., Walthall, C. L. 2008. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agronomy Journal*, 100: 117–131.
- He, H. Y., Koike, M., Ishimaru, T., Ohsugi, R., Yamagushi, T. 2005. Temporal and spatial variations of carbohydrate content in rice leaf sheath and their varietal difference. *Plant Production Science*, 8:546-552.
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D., Rivero, L. 1999. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana: AGRINFOR. 64 p.

- Hernández, C. N., Soto, C. F. 2012.a Influencia de tres fechas de siembra sobre el crecimiento y la relación fuente-demanda del cultivo del maíz (*Zea mays* L.). *Cultivos Tropicales*, 33:28-34.
- Hernández, C. N., Soto, C. F. 2012 b. Influencia de tres fechas de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivadas en condiciones tropicales. Parte I. Cultivo del maíz (*Zea mays* L.). *Cultivos Tropicales*, 33: 44-49.
- Hirai, Y.; Tagami, K.; Hamagami, K.; Uchida, S.; Inaba, S. y Mori, K. 2008. Evaluation of environment on rice production for the rice terraces in Hoshino Village. *Kyushu University Journal Faculty of Agronomy*, 53:95-100.
- Hirano, T., Daito, Y., Ushimaru, H., Michiyama, H. 2005. The effect of the amount of nitrogen fertilizer on starch metabolism in leaf sheath of japonica and indica rice varieties during heading period. *Plant Production Science*, 8:122-130.
- Hirose, T., Endler, A., Ohsugi, R. 1999. Gene expression of enzymes for starch and sucrose metabolism and transport in leaf sheaths of rice (*Oryza sativa* L.) during heading period in relation to the sink to sucrose transition. *Plant Production Science*, 2:178-183.
- Hossain, M. A., Sarkar, M., A. and Paul, S. K. 2011. Growth analysis of late transplant aman rice (cv. BR23) raised from tiller seedlings. *Libyan Agricultural Research Center Journal International*, 2:265-273.
- Hucl, P.; Baker, R.J. 1987. A study of ancestral and modern Canadian spring wheats. *Canadiand Journal Plant Science*, 67:87-97.

- lizumi, A., Sibley, A., Ortiz, M. I. 2009. Probabilistic evaluation of climate change impacts on paddy rice productivity in Japan. *Climatic Change*, 107:169–197.
- lizumi, A., Sibley, A., Ortiz, M. I. 2012. Extreme heat effects on wheat senescence in India. *Nature Climate Change*, 2:186–189.
- Instituto de Investigaciones del Arroz. 2004. Fisiología de la planta de arroz. *Revista ANAP*, 4:1-13.
- International Rice Research Institute. 2010. Annual Report. IRRI. Los Baños, Lagunas. p. 110-112.
- Ittersum, M. K., Rabigine, R. 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*, 52: 197-208.
- Jaffuel, S., Dautat, J. 2005. Synchronism of leaf and tiller emergence relative to position and to main stem development stage in a rice cultivar. *Annals of Botany*, 95:401-412.
- Jahan, N., Golam, M. 2011. Comparative growth analysis of two varieties of rice following naphthalene acetic acid application. *Journal of Bangladesh Academy of Sciences*, 35:13-120.
- Japan International Cooperation Agency. 2007. Curso de Capacitación Especial para Cuba sobre la temática de Cultivo de Arroz en pequeña escala. Centro Internacional de Tsukuba, 90 pag.
- Jarma, A., Rengifo, T., Aramendiz, H. 2006. Physiology of stevia (*Stevia rebaudiana*) regarding radiation near the Colombian Caribbean coast.: II. Growth analysis. *Agronomía Colombiana*, 24:38-47.

