



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ciencias
Escuela de Biología
Departamento de Ecología



Trabajo Especial de Grado:

Evaluación del potencial de rendimiento en 14 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.), cultivadas en Venezuela desde la década de los años 50.

T.E.G.

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela,
por el Bachiller **Givonik Marrero**
como requisito parcial a optar al
título de Licenciado en Biología.

Tutores:

Dr. Alejandro Pieters

(Centro de Ecología – Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas)

Dra. Marcia Toro

(Instituto de Zoología Tropical – Universidad Central de Venezuela)

CARACAS – VENEZUELA

Mayo 2010

DEDICATORIA

Mi Trabajo Especial de Grado lo dedico:

A mis maravillosos y protectores padres ***Gisela González*** y ***Freddy Marrero***.

A mi hermosa y cariñosa hermana ***Fergis Marrero***.

A mi bella y amorosa mamá ***Antonia Galboza***.

Y no por ser el último en nombrar deja de formar parte vital en mi existencia, a mi incondicional y fiel compañero de vida ***Rommel Rodríguez***.

AGRADECIMIENTOS

Son tantos los agradecimientos que quiero dar, que me disculpo si se me olvida nombrar a alguno(s). Para comenzar, agradezco a Dios todo poderoso que me permitió terminar con éxito esta licenciatura a través de este Trabajo Especial de Grado. A San Judas Tadeo, donde en cada oportunidad que tenía lo visitaba en su santuario para pedirle, entre otras cosas, finalizar esta carrera con éxito y muy pronto. A todos los santos que mi mamá (**Gisela**) me sugería que le pidiera por mi graduación. Gracias San Miguel Arcángel, Divino Niño Jesús, Milagrosa Reina María Lionza, Nazareno de San Pablo, San Caralampio, Lino Valle y Nuestra Señora de Coromoto. Agradezco a mi abuela Isabel Díaz que nunca me ha abandonado, ni a mi familia y siempre nos ampara desde el cielo.

Por la parte terrenal, quiero agradecer a las personas que me ayudaron en diferentes etapas de mi carrera y que hoy por hoy son parte de mi círculo de amigos. Gracias Diana, José Luis, Gaviota, Diamarys, Adriana, Mariana, Edward, Eyleen, María Gabriela, Yurbis, Eluzmar, Verónica, Pedro, Erick, Vane (China), Juan Carlos, ... , son tantos; todos son muy preciados para mí.

Con Diana y José Luis he compartido momentos importantes en mi vida, alegrías, depresiones, enfermedades, de todo; son muy importantes para mí, los quiero mucho muchachos.

Diamarys siempre ha sido una persona que ha compartido mucho conmigo y me ha apoyado incluso cuando ella ya estaba a salvo de una mala calificación, nunca olvidare cuando ella me abrió las puertas de su casa para ayudarme a estudiar para una materia que necesitaba aprobar, la cual ella ya había aprobado. Gracias Diama, te quiero.

Mi gran apoyo a comienzos y mediados de este TEG, así como también a lo largo de la carrera, fue Gaviota, quién más de una vez sacrifico más de un fin de semana y horas de sueño para ayudarme a entender este tema, estudiando hasta altas horas de la noche conmigo; inclusive desde otro continente ella me apoyó y me entregó lo mejor de ella para mi superación como tesista.

Gracias Gaviota, me hiciste mucha falta durante la presentación final de mi tesis, pero se que estabas conmigo en pensamiento y la tecnología nos unió por una llamada, fue muy significativo para mí, haber sido la primera en felicitar me como nuevo Lic. en Biología, te adoro.

Desde el IVIC también conseguí un pequeño grupo que me apoyo; gracias a Malfy, Shaybeth, Dalia, Maribel, Marisela y María Isabel. Cada una a su manera me guío y apoyo en mi aventura por la tesis. Besos y abrazos a todas. Gracias.

Fuera y dentro de Biología formé un grupo donde crecimos todos juntos. Quiero dar las gracias a Lorena, Kelly, Walther, Jean Carlos, Carla y Elizabeth, por compartir conmigo grandes momentos y enseñanzas de vida.

En especial quiero darle las gracias a mi particular y mejor amigo Miguel Ángel Ramírez, persona muy diferente a los demás y hasta no comprendidos por la mayoría, pero a cual le entregue mi amistad y hasta el sol de hoy, claro con su variantes, somos y seremos grandes amigo. Se que siempre puedo contar contigo, como sabes que puedes contar conmigo Negro, te quiero.

Quiero dar un enorme agradecimiento a la Dr. Marcia Toro, por ser como yo cariñosamente la llamo, Mi Ángel de la Guardia. Sin su apoyo, constancia y dedicación a mi, no hubiese podido obtener este gran logro. Muchas gracias por ser la luz que me iluminó en la oscuridad.

Casi al final de la meta, conseguí a una persona que me dio el último impulso para culminar con éxito la carrera. Muchas gracias Roschman, por darme tantos conocimientos en tan poco tiempo, mil gracias.

Extiendo mi gratitud a la División de Control de Estudios y a la Dirección de la Escuela de Biología. Gracias por apoyarme y confiar en mí en todo momento.

Por parte de mi familia quiero dar las gracias a Gisela, Fergis, Freddy, Mi Mamá Antonia, Conny, Humberto y Leydis. Cada uno a su manera me ayudo en todo lo que necesitaba y me apoyó en todo momento, culminé feliz esta etapa de mi vida y se los debo a ellos. A todos los quiero y les doy las gracias por este triunfo. Los amos y los adoro.

La persona a la que voy a dar le las gracias en estas líneas, es la que yo diría, la más importante y a la cual le debo el mayor porcentaje de este triunfo, porque es un logro de los dos. Rommel muchas gracias por ser mi luz, mi protección, mi inspiración, mi dedicación, mi todo para alcanzar este tan esperado título de Licenciado en Biología, mención Ecología. Eres el que siempre estuvo allí contra todo contratiempo, gracias por levantarme cada vez que caí, y mira que fueron muchas las veces, pero siempre estuviste ahí dispuesto a dar el todo por el todo por mí. A ti te debo este gran regalo del cielo, de ser hoy en día un Profesional. Juntos seguiremos evolucionando y te lo agradezco desde lo más profundo de mi corazón, sabes que es así. Millones de Gracias.

Agradezco a la Universidad Central de Venezuela por permitirme ser el eterno y gran ucevista que siempre seré. Gracias.

ÍNDICE

RESUMEN.....	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABLAS	13
INTRODUCCIÓN.....	14
ANTECEDENTES	18
OBJETIVOS.....	24
Objetivos generales	24
Objetivos específicos.....	24
MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
Ubicación y descripción de las áreas de estudio	25
Material vegetal.....	27
Preparación del suelo	28
Trasplante y diseño experimental.....	28
Control de malezas	28
Riego y fertilización.....	28
Control de plagas y enfermedades	29
Muestreo.....	30
Separación, determinación del peso seco y medición del material vegetal	30
Variables evaluadas.....	30

Rendimiento	30
Tasa de Crecimiento Relativo (TCR).....	30
Biomasa Total	31
Biomasa Vegetativa	31
Índice de Cosecha (IC).....	31
Largo de la Hoja Bandera	31
Ancho de la Hoja Bandera	31
Análisis estadístico	31
RESULTADOS.....	33
Rendimiento	34
Parámetros de Crecimiento	36
Parámetros Morfológicos	45
DISCUSIÓN.....	48
Rendimiento	48
Parámetros de Crecimiento	51
Parámetros Morfológicos	53
CONCLUSIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55

RESUMEN

En Venezuela la producción de arroz ha aumentado desde el año 1960, como consecuencia de una mayor área cultivada y mayores rendimientos. No obstante, desde 1989, el rendimiento promedio nacional se ha estancado en alrededor de 500 g.m^{-2} ; con una tasa promedio anual de $8 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; a pesar de la liberación de un número considerable de nuevas variedades en este período. El incremento del rendimiento ha sido producto esencialmente de tres factores: i) Mejoramiento genético del rendimiento *per se*; ii) Mejoramiento genético de la tolerancia/resistencia a plagas y enfermedades; y iii) Mejoras en las prácticas de manejo agronómico. Sin embargo, la información disponible no permite dilucidar el aporte relativo de estos componentes al incremento del rendimiento del arroz en Venezuela. Este trabajo tiene como objetivos determinar los cambios en el rendimiento del arroz en Venezuela producto del mejoramiento genético desde la década de los años 50 y evaluar la importancia de algunos parámetros de crecimiento y morfológicos en la determinación del rendimiento del arroz en el país. Se evaluaron 14 variedades de arroz, liberadas desde 1951 hasta 2006, las cuales fueron sembradas por trasplante, utilizando un diseño completamente aleatorio con cuatro réplicas, en las localidades de Calabozo y Acarigua, en la época de lluvias de 2006; y se cultivaron bajo prácticas actuales de manejo agronómico, protegiéndolas contra posibles daños ocasionados por plagas y enfermedades. El muestreo se realizó en diferentes estadios de desarrollo del cultivo. Las variables a evaluar fueron rendimiento, tasa de crecimiento relativo (TCR), biomasa total, biomasa vegetativa, Índice de Cosecha (IC) y, largo y ancho de la hoja bandera. Se utilizó el análisis de regresión lineal para correlacionar las variables evaluadas con los años de liberación de las variedades, así como también para correlacionar el rendimiento con el resto de las variables. Los resultados obtenidos señalan que: El mejoramiento genético ha contribuido con un 50% al aumento en el rendimiento, y posiblemente el mayor aporte parece haber sido sobre el índice de cosecha en combinación con una