- Jerez, E., Martín, R. 2012. Comportamiento del crecimiento y el rendimiento de la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) Spunta. *Cultivos Tropicales*, 33:53-58.
- JICA. 2007. Curso de Capacitación Especial para Cuba sobre la temática de Cultivo de Arroz en pequeña escala. Centro Internacional de Tsukuba, 90 pag.
- Jin, Z. X., Qian, C. R., Yang, J., Liu, H. Y., Jin, X. Y. 2005. Effect of temperature at grain filling stage on activities of key enzymes related to starch synthesis and grain quality of rice. *Rice Science*, 12: 261-266.
- Karimi, M. M., Siddique, K. H. 1991. Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research*, 42:13-20.
- Kato, T. 1995. Change of sucrose synthase activity in developing endosperm of rice cultivars. *Crop Science*, 35:827–831.
- Kato, Y., Kamoshita, A., Yamagishi, J., Himoto, H., Abe, J. 2007. Growth of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars under upland condition with different level of water supply 3. Root system development, soil moisture change and plant water status. *Plant Production Science*, 10: 3-13.
- Katsura, K., Maeda, S., Lubis, I., Horie, T., Cao, W., Shiraiwa, T. 2008. The high yield of irrigated rice in Yunnan, China “A cross-location analysis”. *Field Crops Research*, 107:1-11.
- Kiniry, J. R., Jones, C. A., O'Toole, J. C., Blanchet, R., Cabelguenne, M., Spanel, D. A. 1989. Radiation-use-efficiency in biomass accumulation prior to grain filling for five grain crop species. *Field Crops Research*, 20:51-64.

- Kiniry J. R., Mc Cauley G., Xie Y., Arnorl J.G. 2001. Rice parameters describing crop performance of four U.S. cultivars. *Agronomy Journal*, 93:1354-1361.
- Koyama, K., Kikuzawa, K. 2009. Is whole plant photosynthetic rate proportional to leaf area? A test of scaling and a logistic equation by leaf demography census. *The American Naturalist*, 173:640-649.
- Kvet J, Ondok JP, Necas J y Jarvis PG. 1971. Methods of growth analysis. En *Plant photosynthetic production. Manual of methods*. Editado por Z. Sestak, J. Catsky, P. G., Jarvis. pp 343-391.
- Lalitha, K., Reddy. K., Rao, D. R. 1999. Influence of temperature and sunshine hours on tiller production in lowland rice varieties. *Journal of Agrometeorology*, 10:187-190.
- Lalitha, K., Reddy, K., Rao, D. R. 2000. Influence of temperature on duration of tillering in lowland rice varieties. *Journal of Agrometeorology*, 12:65-68.
- Lauer, J.G. 1989. Canopy light and tiller mortality in spring barley. *Crop Science*, 29: 420-424.
- Laza, M. R., Peng, S., Akita, S., Saka, H. 2004. Effect of panicle size on grain yield of IRRI-released indica rice cultivars in the wet season. *Plant Production Science*, 7:271-276.
- Lázaro, L., Abbate, D., Cogliatti, D., Andrade, F. 2010. Relationship between yield, growth and spike weight in wheat under phosphorus deficiency and shading. *Journal Agricultural Science*, 148: 83-93.

- Lerch, G., Fontaines, J., Socorro, M. 1972 a. Desarrollo y rendimiento del arroz en la variedad IR-8 en Cuba. Efecto de la densidad de la población y del clima en el invierno de 1970-71. *Agricultura*, 5:24-45.
- Lerch, G., Fontaines, J., Socorro, M. 1972 b. Desarrollo y rendimiento del arroz en la variedad IR-8 en Cuba. Efecto de la densidad de población en la siembra del verano de 1970. *Agricultura*, 5:1-24.
- Lin, X. Q., Wang, Y. F., Zhu, D. F., Luo, Y. K. 2001. The non-structural carbohydrate of the stem and sheath in relation to panicle characteristics in rice. *Chinese Journal of Rice Science*, 159: 155-157.
- Lindquist, J., Arkebauer, T., Walters, D., Cassman, K., Dobermann, A. 2005 Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agronomy Journal*, 97:72-78.
- López, L. 1991. Cultivos herbáceos. I. Cereales. Ediciones Mundi-Prensa Castelló, 37. Madrid. pág 419.
- López, S. T., González, R. F., García, A., L. A., Herrera, P. J., Cid, L. G. 2010. Adecuación de un modelo de simulación de cultivo para la predicción del crecimiento y producción del arroz en el sur de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19: 57-64.
- López, T. S., Herrera, P. J., González, R. F., Cid, L. G., Chaterlan, D. Y. 2009. Eficiencia de un modelo de simulación de cultivo para la predicción del rendimiento del maíz en la región del sur de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18:1-6.