mayor biomasa total. Araure 4 la menos rendidora, Centauro la más rendidora. Acarigua es la localidad con los mayores rendimientos, así como también con la mayor TCR, biomasa total y biomasa vegetativa en comparación con Calabozo. El PR de las variedades de arroz en Venezuela se encuentra entre 1114,1 y 1120,0 g.m⁻²; el rendimiento promedio nacional del arroz en Venezuela apenas supera los 500 g.m⁻², por tanto, existe una amplia brecha que superar para incrementar la producción de arroz en el país. Este trabajo aporta por primera vez indicadores del progreso genético para algunas determinantes en variedades de arroz cultivadas en Venezuela desde la década de los años 50.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción (A), rendimiento y área cultivada (B) del cultivo de arroz en Venezuela desde el año 1961 hasta el año 2006; y la relación entre el rendimiento (línea recta) con el tiempo antes mencionado ($b = 8 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1} *$; $t = 18,373$; $p = 0,000$) según reportes de la FAO y FEDEAGRO.

Figura 2. Mantenimiento e incremento del PR del arroz por conservación y acrecentamiento del mejoramiento. El enfoque del mejoramiento empírico es usado para el beneficio de la población y para mantener el PR. Utilización de heterosis y modificación del nuevo tipo de planta (NTP) son los mayores componentes para el acrecentamiento del mejoramiento e incremento del PR.

Figura 3. Tendencia del rendimiento de variedades de arroz desarrolladas en el IRRI desde 1966. (A) Representa las doce variedades cultivadas en el IRRI y las doce variedades cultivadas en PhilRice (Investigación sobre el Arroz en Filipinas), todas en la estación de sequía de 1996. Cada punto es el promedio de las dos localidades. La relación entre el rendimiento del grano y el año de liberación para cada localidad fue: $y = -101 + 0.056x$, $r^2 = 0.52$ (IRRI); $y = -176 + 0.093x$, $r^2 = 0.60$ (PhilRice). (B) Representa las siete variedades cultivadas en el IRRI en la estación de sequía de 1998. Las líneas verticales en cada punto representa el error estándar. (Tomado de Peng y col, 2000).

Figura 4. Relación del rendimiento de grano con el índice de cosecha (A) y la biomasa total (B) para las viejas variedades liberadas antes de 1980 y para las nuevas variedades liberadas después de 1980. Las doce variedades fueron cultivadas en el IRRI y en PhilRice en al estación de sequía de 1996. Cada punto representa el promedio las cuatro replicas en cada localidad. (Tomado de Peng y col, 2000).

Figura 5. Mapa de Venezuela señalando la ubicación de las dos localidades seleccionadas para este estudio.

Figura 6. Regresión lineal para el rendimiento de las variedades de arroz evaluadas en este estudio (excluyendo IR8 del análisis de regresión) con relación al año de liberación de las variedades. (A) Rendimiento promedio de las dos localidades ($b = 4,08 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 1,597$; $p = 0,139$); (B) Rendimiento promedio por localidad: $b = 3,88 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 1,241$; $p = 0,241$ (Calabozo), $b = 5,12 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 1,549$; $p = 0,150$ (Acarigua). La línea vertical que atraviesa cada símbolo (círculo y triángulo) representa el error estándar de la media $n = 10$ para (A) y $n = 5$ para (B).

Figura 7. Regresión lineal para la tasa de crecimiento relativo (TCR) de las variedades de arroz evaluadas en este estudio (excluyendo IR8 del análisis de regresión), cosechadas a los 25-39 ($b = 0,007 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 1,666$; $p = 0,123$), 39-81 ($b = 0,007 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 2,195$; $p = 0,051$) y 81-109 ($b = 0,004 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 0,824$; $p = 0,426$) ddt en Calabozo, y a los 31-68 ($b = -0,000009 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = -0,208$; $p = 0,838$), 68-88 ($b = -0,001 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = -0,278$; $p = 0,786$) y 88-108 ($b = 0,004 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 0,979$; $p = 0,348$) ddt en Acarigua; con relación al año de liberación de las variedades. La línea vertical que atraviesa cada símbolo (círculo, triángulo y cuadrado) representa el error estándar de la media $n = 5$ para cada muestreo por variedad en cada localidad.

Figura 8. Regresión lineal para la biomasa total a los 109 ddt en Calabozo y a los 108 ddt en Acarigua, de las variedades de arroz evaluadas en este estudio (excluyendo IR8 del análisis de regresión) con relación al año de liberación de las variedades: (A) Biomasa total promedio de las dos localidades ($b = 1,16 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 0,717$; $p = 0,489$); (B) Biomasa total promedio en cada localidad: $b = 4,97 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 1,052$; $p = 0,315$ (Calabozo), $b = 1,73 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 0,304$; $p = 0,767$ (Acarigua). La línea vertical que atraviesa cada símbolo (círculo y triángulo) representa el error estándar de la media $n = 10$ para (A) y $n = 5$ para (B).

Figura 9. Regresión lineal para la biomasa vegetativa a los 109 ddt en Calabozo y a los 108 ddt en Acarigua, de las variedades de arroz evaluadas en este estudio (excluyendo IR8 del análisis de regresión) con relación al año de liberación de las variedades: (A) Biomasa vegetativa promedio de las dos localidades ($b = -2,73 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = -0,587$; $p = 0,569$); (B) Biomasa vegetativa promedio

en cada localidad: $b = 0,78 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 0,427$; $p = 0,677$ (Calabozo), $b = -3,15 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = -1,333$; $p = 0,210$ (Acarigua). La línea vertical que atraviesa cada símbolo (círculo y triángulo) representa el error estándar de la media $n = 10$ para (A) y $n = 5$ para (B).

Figura 10. Regresión lineal para el índice de cosecha a los 109 ddt en Calabozo y a los 108 ddt en Acarigua, de las variedades de arroz evaluadas en este estudio (excluyendo IR8 del análisis de regresión) con relación al año de liberación de las variedades: (A) Índice de cosecha promedio de las dos localidades ($b = 0,002 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1} *$; $t = 2,267$; $p = 0,045$); (B) Índice de cosecha promedio en cada localidad: $b = 0,001 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 1,042$; $p = 0,320$ (Calabozo), $b = 0,002 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1} *$; $t = 2,982$; $p = 0,012$ (Acarigua). La línea vertical que atraviesa cada símbolo (círculo y triángulo) representa el error estándar de la media $n = 10$ para (A) y $n = 5$ para (B).

Figura 11. Relación del rendimiento con la tasa de crecimiento relativo (TCR) de las variedades de arroz evaluadas en este estudio, cosechadas a los 25-39 ($b = -96,77$; $t = -0,676$; $p = 0,512$), 39-81 ($b = 178,91$; $t = 0,475$; $p = 0,643$) y 81-109 ($b = 566,27 *$; $t = 2,799$; $p = 0,017$) ddt en Calabozo; y a los 31-68 ($b = -483,55$; $t = -0,999$; $p = 0,339$), 68-88 ($b = 113,60$; $t = 0,125$; $p = 0,902$) y 88-108 ($b = 807,90 *$; $t = 3,012$; $p = 0,011$) ddt en Acarigua.

Figura 12. Relación del rendimiento con la biomasa total, biomasa vegetativa e índice de cosecha de las variedades de arroz evaluadas en este estudio, independientemente de la localidad: Biomasa Total $b = 0,63 *$; $t = 5,745$; $p = 0,0001$, Biomasa Vegetativa $b = 0,35$; $t = 1,111$; $p = 0,290$, Índice de Cosecha $b = 2192,67 *$; $t = 4,535$; $p = 0,0008$ (Cosechadas a los 109 ddt en Calabozo y a los 108 ddt en Acarigua).

Figura 13. Relación del rendimiento con la biomasa total, biomasa vegetativa e índice de cosecha de las variedades de arroz evaluadas en este estudio (Biomasa Total: $b = 0,56 *$; $t = 3,802$; $p = 0,002$ (Calabozo), $b = 0,59 *$; $t = 3,257$; $p = 0,007$ (Acarigua); Biomasa Vegetativa: $b = 0,36$; $t = 1,273$; $p = 0,228$ (Calabozo), $b = 0,49$; $t = 0,672$; $p = 0,542$ (Acarigua); Índice de Cosecha: $b = 1686,11 *$; $t = 2,821$; $p = 0,016$ (Calabozo), $b = 2242,99 *$; $t = 3,171$; $p = 0,008$ (Acarigua)), cosechadas a los 109 ddt en Calabozo y a los 108 ddt en Acarigua.

Figura 14. Regresión lineal para largo (A: $b = 0,13 \text{ cm.año}^{-1} *$; $t = 3,293$; $p = 0,006$) y ancho (B: $b = -0,002 \text{ cm.año}^{-1}$; $t = -0,155$; $p = 0,878$) de la hoja bandera a los 109 ddt en Calabozo, de las variedades de arroz evaluadas en este estudio (excluyendo IR8 del análisis de regresión) con relación al año de liberación de las variedades.

Figura 15. Relación del rendimiento con el largo y ancho de la hoja bandera de las variedades de arroz evaluadas en este estudio a los 109 ddt en Calabozo. (A: $b = 21,13$; $t = 1,806$; $p = 0,095$); (B: $b = 357,50$; $t = 1,752$; $p = 0,105$).

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen del análisis de suelo realizado para ambas localidades.

Tabla 2. Variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivadas en Venezuela desde la década de los años 50, evaluadas en el presente estudio.

Tabla 3. Resumen del manejo agronómico realizado para el control químico de malezas y para el control de plagas y enfermedades en los ensayos.

Tabla 4. ANOVA de dos vías para las variables Rendimiento, Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), Biomasa Total, Biomasa Vegetativa e Índice de Cosecha de las variedades de arroz evaluadas en este estudio.

Tabla 5. Estimación del PR de las variedades de arroz en Venezuela a partir del promedio de los cinco mejores registros de rendimiento expresados en gramos por metro cuadrado.

Tabla 6. Prueba estadística para los parámetros morfológicos Largo y Ancho de la Hoja Bandera a los 109 ddt en Calabozo, de las variedades de arroz evaluadas en este estudio.

INTRODUCCIÓN

Según reportes de la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), el arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los cultivos más importantes en el mundo por ser el alimento básico de más de la mitad de la población mundial, proporcionando el 27% de la energía alimentaria y el 20% de las proteínas; su producción está extendida a todos los continentes en 113 países, siendo el 90% cultivado y consumido en Asia, mientras que el 10% restante se reparte entre África, América Latina y algunos países del Sur y Sudeste de Europa.

Se estima que la población mundial actual de 6.500 millones de personas (FAO, 2009) pasará aproximadamente a 8.300 millones para el año 2025, y posiblemente, el 50% de ellas consumirán arroz (Martínez y col., 1998). Para cubrir tal incremento en la demanda, la producción mundial de este cultivo debe aumentar cerca de un 37% (Virk y col., 2004; FAO, 2007).

Dicho aumento debe darse evitando el reemplazo de la vegetación natural por cultivos, debido a que esto puede alterar el funcionamiento de los ecosistemas naturales, afectando: a) la regulación natural de las cuencas hídricas; b) la conservación de la diversidad biológica, un patrimonio genético que tiene creciente valor, incluso económico, para propósitos tan diversos como la alimentación y la industria farmacéutica; y c) la calidad y diversidad biológica de los suelos, por el uso excesivo de herbicidas, plaguicidas y fertilizantes (Paruelo y col., 2005; Bach, 2008).

Esta situación representa un desafío para la agricultura contemporánea, ya que los incrementos más significativos en la producción mundial de arroz ocurrieron durante la Revolución Verde (a mediados de los años 60), y se necesitan nuevas estrategias que permitan lograr mayores incrementos en el rendimiento de las variedades cultivadas.

Virk y col. (2004) sugieren que mejorar el Potencial de Rendimiento (PR)¹ de las variedades cultivadas, podría ser la clave para incrementar la producción de arroz en el mundo. Mientras que

estudiando el rendimiento alcanzado o real (en finca)², se incluirían otros factores determinantes como el manejo agronómico causantes de que este rendimiento sea menor al PR.

En Venezuela, el arroz es el segundo cereal en importancia agrícola después del maíz (Molina, 1998), concentrándose el 90% de la producción en los estados Guárico y Portuguesa con pequeños aportes de Barinas y Cojedes (Vivas y col., 2002). Según reportes de la FAO y FEDEAGRO (La Confederación Nacional de Asociaciones de Productores Agropecuarios), la producción nacional de arroz incrementó de 81.000 a 1.114.600 ton (toneladas) desde la década de los años 60 hasta el año 2006 (Fig. 1), tal incremento ha sido consecuencia de aumentos en el área cultivada, de 58.000 ha (hectáreas) a 226.000, y en los rendimientos, pasando de 140 g.m⁻² en el año 1961 a 500 g.m⁻² en el 2006, con una tasa de crecimiento anual de aproximadamente 8 g.m⁻².año⁻¹. Sin embargo, desde el año 1989, el rendimiento promedio nacional se ha estancado en aproximadamente 500 g.m⁻², a pesar de la liberación de un número considerable de nuevas variedades en este período. Con el fin de romper esta barrera de rendimiento presente en Venezuela, lo cual también se observa en otros países del mundo (FAO, 2002), se están investigando varias opciones, las cuales incluyen el desarrollo de un nuevo tipo de planta (NTP) con una baja capacidad de macollamiento y grandes panículas de germoplasma tropical japónica, al igual que la explotación de la heterosis a través de híbridos intervarietales e intersubespecíficos (Peng y col, 1999).

¹: *El cual se define, según el Grupo Consultivo de Expertos para Reducir Brechas de Rendimiento en la Región del Pacífico Asiático (1999), como el peso seco o húmedo del producto cosechado por unidad de superficie, obtenido en ensayos experimentales o lotes comerciales cuando no existen limitaciones abióticas, biológicas o económicas y se proveen las mejores prácticas agronómicas conocidas en un momento dado en un región dada. Concepto considerado hipotético, ya que es difícil lograr proporcionar todas las condiciones óptimas de desarrollo de una planta de arroz en campo*

²: *El cual se define, según el mismo Grupo de Expertos, como el peso seco o húmedo del producto cosechado por unidad de superficie, obtenido por los agricultores en un lugar y tiempo determinado.*