- Lövenstein, H., Lantinga, E. A., Rabbinge, R., Van Keulen, H. 1992. Principles of theoretical production ecology. Course Book. Wageningen Agricultural University. Department of Theoretical Production Ecology, 180 pp.
- Lubis, I., Shiraiwa, T., Ohnishi, M., Horie, T., Inoue, N. 2003. Contribution of sinks and sources sinks to yield variations among rice cultivars. *Plant Production Science*, 6:119-125.
- Lucas, M., Laplaze, L., Bennett, M., 2011. Plant systems biology: network matters. *Plant Cell and Environment*, 34:535–553.
- Mae, T. 1997. Physiological nitrogen use efficiency in rice: nitrogen utilization, photosynthesis and yield potential. *Plant and Soil*, 196:201-210.
- Maqueira, L. A., González, D., Torres, W., Masaaki, Sh. 2014. Evaluación del comportamiento de variables del crecimiento en variedades de arroz de tipo Japónica bajo condiciones de secano favorecido. *Cultivos Tropicales*, 35: 43-49
- Mariscal, M. J. 2000. Modelling and measurement of radiation interception by olive canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 100:183-197.
- Masutomi, Y., Takahashi, K., Harasawa, H., Matsuoka, Y. 2009. Impact assessment of climate change on rice production in Asia in comprehensive consideration of process/parameter uncertainty in general circulation models. *Agriculture Ecosystem Environment*, 131:281–291
- McCraig, T., Clarke, J. M. 1982. Seasonal changes in non-structural carbohydrate levels of wheat and oats grown in a semiarid environment. *Crop Science*, 22:963-970.

- McMaster, G. S. 1997. Phenology, development and growth of the wheat (*Triticum aestivum* L.) shoot apex. A review. *Advance in Agronomy*, 59:63-118.
- Méndez, P. 2011. Arroz: ¿estabilidad o nueva alza de los precios mundiales? [en línea]. Informativo mensual del mercado mundial del arroz, (84) Febrero 2011. Infoarroz, Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD) [Consulta: 16 Junio 2011]. Disponible en: [www.infoarroz.org](http://www.infoarroz.org)
- MINAG. 2001. Instructivo técnico cultivo de arroz. La Habana. Instituto de Investigaciones del Arroz. 93 p.
- MINAG. 2005. Instructivo técnico cultivo de arroz. La Habana. Instituto de Investigaciones del Arroz. 113 p.
- MINAG. 2008. Instructivo técnico cultivo de arroz. La Habana. Instituto de Investigaciones del Arroz. 113 p.
- MINAG. 2011. Modificaciones al Instructivo Técnico para el cultivo del arroz. Instituto de Investigaciones de Granos. La Habana, 30 p.
- Miralles, D. J., Katz, S. D., Colloca, A., Slafer, G. A. 1998. Floret development in near isogenic wheat lines differing in plant height. *Field Crops Research*, 59: 21-30.
- Mohapatra, P. K., Masamoto, Y., Morita, S., Takanashi, J., Kato, T., Itani, T., Adu-Gyamfi, J. J., Shunmugasundaram, M., Nguyen, N.T., Saneoka, H., Fujita, K. 2004. Partitioning of <sup>13</sup>C-labelled photosynthate varies with growth stage and panicle size in high-yielding rice. *Functional Plant Biology*, 31:131-139.