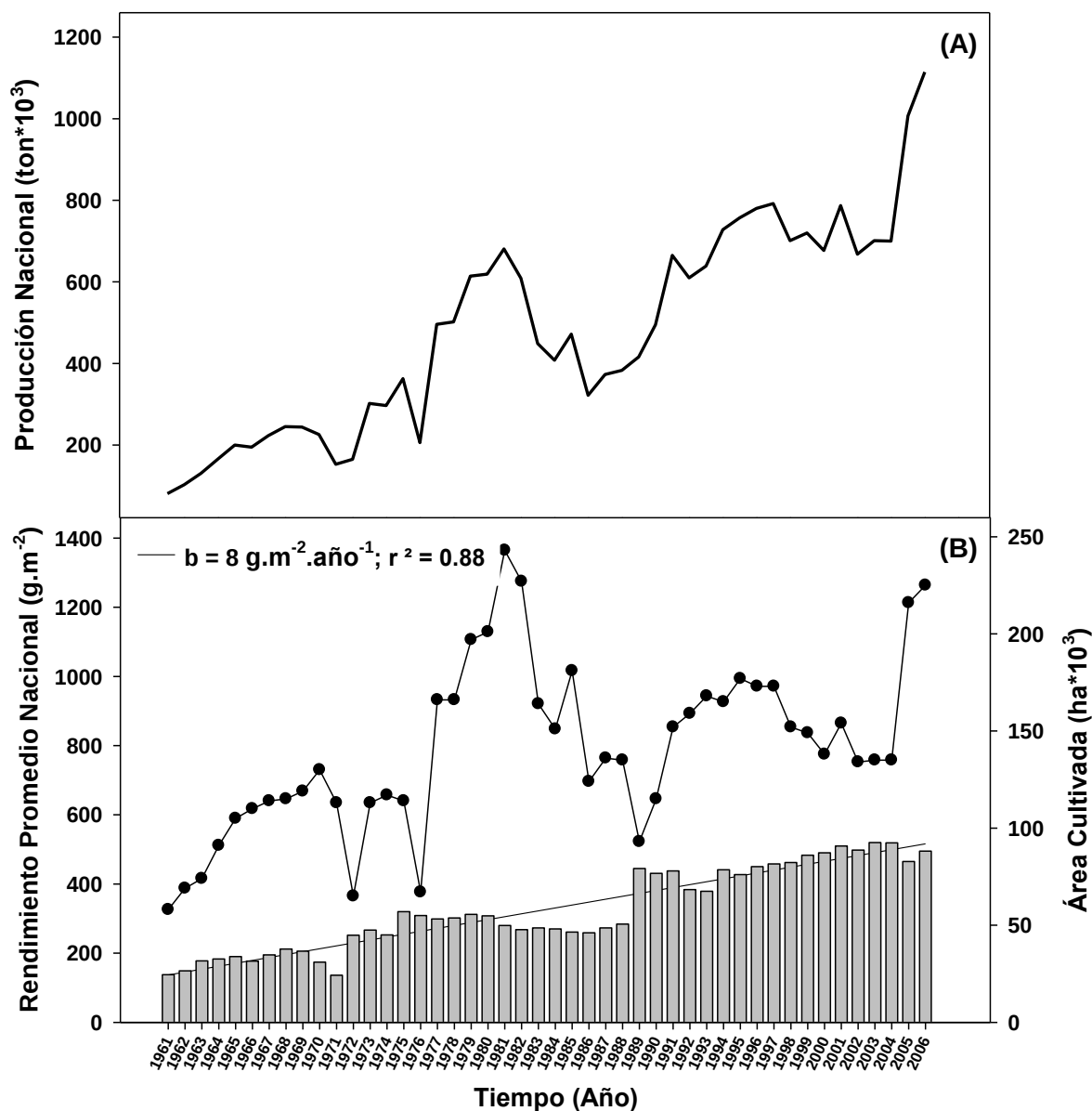


Figura 1. Producción (A), rendimiento y área cultivada (B) del cultivo de arroz en Venezuela desde el año 1961 hasta el año 2006; y la relación entre el rendimiento (línea recta) con el tiempo antes mencionado ($b = 8 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1} *$; $t = 18,373$; $p = 0,000$) según reportes de la FAO y FEDEAGRO.

El desarrollo de variedades de arroz, no solo en nuestro país, sino en toda América Latina, a través de la utilización de métodos convencionales de mejoramiento, ha producido resultados significativos para los productores (Peng y col, 1999).

Existe ahora, un fuerte argumento según el cual un enfoque basado en el entendimiento de la fisiología del cultivo, puede ayudar a identificar las características claves que están limitando el

rendimiento en la actualidad. La comparación de las bases fisiológicas de la capacidad de rendimiento entre variedades liberadas en diferentes periodos, es el fundamento de este enfoque; ya que la forma en que el mejoramiento genético ha aumentado el rendimiento puede ser evaluada adecuadamente a través de estos estudios (Araus y col, 2002). Esta estrategia se basa en la comparación simultánea de variedades liberadas en diferentes períodos, cultivados bajo las mismas condiciones ambientales y prácticas de manejo (Slafer y col, 1994). Estos estudios pueden aportar información útil sobre los cambios fisiológicos fundamentales asociados con las ganancias genéticas en el rendimiento.

El incremento del rendimiento del arroz ha sido producto esencialmente de tres factores: i) Mejoramiento genético del rendimiento *per se*; ii) Mejoramiento genético de la tolerancia/resistencia a plagas y enfermedades; y iii) Mejoras en las prácticas de manejo agronómico. Sin embargo, la información disponible no permite dilucidar el aporte relativo de estos componentes al incremento del rendimiento del arroz en Venezuela. Esta información es esencial para el diseño de estrategias de mejoramiento enfocadas en incrementar el rendimiento de este cultivo en nuestro país. En el presente trabajo, estimamos el rendimiento de las variedades de arroz cultivadas en el país durante los últimos 50 años. Esto se realizó cultivando las 11 variedades más usadas comercialmente en Venezuela desde la década de los años 50 hasta el presente, incluyendo IR8 y dos variedades de reciente liberación (D-Oryza, 2005 y Centauro, 2006), para un total de 14 variedades. Las evaluaciones se realizaron en ensayos simultáneos, por trasplante, localizados en Calabozo (Edo. Guárico) y Acarigua (Edo. Portuguesa) en la temporada de lluvia del año 2006, bajo manejo estándar de cultivo, protegiéndolas contra posibles daños ocasionados por plagas y enfermedades. Este tipo de ensayo permitirá la comparación entre variedades respecto a su rendimiento, así como también con respecto a sus características fisiológicas y morfológicas; además de permitir la caracterización de algunos atributos fisiológicos y morfológicos potencialmente asociados con el rendimiento.

ANTECEDENTES

Antes de 1960, la morfología de la planta de arroz en los trópicos era posiblemente un factor limitante para el rendimiento. La altura de las plantas las hacía susceptibles al volcamiento, lo que aunado a la imposibilidad de utilizar insumos agrícolas (principalmente fertilizantes) determinaba rendimientos bajos y estancados alrededor de 150 g.m^{-2} (Jennings y col, 2002). Es por esto que a finales de los años 50 y principios de los 60 nace la “Revolución Verde”, que buscaba en el caso del arroz, diferencias morfológicas concretas que ayudaron a aumentar el PR del cultivo; esta revolución se caracterizó por la liberación y uso de variedades modernas más productivas, como consecuencia del empleo de técnicas de producción que se consideraron modernas para ese momento, concretadas por la selección de variedades de acuerdo a su capacidad genética, que daban mayor estabilidad en los rendimientos y un uso más eficiente de nutrientes, en comparación con las variedades tradicionales (Berrio y col, 2002).

Después de 1960, el rendimiento del arroz en los trópicos aumentó aproximadamente de 600 a 1000 g.m^{-2} (Khush, 1995). Este incremento fue logrado por el cruzamiento de la variedad proveniente de Indonesia *Peta*, de porte alto que en ese tiempo se cultivaba extensamente en Filipinas, con *Dee-geo-woo-gen*, variedad china con menor altura, a través de la incorporación del gen recesivo *sd1*, de abundante macollamiento (Chandler, 1984; Virk y col, 2004). A partir de 1962 se hace el cruce entre estos cultivares resultando el desarrollo y la posterior liberación en 1966 de la variedad IR8 (Jennings y col, 2002) por el IRRI (Internacional Rice Research Institute), siendo la primera variedad semienana en los trópicos, que presentó una nueva arquitectura, corta estatura, alto macollamiento, tallos resistentes al volcamiento y hojas erectas (Jennings, 1964); así como también respondió a tratamientos con fertilizantes, siendo posteriormente utilizada para su cultivo en América Latina y Asia (Evenson y Gollin, 2003).

A IR8 le siguieron rápidamente otras variedades semienanas que igualmente sobrepasaron el rendimiento de las variedades altas, con o sin mejoras en su manejo agronómico. Sin embargo, desde su liberación, el PR no ha sido incrementado de manera consistente; y es poco probable que alguna de estas variedades semienanas mejoradas haya excedido a IR8, o a sus sucesoras, en la capacidad de rendimiento. Todavía no se sabe por qué el PR de las primeras variedades semienanas no ha sido superado (Jennings y col., 2002).

Dingkuhn y col. (1991) señalaron que las variedades semienanas como IR8 pueden estar limitadas en su PR por el gran número de macollas infértiles y un área foliar alta, lo que trae como consecuencia, que el sumidero se vea limitado por la fuente debido al sombreamiento y a la reducción de la fotosíntesis en la planta (Virk y col, 2004).

El mejoramiento empírico ha dado como resultado un mantenimiento del PR en los trópicos de alrededor de 1000 g.m⁻² (Peng y col, 1999). Los mejoradores de arroz en general reconocieron, hacia mediados de los años 80, que los avances en el mejoramiento de la capacidad de rendimiento no iban a surgir de continuar haciendo cruces y selecciones entre semienanas. A raíz de esto, elaboraron varias estrategias, a fin de sobrepasar el PR establecido por las mejores variedades semienanas (Fig. 2) (Jennings y col., 2002).

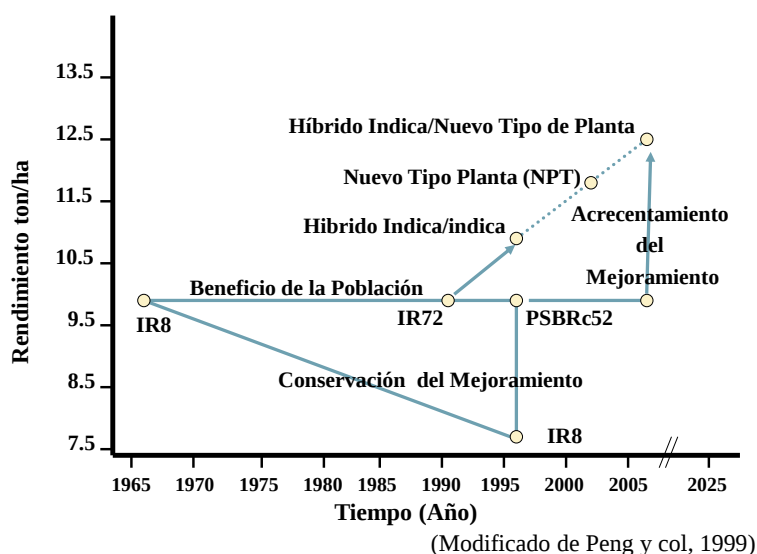


Figura 2. Mantenimiento e incremento del PR del arroz por conservación y acrecentamiento del mejoramiento. El enfoque del mejoramiento empírico es usado para el beneficio de la población y para mantener el PR. Utilización de heterosis y modificación del nuevo tipo de planta (NTP) son los mayores componentes para el acrecentamiento del mejoramiento e incremento del PR.

En un estudio para determinar la tendencia en el rendimiento de variedades de arroz desarrolladas en Filipinas desde 1966, se encontró, que estas variedades han contribuido con una ganancia en rendimiento de $7,5$ a $8,1 \text{ g.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, lo que representa un incremento en el rendimiento anual del 1% (Fig. 3) (Peng y col, 2000). Además, se encontró que el máximo rendimiento de IR8 se ha reducido alrededor de 200 g.m^{-2} durante los pasados 30 años, lo que indica la importancia de conservar el mejoramiento. Otro resultado relevante fue que los cultivares de más reciente liberación como IR72 y PSBRc52 tienen un PR en el rango del que tuvo IR8 al momento de su liberación (Peng y col, 1999; Peng y col, 2000). Los autores concluyeron que la ganancia en rendimiento realmente ha ocurrido debido a que las variedades de arroz han incorporado mayor resistencia genética a plagas y enfermedades, mas no a que se haya incrementado el PR *per se*. Como en Venezuela la generación de las variedades de arroz, son producto de colaboraciones del IRRI y el CIAT, es probable que en el país se diera una tendencia similar a lo concluido anteriormente por los autores, ya que la resistencia a enfermedades ha sido un criterio de selección predominante (Salih ,1996).

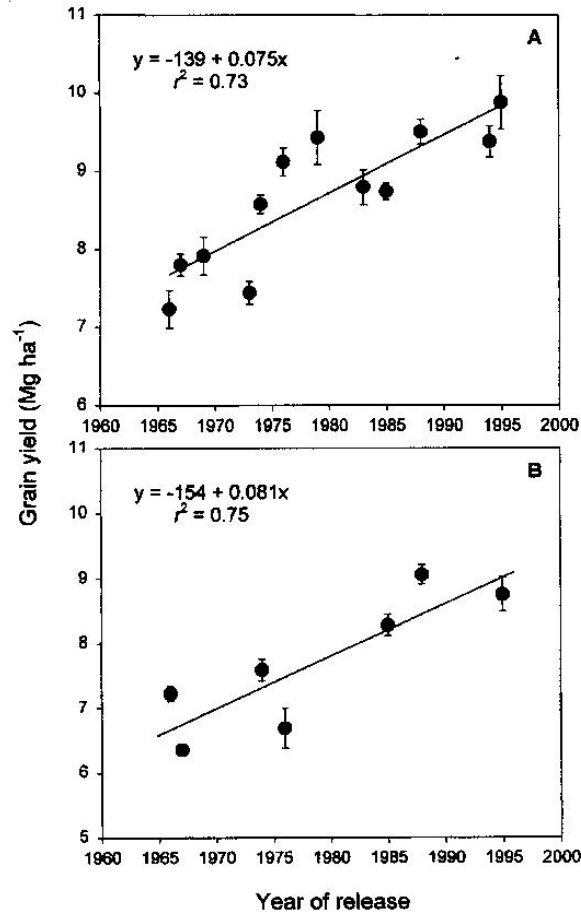


Figura 3. Tendencia del rendimiento de variedades de arroz desarrolladas en el IRRI desde 1966. (A) Representa las doce variedades cultivadas en el IRRI y las doce variedades cultivadas en PhilRice (Investigación sobre el Arroz en Filipinas), todas en la estación de sequía de 1996. Cada punto es el promedio de las dos localidades. La relación entre el rendimiento del grano y el año de liberación para cada localidad fue: $y = -101 + 0.056x$, $r^2 = 0.52$ (IRRI); $y = -176 + 0.093x$, $r^2 = 0.60$ (PhilRice). (B) Representa las siete variedades cultivadas en el IRRI en la estación de sequía de 1998. Las líneas verticales en cada punto representa el error estándar. (Tomado de Peng y col, 2000).

La utilización de la heterosis y la modificación del tipo de planta son actualmente las principales estrategias que se están utilizando para incrementar el PR del arroz en los trópicos. El arroz híbrido intervarietal entre indicas puede incrementar el PR en un 9%, por una mayor producción de biomasa en lugar de un mayor Índice de Cosecha (IC; fracción de la biomasa por encima del suelo dedicado al grano) (Peng y col, 1999). Sobre esto, el trabajo de Peng y col. (2000) precisó que desde la variedad IR8 hasta la variedad más cultivada en Filipinas en 1980 se incrementó significativamente el IC, mientras que después de 1980 se incrementó la biomasa total

(Fig. 4). Mitchell y Sheehy (2000), sugieren que una alternativa para incrementar el PR es mejorando la producción de biomasa, aunado a que el IC se aproxima a un estado fisiológico techo y no puede seguir incrementándose.

La mayor biomasa se da por (i) un incremento en la tasa de crecimiento durante las primeras etapas vegetativas como resultado de una rápida expansión del área foliar y un mayor número de macollas (Kabaki, 1993; Yamauchi, 1994), (ii) una mayor eficiencia en la formación relativa del sumidero por la tasa de acumulación de materia seca en la fase de floración (Cao y col., 1980; Kabaki, 1993), y (iii) alto porcentaje del llenado del grano a pesar de un gran número de espiguillas (Yan, 1988; Song y col., 1990).

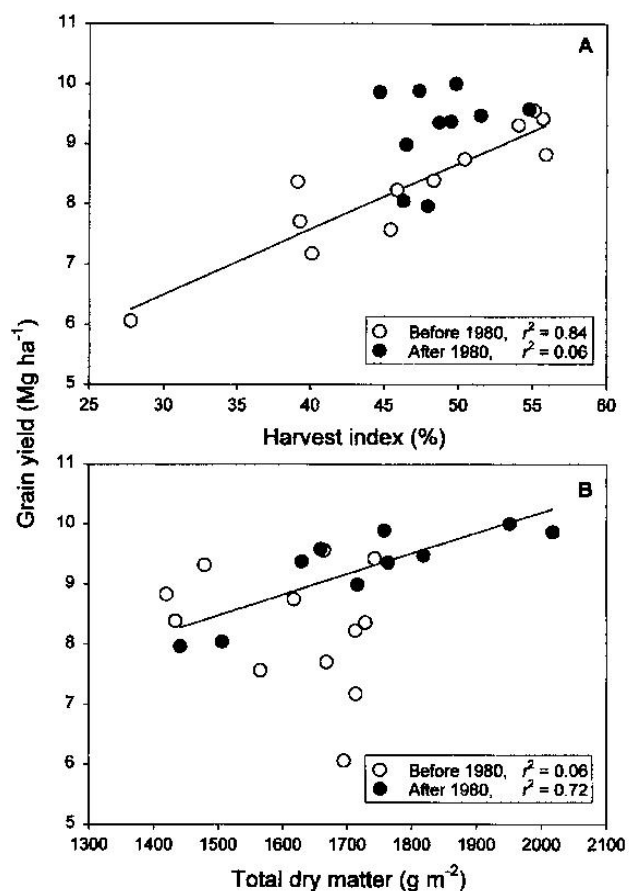


Figura 4. Relación del rendimiento de grano con el índice de cosecha (A) y la biomasa total (B) para las viejas variedades liberadas antes de 1980 y para las nuevas variedades liberadas después de 1980. Las doce variedades fueron cultivadas en el IRRI y en PhilRice en la estación de sequía de 1996. Cada punto representa el promedio de las cuatro replicas en cada localidad. (Tomado de Peng y col, 2000).

De acuerdo con Dingkuhn y col. (1991), el rendimiento en grano puede ser teóricamente incrementado al promover la generación del nuevo tipo de planta con patrones modificados de la partición de nitrógeno y asimilados, aumento del gradiente de concentración vertical de nitrógeno en el follaje y/o una fase más larga de llenado de grano. Los incrementos de rendimiento en grano con la combinación de estos cambios, pueden ser del orden del 25%. Sin embargo, según Peng y col. (1999 y 2008), la producción de este NTP no ha mejorado todavía el PR debido al deficiente llenado del grano y una baja producción de biomasa. Con la selección de parentales con un buen llenado del grano, la introducción de genes indica y un reajuste del diseño original del NTP se espera que mejore el desempeño de las líneas NTP. El incremento en el PR es posible a través del uso de heterosis intersubespecífica entre indicas y líneas NTP (Peng y col, 1999).

Hasta la fecha, el mejoramiento de cereales se ha basado principalmente en la selección empírica para el rendimiento *per se* (Evans, 1993; Loss y Siddique, 1994). Pero incrementando nuestra comprensión de la fisiología del cultivo podríamos contribuir a lograr mayores rendimientos, ya que nos permitiría obtener las características claves que están limitando el rendimiento en la actualidad. Por ello, se propuso un estudio de las variedades de arroz más cultivadas en los últimos 50 años en las principales zonas arroceras del país, mediante la comparación de parcelas experimentales, bajo manejo estándar de cultivo, donde se identificaron algunas características fisiológicas (parámetros de crecimiento) y morfológicas posiblemente asociadas al PR, explicados por la variedad y no por cambios en prácticas de manejo.