- Moradpour, S., Koochi, R., Babaei, M., Goldoust, M. 2013. Effect of planting date and planting density on rice yield and growth analysis (Fajr variety). *International Journal Agricultural Crop Science*, 5:267-272.
- Morales, D., Rodríguez, P., Dell'Amico, J., Torrecillas, A., Sánchez, M. 2006. Efecto de altas temperaturas en algunas variables del crecimiento y el intercambio gaseoso en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill cv.Amalia). *Cultivos Tropicales*, 27:45-48.
- Morejón, R., Hernández, J. J., Díaz, S. 2005. Comportamiento de variedades comerciales de arroz (*Oryza sativa* L.) en cuatro granjas del Complejo Agroindustrial Arroceros Los Palacios. *Cultivos Tropicales*, 26:77-81.
- Morejón, R., Díaz, S. H. 2013. Combinación de las técnicas estadísticas multivariadas y el diseño aumentado modificado (DAM) en la selección de líneas de prueba en el programa de mejoramiento genético del arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales*, 34:65-70.
- Morejón, R.; Hernández, J. J., Díaz, S. H. 2012. Comportamiento de tres variedades comerciales de arroz en áreas del Complejo Agroindustrial Arroceros «Los Palacios». *Cultivos Tropicales*, 33:46-49.
- Morita, S. 2000. Effects of high air temperature on ripening in rice plants analysis of ripening performance in growth chamber experiments. *Japanese Journal of Crop Science*, 69:391-399.
- Nagata, K., Yoshinaga, S., Kobayashi, H., Takanashi, J. 1997. Characteristics of growth and yield of Japanese high-yielding rice (*Oryza sativa* L) varieties

- cultivated in the Shikoku area [Japan]. Bulletin of the Shikoku National Agricultural Experiment Station (Japan), 61:107-117.
- Nagata, K., Yoshinaga, S., Takanashi, J., Terao, T. 2001. Effects of dry matter production of non-structural carbohydrates and nitrogen application on grain filling in rice cultivar Takanari, a cultivar bearing a large number of spikelets. Plant Production Science, 4:173-183.
- Nakamura Y, Yuki K, Park SY. 1989. Carbohydrate metabolism in the developing endosperm of rice grains. Plant and Cell Physiology 30, 833–839.
- Nakamura, Y., Yuki, K., Park, S. Y. 1989. Carbohydrate metabolism in the developing endosperm of rice grains. Plant and Cell Physiology, 30:833–839.
- Nargis, J., Golam, A. 2011. Comparative Growth Analysis of two varieties of rice following naphthalene acetic acid application. Journal of Bangladesh Academy of Sciences, 35:113-120.
- Okawa, S., Makino, A., Mae, T. 2003. Effect of irradiance on the partitioning of assimilated carbon during the early phase of grain filling in rice. Annals of Botany, 92: 357-364.
- ONEI. 2014. Sector agropecuario indicadores seleccionado. Oficina Nacional de Estadística e Información. Edición enero 2014. La Habana Cuba. 13p.
- Parry, M. A., Reynolds, M., Salvucci, M. E., Raines, C., Andralojc, P. J., Zhu, X.-G., Price, G. D., Condon, A. G., Furbank, R.T. 2011. Raising yield potential of wheat. II. Increasing photosynthetic capacity and efficiency. Journal of Experimental Botany, 62: 453-467.