En nuestro país no han sido cuantificados los cambios en el PR como consecuencia del mejoramiento genético del arroz. Al igual que no se conoce cuáles han sido las características fisiológicas y morfológicas asociadas con los cambios en rendimiento. El conocimiento de esta información puede ofrecernos elementos claves para la toma de decisiones acerca de cual debe ser la estrategia a seguir para obtener mayores ganancias en el rendimiento.

OBJETIVOS

Objetivos generales:

1. Determinar los cambios en el rendimiento del arroz producto del mejoramiento genético desde el comienzo de la producción industrial de este cultivo en Venezuela.
2. Evaluar la importancia de algunos parámetros de crecimiento y morfológicos en la determinación del rendimiento del arroz en Venezuela.

Objetivos específicos:

En 14 variedades de arroz cultivadas en Venezuela desde la década de los años 1950, bajo manejo agronómico óptimo, se buscó lo siguiente:

1. Establecer si ha ocurrido un avance significativo en el rendimiento con los años de mejoramiento genético.
2. Determinar diferencias en rendimiento por variedad y por localidad.
3. Estimar la contribución de algunos parámetros de crecimiento (tasa de crecimiento relativo, biomasa total, biomasa vegetativa e índice de cosecha) en el rendimiento; así como establecer diferencias de estos parámetros por variedad y por localidad.
4. Estimar la contribución de algunos parámetros morfológicos (largo y ancho de la hoja bandera) en el rendimiento; así como establecer diferencias de estos parámetros por variedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y descripción de las áreas de estudio:

Los ensayos se establecieron en lotes comerciales de arroz ubicados en Calabozo, Edo. Guárico y Acarigua, Edo. Portuguesa.



Figura 5. Mapa de Venezuela señalando la ubicación de las dos localidades seleccionadas para este estudio.

El clima del Estado Guárico es tropical lluvioso de sabana. Su temperatura es alta durante todo el año, pero bastante homogénea en casi todo el territorio. La temperatura media anual oscila entre 26°C y 28°C. La precipitación media varía, en función del relieve, entre los 1.100 mm y 1.600 mm, con un semestre de lluvias que comienza desde el mes de mayo y un período de sequía que ocupa el resto del año. En términos de suelos, la zona del sistema de riego del río Guárico (con relieve que va de 100 a 500 m.s.n.m.) presenta un área de inundaciones cuyo drenaje le permite poseer un suelo más fértil que el resto de los suelos pertenecientes al estado (INE, 2008).

El clima del Estado Portuguesa es relativamente homogéneo. Su temperatura promedio oscila entre los 24°C y 28°C, regulada por los vientos provenientes del golfo de Venezuela y los alisios que remontan los Llanos, los cuales producen áreas de nubosidad y lluvias torrenciales frecuentes. Las precipitaciones en las zonas de montañas varían entre los 1.400 mm y 2.000 mm y van disminuyendo notoriamente hacia las grandes extensiones planas que ocupan casi todo el estado. El periodo lluvioso ocupa los meses de mayo a noviembre. La localidad cuenta con pozos que pueden ser utilizados para el riego. Presenta suelos muy fértiles. Más del 60% de su superficie cuenta con potencial agrícola alto. El contenido del material orgánico de sus suelos, sobre todo en la parte plana, va de medio a alto, lo que ha permitido el desarrollo en gran escala de rubros como cereales, ganadería de leche y carne, caña de azúcar, frutales, oleaginosas y fibras. Para la zona de Acarigua el relieve va de 100 a 500 m.s.n.m. (INE, 2008).

En la Tabla 1 se presentan algunas características de los suelos en ambas localidades.

Tabla 1. Resumen del análisis de suelo realizado para ambas localidades.

	Calabozo^A	Acarigua^A
N (mg. gPS⁻¹)^B	0,88 ± 0,08	1,45 ± 0,08
P (mg. gPS⁻¹)^B	0,16 ± 0,03	0,54 ± 0,01
Ca (mg. gPS⁻¹)^B	4,48 ± 0,09	1,03 ± 0,04
K (mg. gPS⁻¹)^B	1,35 ± 0,03	0,01 ± 0,00
Mg (mg. gPS⁻¹)^B	1,15 ± 0,01	1,79 ± 0,03
% Arcilla	21,12 ± 0,48	10,19 ± 0,76
% Limo	47,73 ± 1,28	45,12 ± 0,40
% Arena	31,14 ± 1,12	44, 67 ± 0,31

^A: Medias y desviaciones estándar respectivamente.

^B: Contenido Total.

PS: Peso seco.

Material vegetal:

Para el estudio se evaluaron las 11 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) más cultivadas en Venezuela desde 1951, incluyendo IR8 y dos de reciente liberación para un total de 14 variedades. Las variedades evaluadas, el origen, la institución y su año de liberación se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivadas en Venezuela desde la década de los años 50, evaluadas en el presente estudio.

Variedad	Origen	Institución	Año de Liberación
Bluebonnet 50	USA	-	1951 ^b
IR 8	Filipinas	IRRI	1966 ^a
CICA 4	Colombia	CIAT	1972 ^b
Araure 1	Venezuela	FONAIAP ♣	1978 ^{bc}
Araure 4	Venezuela	FONAIAP	1984 ^{bc}
Cimarrón	Venezuela	FONAIAP	1988 ^{bc}
Palmar	Venezuela	FONAIAP	1988 ^{bc}
Fonaiap 1	Venezuela	FONAIAP	1993 ^{bc}
Zeta 15	Venezuela	Fusagri	2000 ^{bc}
Fedearroz 50	Colombia	Aproscello ♠	2002 ^{bc}
D-sativa	Venezuela	Fundación Danac	2002 ^{bc}
Venezuela 21	Venezuela	INIA-Fundarroz	2003 ^{bc}
D-Oryza	Venezuela	Fundación Danac	2005 ^c
Centauro	Venezuela	INIA-Fundarroz	2006 ^c

(Fuente: a. Jennings y col, 2002; b. Torrealba y col, 2004; c. Acevedo y col, 2007).

♣ Fondo Nacional de Investigaciones Agrícolas (FONAIAP) a partir del año 2000 cambia para Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).

♠ Variedad de arroz sin solicitud de elegibilidad ante el Servicio Nacional de Semillas (SENASA).

El criterio de selección de las variedades para este estudio fue que las mismas hayan sido liberadas en distintos años desde 1950 y fueran las más cultivadas comercialmente. Se incluyó IR8 porque es la variedad que dividió la producción de arroz en dos etapas, y las variedades D-Oryza y Centauro se incluyeron por ser las de más reciente liberación para el momento del experimento. Las variedades seleccionadas representan el antes (Bluebonnet 50), el comienzo (IR8) y el después (el resto de las variedades) de la “Revolución Verde”, así como también presentan entre ellas, alta variabilidad en sus características agronómicas. Por ejemplo, Bluebonnet 50 presenta una altura de 2 m mientras que el resto de las variedades presentan alturas entre 0,8 y 1,1 m; Fedearroz 50 presenta senescencia tardía; Araure 1 y Araure 4 son de ciclo de germinación a cosecha tardío; hay variedades de alto macollamiento como Palmar, Fonaiap 1 y Venezuela 21, así como de bajo macollamiento como Bluebonnet 50; la emergencia de la panícula es variada, como por ejemplo,

para D-sativa el 50% de la emergencia ocurre entre los 90 y 95 días después de la siembra (dds) y para Venezuela 21 el 50% de emergencia ocurre a los 76 dds (AMC, s.a; APROSCELLO, 2001).

Estas variedades fueron sembradas durante el semestre de lluvias del año 2006 en las dos localidades de estudio antes mencionadas. La metodología que se describe a continuación se siguió en ambas localidades de igual forma.

Preparación del suelo:

Los lotes fueron quemados antes de la siembra, para eliminar restos de cosecha anterior y prevenir la incidencia de roedores. La preparación del suelo se realizó, mediante dos a tres pases cruzados de rastra, con el suelo seco. Luego, se introdujo agua por inundación, para proceder a dar de uno a tres pases de rotovator o cultivador, manteniéndose la lámina de agua hasta el momento de la siembra para retrasar la resurgencia de malezas.

El sembrado fue realizado por trasplante el día 10 de Agosto para Calabozo y el día 11 del mismo mes para Acarigua en el año 2006, drenándose el terreno un día antes de la siembra en cada localidad para la delimitación de las parcelas y el sembrado de plantas.

Trasplante y diseño experimental:

El trasplante se realizó 20 días después de la siembra en almácigos, con 8 hileras por variedad con una separación entre ellas de 0,3 m, en cada hilera se ubicaron 25 puntos, colocando una planta por punto con una separación entre plantas de 0,2 m, formando un área efectiva por planta de 0,06 m² y por parcela de 10,08 m² (4.8 m de largo x 2,1 m ancho). Cada variedad, representada por parcela, se replicó 4 veces para un total de 56 parcelas distribuidas de acuerdo a un diseño de bloques completamente al azar (BCA).

- **Control de malezas:** Las malezas fueron controladas en forma manual y química. El control manual se realizó posterior a la aplicación de herbicidas. Los controles químicos se realizaron en dos ocasiones, con los productos comerciales señalados en la Tabla 3.
- **Riego y fertilización:** Luego del primer control de malezas se mantuvo una lámina de agua de aproximadamente 0,1 m de profundidad, la misma se conservó a lo largo del desarrollo

del cultivo (excepto cuando se drenaba para aplicar la fertilización) hasta la etapa de maduración de granos cuando se drenaron los lotes en forma definitiva para favorecer el secado y facilitar la cosecha. Se realizó una fertilización básica (50 kg.ha⁻¹ N, 60 kg.ha⁻¹ P, 60 kg.ha⁻¹ K) a los 3 días después del trasplante (ddt) y tres nuevas aplicaciones (33,33 kg.ha⁻¹ N c/u) a los 35, 45 y 55 ddt realizadas en forma manual al voleo.

- **Control de plagas y enfermedades:** Se realizó un control de plagas y enfermedades para lo que se conoce y se desconoce resistencia genética y cuyo daño hubiese comprometido el establecimiento del cultivo o su cosecha. La Tabla 3 presenta un resumen de los productos utilizados para el control de plagas y enfermedades en los ensayos.

Tabla 3. Resumen del manejo agronómico realizado para el control químico de malezas y para el control de plagas y enfermedades en los ensayos.

Control	Objetivo ¹	Rango de días de aplicación ²	Nombre del producto comercial (PC)	Ingrediente activo	Dosis de PC
Químico de Malezas	Maleza	7 a 10 ddt y 50 a 60 ddt	Designé® o Nominee® (Bispiribac Sodio) Clinche® (Cyhalofop) Basagram M-60® (Bentazón+MCPA) New kill® (Metsulfuron metil) Syrius® (Pirazosulfuron-etil)	-	Recomendadas por el fabricante.
Enfermedades	Piricularia	15 a 30 ddt	Arcado	Carpropamida	0.25 a 0.35 Lt/ha
Enfermedades	Piricularia y otros hongos	15 a 25 ddt	Agrodrin L.S.	Monocotrofos	1.0 Lt/ha
Enfermedades	Helminthosporium y piricularia	18 a 22 ddt	Phyton – 27	Pentahidrato sulfato de Cobre al 21%	0.5 Lt/ha
Enfermedades	Hongos varios	45 a 70 ddt	Fujione	Isoprothiolane	1.5 Lt/ha
Enfermedades	Piricularia, Rhizoctonia, Sarocladium y manchado de grano	80 a 90 ddt	Stratego	Trifloxystrobin	0.75 Lt/ha
Enfermedades	Manchado de grano	80 a 90 ddt	Taspa	Difenoconazol 25% + Propiconazol 25	1.0 Lt/ha
Insecto plaga	Protección de plántulas contra insectos del suelo	0 ddt (en semillas)	Gaucha F.S.	Imidacloprid	0.3 Lt/100 Kg de semilla
Insecto plaga	Insectos varios	25 a 35 ddt	Inisan	Monocotrofos	1.0 Lt/ha
Insecto plaga	Gorgojo acuático	35 a 70 ddt	Carbodan o Curater	Carbofuran	1.0 a 1.5 Lt/ha
Insecto plaga	Sogata	35 a 45 ddt	Actara	Thiamethoxan 25%	0.1 Kg/ha
Insecto plaga	Chinche vaneador	80 a 110 ddt	Actara	Thiamethoxan 25%	0.1 kg/ha
Insecto plaga	Singamia y chinche vaneador	100 a 110 ddt	Amador	Metamidofos	0.5 Lt/ha
Vertebrado plaga	Roedores	60 a 120 ddt	Klerat	Brodifacouma	1.0 Kg/ha

¹: Piricularia (*Piricularia grisea*), Gorgojo acuático (*Lissorhophthrus oryzophilus*), Sogata (*Tagosodes orizicolus*), Chinche vaneador (*Oebalus ypsilon-griseus*) y Singamia (*Singamia sp.*).

²: ddt, días después del trasplante.

Muestreo:

Se realizó a los 25, 39, 81 y 109 ddt para Calabozo y a los 31, 68, 88 y 108 ddt para Acarigua. En cada muestreo se tomó 1 planta entre tres de las parcelas y 2 plantas en la parcela restante hasta completar 5 plantas por variedad, excluyendo las plantas ubicadas en los límites por parcela para reducir el efecto de borde. A estas plantas se le eliminaron las raíces y los restos de suelo, luego fueron colocadas en bolsas de papel debidamente identificadas con datos de localidad, variedad y fecha; y trasladadas al laboratorio para su posterior manipulación.

Separación, determinación del peso seco y medición del material vegetal:

Las bolsas con las plantas completas fueron colocadas en una estufa a 70°C hasta estabilizar su peso. Luego se procedió a separar cada planta en hojas verdes, hojas secas, tallos, raquis y granos. Cada órgano se pesó individualmente y se midieron las hojas banderas seleccionadas al azar.

Variables evaluadas:

- **Rendimiento:** se determinó como peso seco de granos cosechados por planta y fue expresado en gramos por unidad de área de suelo según la fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso seco de granos cosechados por planta en gramos (g)}}{\text{Área efectiva por planta (0,06 m}^2\text{)}}$$

- **Tasa de Crecimiento Relativo (TCR):** se determinó en base al logaritmo natural del peso seco de la planta completa determinada en cada variedad por salida en cada localidad, según la siguiente fórmula (Torres de la Noval, 1984):

$$\text{TCR} = \frac{\text{Ln } P_{\text{final}} - \text{Ln } P_{\text{inicial}}}{(t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}})}$$

Donde: **A)** Calabozo y **B)** Acarigua.

A.1) t_{final} : 39 ddt; t_{inicial} : 25 ddt.

B.1) t_{final} : 68 ddt; t_{inicial} : 31 ddt.

A.2) t_{final} : 81 ddt; t_{inicial} : 39 ddt.

B.2) t_{final} : 88 ddt; t_{inicial} : 68 ddt.

A.3) t_{final} : 109 ddt; t_{inicial} : 81 ddt.

B.3) t_{final} : 108 ddt; t_{inicial} : 88 ddt.

- **Biomasa Total:** se determinó como peso seco de la planta completa y fue expresado en gramos por unidad de área de suelo según la fórmula:

$$\text{Biomasa Total} = \frac{\text{Peso seco de la planta completa en gramos (g)}}{\text{Área efectiva por planta (0,06 m}^2\text{)}}$$

- **Biomasa Vegetativa:** se determinó como la suma de los pesos secos de hojas verdes, hojas secas, vaina y tallos por planta; y fue expresado en gramos por unidad de área de suelo según la fórmula:

$$\text{Biomasa Vegetativa} = \frac{\text{Suma del peso seco de la parte vegetativa por planta en gramos (g)}}{\text{Área efectiva por planta (0,06 m}^2\text{)}}$$

- **Índice de Cosecha (IC):** se determinó de la fracción de peso seco de granos entre peso seco de la planta completa según la fórmula:

$$\text{IC} = \frac{\text{Peso seco de granos cosechados por planta en gramos (g)}}{\text{Peso seco de la planta completa en gramos (g)}}$$

- **Largo de la Hoja Bandera:** Medida en cm de la hoja bandera desde el nudo de la hoja hasta el ápice, en cinco hojas bandera tomadas al azar en plantas diferentes.
- **Ancho de la Hoja Bandera:** En las mismas hojas banderas donde se midió el largo, se tomó la medida en cm en la parte más ancha de cada hoja.

Análisis estadístico:

Se utilizó el programa SigmaPlot 11.0 para llevar a cabo Análisis de Varianza (ANOVA) de dos vías para el rendimiento y los parámetros de crecimiento; y de una vía para los parámetros morfológicos, con un nivel de significancia de $p < 0,05$, previa comprobación de los supuestos del ANOVA.

El progreso o el efecto del mejoramiento para cada característica se determinó con base a un análisis de regresión lineal; en este caso, la pendiente de la línea de regresión (b) con respecto al año de lanzamiento de las variedades fue utilizada como el grado de variación interanual para la característica. El análisis de regresión lineal expresa relaciones entre variables, para estudiar

comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad; siendo declarado el progreso de una característica con los años de mejoramiento genético, la que tenga una pendiente positiva ($b > 0$) y significativa (Si $p < 0,05$, el valor de b es significativa *). Se utilizó el programa STATISTICA Six Sigma para determinar si b es significativa.

Para establecer la importancia de algunos parámetros de crecimiento y morfológicos en la determinación del rendimiento del arroz en Venezuela, se realizó análisis de regresión lineal para evaluar cuál de los parámetros considerados tienen mayor impacto en el rendimiento, siendo declarado un parámetro importante, la relación que tenga una pendiente positiva ($b > 0$) y significativa (Si $p < 0,05$, el valor de b es significativa *).