- Peil, R., Gálvez, J. R. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Revista Brasileira Agrociencia*, 11:5-11.
- Peng, S., Cassman, K. G., Virmani, S. S., Sheehy, J., Khush, G. S. 1999. Yield potential trends of tropical rice since the release of IR8 and the challenge of increasing rice yield potential. *Crop Science*, 39:1552-1559.
- Pérez de Vida, F. 2010. 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*, 32:8-12.
- Pérez, N. 1998. Variedad de Arroz INCA LP-2. *Cultivos Tropicales*, 19:67.
- Pham, D., Hirano, M., Sagawa, S., Kuroda, E. 2004. Varietal differences in tillering and yield response of rice plants to nitrogen - free basal dressing accompanied with sparse planting density in the Tohoku region of Japan. *Plant Production Science*, 7:3-10.
- Pheloung, P. C., Siddique, K. H. 1991. Contribution of stem dry matter to grain yield in wheat cultivars. *Australian Journal Plant Physiology*, 18:53-64.
- Polón, P. R., Castro, A. R., Ruiz, S. M., Maqueira, L. 2012. Práctica de diferentes alturas de corte a cultivo de rebrote y su influencia en el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.) en una variedad de ciclo medio. *Cultivos Tropicales*, 33:59-62.

- Polón, R., Castro, I., Pérez, N., Cristo, E., Morejón, R. Parra, Y. 2003. Influencia de la altura de la soca en el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.) en una variedad de ciclo corto. *Cultivos Tropicales*, 24:55-57.
- Polón, R., Castro, I., Pérez, N., Morejón, R., Ramírez, M. A., Miranda, A., Rodríguez, A. 2006. Influencia de la altura de la soca en el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.) en una variedad de ciclo medio (J-104). *Cultivos Tropicales*, 27:53-55.
- Polón, R., Castro, R. 1999. Aplicación del estrés hídrico como alternativa para incrementar el rendimiento en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) *Cultivos Tropicales*. 20:37-39.
- Puldón, Violeta, Enrique, S., Alfonso, R., Gómez, P., Pérez, R., Montalvo, L., Pachón, H., Pompilio, C. Z. 2011 a. Evaluación sensorial de la variedad de arroz IACuba 30 con mayor valor nutricional. En *Resúmenes del 5 Encuentro Internacional del Arroz*, La Habana. Pág. 52-61.
- Puldón, Violeta, Gómez, P. J., Suárez, E., Martínez, C., Rodríguez, S., Suárez, D., Limia, J., Pérez, R., R. Hernández, R., Pachón, H., Padrón, M., Valdés, L. 2011 b. Agrosalud en cuba: una asociación agrícola y de salud. En *Resúmenes del 5 Encuentro Internacional del Arroz*, La Habana. Pág. 2-25.
- Quintero, C. E. 2009. Factores limitantes para el crecimiento y productividad del arroz en Entre Ríos, Argentina. [Tesis de Doctorado]. Universidad da Coruña. España. 167 p.

- Ralph, A. Assol, D., Magalhaes, A., Costa, A., Bacarin, M. 2009. Crescimento e partição de arroz diferindo no potencial de produtividade de grãos. *Bragantia*, 68:563-571.
- Ramírez, E. M., Alfonso, R. V., Medina, V. 1998. Efecto de dos densidades de siembra en las características morfológicas de la panícula de arroz (*Oryza sativa* L.). En: Resúmenes del Encuentro Internacional de Arroz, La Habana, Pág. 194-195
- Ramos, J. M., García del Moral, L. F., Recalde, L. 1985. Vegetative growth of winter barley in relation to environmental conditions of grain yield. *Journal Agricultural Science, Cambridge*, 104:413-419.
- Reddy, T. G., Mahadevappa, M., Kurcarni, K. R. 2000. Rice ratoon crop management in hilly regions of Karmataca, Índian. *International Rice Research Newsletters*, 4:22-23.
- Rodríguez, W., Flores, V. 2006. Comportamiento fenológico de tres variedades de rosas rojas en función de la acumulación de temperatura. *Agronomía Colombiana*, 27:9-10.
- Royo, C., Villegas, D., Rharrabti, Y., Blanco, R., Martos, V., García del Moral, L.F. 2006. Grain growth and yield formation of durum wheat grown at contrasting latitudes and water regimes in a Mediterranean environment. *Cereal Research. Communications*, 34:1021-1028.
- Ruiz, M., Díaz, G. S., Polón, R. 2005. Influencia de las tecnologías de preparación de suelo cuando se cultiva arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales*, 26:45-52.

- Saini, H. S., Westgate, M. E. 2000. Reproductive development in grain crops during drought. *Advances in Agronomy*, 68:59-95.
- Salive, A. 2000. Fenología de las nuevas variedades Fedearroz 2000 y Colombia XXI. *Revista Arroz*, 49:16-17.
- San-oh, Y., Mano, Y., Okawa, T., Hirasawa, T. 2004. Comparison of dry matter production and associated characteristics between direct-sown and transplanted rice plants in a submerged paddy field and relationships to planting patterns. *Field Crops Research*, 87:43-58.
- Santos, M., Segura, M., Núñez, C. E. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista de la Facultad Nacional Agrícola de Medellín*, 63:5253-5266.
- Sarvestani, Z. T., Pirdashti, H., Sanavy, S. A., Balouchi, H. 2008. Study of water stress effect in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Pakistan Journal Biological Science*, 11:1303-1309.
- Sato, A.M., Catuchi, T.A., Ribeiro, R.V., Souza, G. M., 2010. The use of network analysis to uncover homeostatic responses of a drought-tolerant sugarcane cultivar under severe water deficit and phosphorus supply. *Acta Physiologia Plantarum*, 32:1145–1151.
- Schepers, A. R., Shanahan, J. F., Liebig, M. A., Schepers, J. S., Johnson, S. H., Luchiari, A. 2004. Appropriateness of management zones for characterizing

- spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. *Agronomy Journal*, 96:195–203.
- Seneweera, S. P., Conroy, J. P., Ishimaru, K., Ghannoum, O., Okada, M., Lieffering, M., Kim, H. Y., Kobayashi, K. 2002. Changes in source-sink relations during development influences photosynthetic acclimation of rice to free air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE). *Functional Plant Biology*, 29: 945-953.
- Sharma, A. y Singh. E. 1999. En: Smith, D. y Hamel, C. (Ed). Springer, Berlin, p. 99-139.
- Sheehy, S. H., Peng, S., Dobermann, A., Michell, P. L., Ferrer, A., Yang, J., Zou, Y., Zhong, X., Huang, J. 2004. Fantastic yields in the system of rice intensification: fact or fallacy. *Field Crops Research*, 88:1-8.
- Sibony, M., Pinthus, M. J. 1988. Floret initiation and development in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Annals Botany*, 61:473-479.
- Siddique, K. H., Belford, R. K., Perry, M. W., Tennant, D. 1989 a. Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a mediterranean-type environment. *Australian Journal of Agricultural Research*, 68:320-326.
- Siddique, K. H., Kirby, E.J., Perry, M. W. 1989 b. Ear-to-stem ratio in old and modern wheats; relationship with improvement in number of grains per ear and yield. *Field Crops Reserch*, 21:59-78.
- Silva, N. E., Ferreira-Silva, S. L., Fontenele, A. V., Ribeiro, R. V., Viégas, R. A., Silveira, J. A. G. 2010. Photosynthetic changes and protective mechanisms against oxidative damage subjected to isolated and combined drought

- and heat stresses in *Jatropha curcas* plants. *Journal of Plant Physiology*, 165:1157–1164.
- Simons, R. G. 1982. Tiller and ear production of winter wheat. *Field Crop*, 35: 857-870.
- Sinclair, T. R. Muchow, R. C. 1999. Radiation Use Efficiency. *Advances in Agronomy*, 65:215-265.
- Sinclair, T.R., Jamieson, P.D. 2006. Grain number, wheat yield, and bottling beer: An analysis. *Field Crops Research*, 98:60–67.
- Sinclair, T.R., Jamieson, P.D. 2007. Yield and grain number of wheat: A correlation or causal relationship? Authors' response to "The importance of grain or kernel number in wheat: A reply to Sinclair and Jamieson" by R.A. Fischer. *Field Crops Research*, 105:22-26.
- Slafer, G. A., Andrade, F. H. 1991. Changes in physiological attributes of the dry matter economy of bread wheat (*Triticum aestivum*) through genetic improvement of grain yield potential at different regions of the world. A review. *Euphytica*, 58:37-49.
- Slafer, G. A., Savin, R. 1994. Source-sink relationships and grain mass at different positions within the spike in wheat. *Field Crops Research*, 37:39-49.
- Slafer, G. A., Calderini, D. F., Miralles, D. J. 1996. Generation of yield components and compensation in wheat. opportunities for further increasing yield potential. En: *Increasing yield potential in wheat: Breaking the barriers*, Ed. M.P. Reynolds, CIMMYT, México, p. 101-133.

- Soroa, M. R., Soto, F., Terry, E. 2007. Crecimiento de posturas de *Gerbera jamesonii* establecidas con diferentes alternativas nutricionales. *Cultivos Tropicales*, 228, p. 41-49.
- Soto, F., Hernández, N. 2012. Influencia de tres fechas de siembra en el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivadas en condiciones tropicales. Parte II. Cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench var. Isiap Dorado). *Cultivos Tropicales*, 33:50-55.
- Soto, F., Plana, R., Hernandez, Naivi. 2009. Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp.) y triticale (X *Triticum secale* Wittmack) y su relación con el rendimiento. *Cultivos Tropicales*, 30:32-36.
- Sparkes, D. L., Holme, S. J., Gaju, O. 2006. Does light quality initiate tiller death in wheat? *European Journal of Agronomy*, 24: 212-217.
- Suárez, E., Deus, J. E., Fuentes, J. L., Duany, A. 2002. Avances y perspectivas de programa de mejoramiento genético del arroz en Cuba. IIA. En: Encuentro Internacional del Arroz. (2:2002: La Habana). 74p.
- Takai, T., Fukuta, Y., Shiraiwa, T., Horie, T. 2005. Time-related mapping of quantitative trait loci controlling grain-filling in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany*, 56:2107-2118.
- Takami, S., Kobata, T., Van Bavel, C. H. 1990. Quantitative method for analysis of grain yield in rice. *Agronomy Journal*, 82:1149-1153.

- Tao, F., ZHANG, Z. 2013. Climate Change, High-temperature stress, rice productivity, and water use in eastern china: A New superensemble-based probabilistic projection. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52:531-552.
- Torres, W. 1989. Análisis del crecimiento de las plantas. San José de las Lajas. 38 p.
- Torres, W., Álvarez, F. 1991. Comportamiento del índice de área foliar de caña de azúcar (*Saccharum* sp) en varias cepas y bajo diferentes tratamientos. *Cultivos Tropicales*, 12: 38-43.
- Valadez, G. J., Mendoza, O. L., Vaquera, H. H., Córdoba, T. L., Mendoza, C. M., García, S. G. 2006. Raleo de flores, rendimiento de semilla y distribución de materia seca post-antesis en sorgo. *Agrociencia*, 40:303-314.
- Valdez, J. B., Soto, F., Osuna, F., Baez, M. A. 2012. Phenological prediction models for white corn (*Zea mays* L.) and fall armyworm (*Spodopterafrugiperda* J. E. Smith). *Agrociencia*, 46:399-410.
- Watanabe, Y., Nakamura, Y., Ishii, R. 1997. Relationship between starch accumulation and activities of the related enzymes in the leaf sheath as a temporary sink organ in rice (*Oryza sativa* L.). *Australian Journal of Plant Physiology*, 24: 563-569.
- Wells, B. R. 1996. Rice Research Studies. Arkansas Agricultural Experiment station, University of Arkansas, 253 p.
- Won, J. G., Yoshida, T., Uchimura, Y. 2002. Genetic effect on amylose and protein contents in the crossed rice seeds. *Plant Production Science*, 5:17-21.