RESULTADOS

La Tabla 4 presenta el ANOVA de dos vías realizado para cada una de las variables evaluadas en este estudio. Los análisis indican que las variedades no presentan una interacción genotipo x ambiente para ninguna de las variables consideradas. El resto de los resultados de estos análisis serán especificados a medida que se avance en la presentación de resultados.

Tabla 4. ANOVA de dos vías para las variables Rendimiento, Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), Biomasa Total, Biomasa Vegetativa e Índice de Cosecha de las variedades de arroz evaluadas en este estudio.

Variable	Fuente de Variación	Valor de F	Valor de p
Rendimiento	Variedad	3.268	<0.001 **
	Localidad	61.052	<0.001 **
	Variedad x Localidad	0.886	0.570 ns
TCR (Calabozo)	Variedad ^(a-b)	1,165	0,317 ns
	(a-b)	481,039	<0.001 **
	Variedad ^(a-b) x (a-b)	0,663	0,794 ns
	Variedad ^(a-c)	1,195	0,294 ns
	(a-c)	901,169	<0.001 **
	Variedad ^(a-c) x (a-c)	1,375	0,185 ns
	Variedad ^(b-c)	1,939	0,036 *
	(b-c)	42,172	<0.001 **
	Variedad ^(b-c) x (b-c)	1,324	0,215 ns
	Variedad ^(d-e)	1,728	0,067 ns
TCR (Acarigua)	(d-e)	77,910	<0.001 **
	Variedad ^(d-e) x (d-e)	1,082	0,383 ns
	Variedad ^(d-f)	0,447	0,948 ns
	(d-f)	208,162	<0.001 **
	Variedad ^(d-f) x (d-f)	1,591	0,100 ns
	Variedad ^(e-f)	2,056	0,023 *
	(e-f)	27,221	<0.001 **
	Variedad ^(e-f) x (e-f)	2,504	0,005 *
	Variedad	2.460	0.006 *
	Localidad	92.255	<0.001 **
Biomasa Total	Variedad x Localidad	1.149	0.327 ns
	Variedad	2.103	0.019 *
	Localidad	76.466	<0.001 **
Biomasa Vegetativa	Variedad x Localidad	1.391	0.175 ns
	Variedad	3.926	<0.001 **
	Localidad	2.443	0.121 ns
Índice de Cosecha	Variedad x Localidad	1.641	0.085 ns

p > 0.05: Diferencia no significativa (ns); 0.001 > p < 0.05: Diferencia significativa (*);

p < 0.001: Diferencia altamente significativa (**).

(a: 25-39, b: 39-81, c: 81-109, d: 31-68, e: 68-88, f: 88-108) ddt.

Rendimiento:

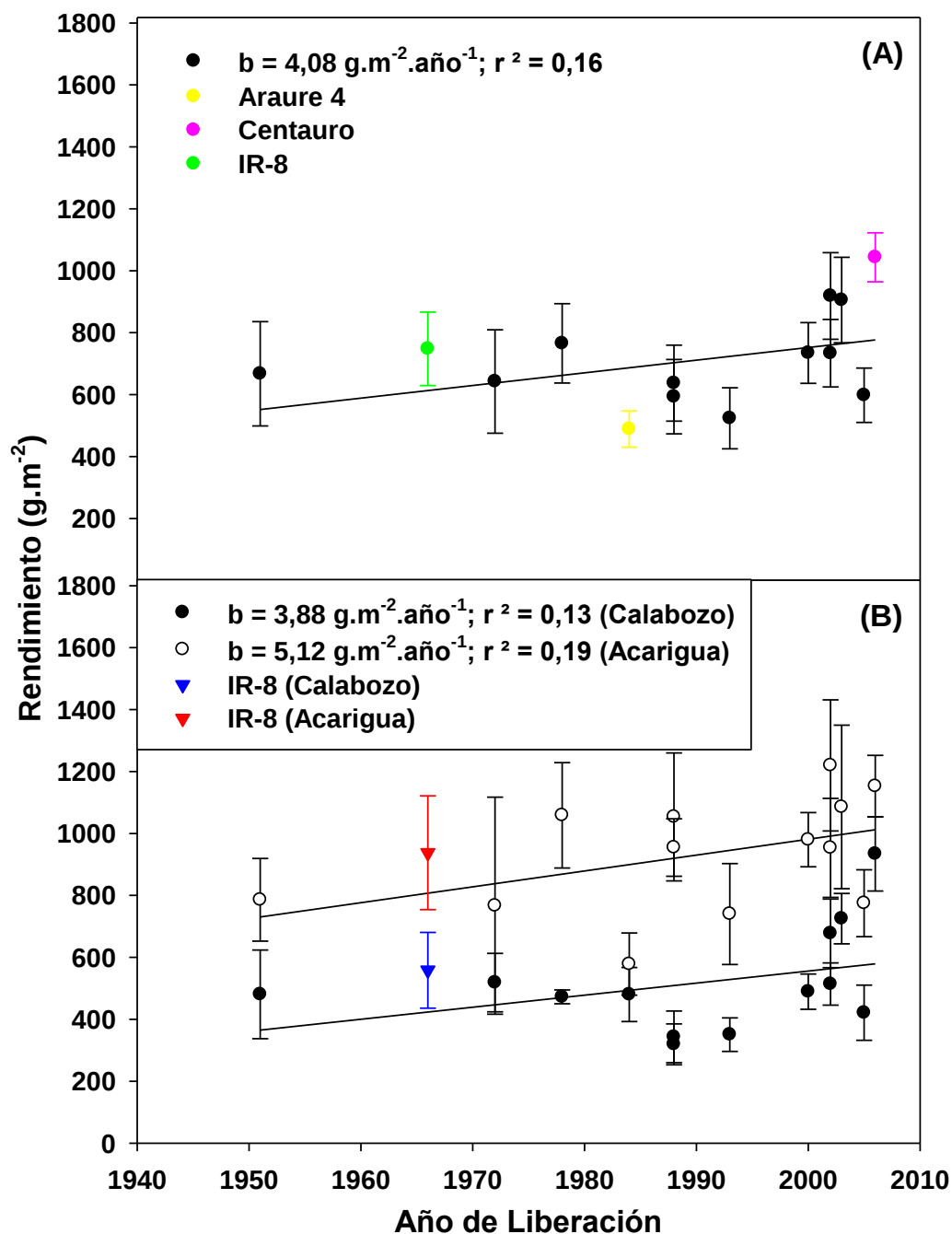


Figura 6. Regresión lineal para el rendimiento de las variedades de arroz evaluadas en este estudio (excluyendo IR8 del análisis de regresión) con relación al año de liberación de las variedades. (A) Rendimiento promedio de las dos localidades ($b = 4,08 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 1,597$; $p = 0,139$); (B) Rendimiento promedio por localidad: $b = 3,88 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 1,241$; $p = 0,241$ (Calabozo), $b = 5,12 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 1,549$; $p = 0,150$ (Acarigua). La línea vertical que atraviesa cada símbolo (círculo y triángulo) representa el error estándar de la media $n = 10$ para (A) y $n = 5$ para (B).

La Fig. 6 presenta la regresión lineal para determinar si ha ocurrido un avance significativo en el rendimiento con los años de mejoramiento genético, tanto independientemente de la localidad (Fig. 6A) como para Calabozo y Acarigua (Fig. 6B); indicando que el progreso para rendimiento con los años de mejoramiento genético no fue significativo. Al correlacionar rendimiento con el año de liberación, tanto por variedad como por localidad, encontramos pendientes positivas, las cuales no fueron significativas. Además, se encontraron diferencias altamente significativas entre variedades (Tabla 4), con valores de rendimiento entre 488,7 y 1043,4 g.m⁻², correspondiente a las variedades Araure 4 y Centauro. Y se hallaron diferencias altamente significativas para el efecto de la localidad (Tabla 4), observando que los valores de rendimiento fueron mayores en la localidad de Acarigua en comparación con Calabozo.

Para estimar el PR de las variedades de arroz en Venezuela, se utilizó el promedio de los cinco mejores registros experimentales de rendimiento. Los resultados de la Tabla 5 indican que bajo condiciones de mínimo estrés en ambientes arroceros de Venezuela, las variedades de arroz pueden producir en promedio un rendimiento de 1114,1 g.m⁻².

Tabla 5. Estimación del PR de las variedades de arroz en Venezuela a partir del promedio de los cinco mejores registros de rendimiento expresados en gramos por metro cuadrado.

Variedad	Localidad	Días Después del Trasplante	Rendimiento (g.m⁻²)
Araure 1	Acarigua	108	1059,1
Cimarrón	Acarigua	88	1054,2
Zeta 15	Acarigua	108	1219,5
Venezuela 21	Acarigua	108	1085,3
Centauro	Acarigua	108	1152,4
Promedio de los cinco mejores registros			1114,1

Parámetros de Crecimiento:

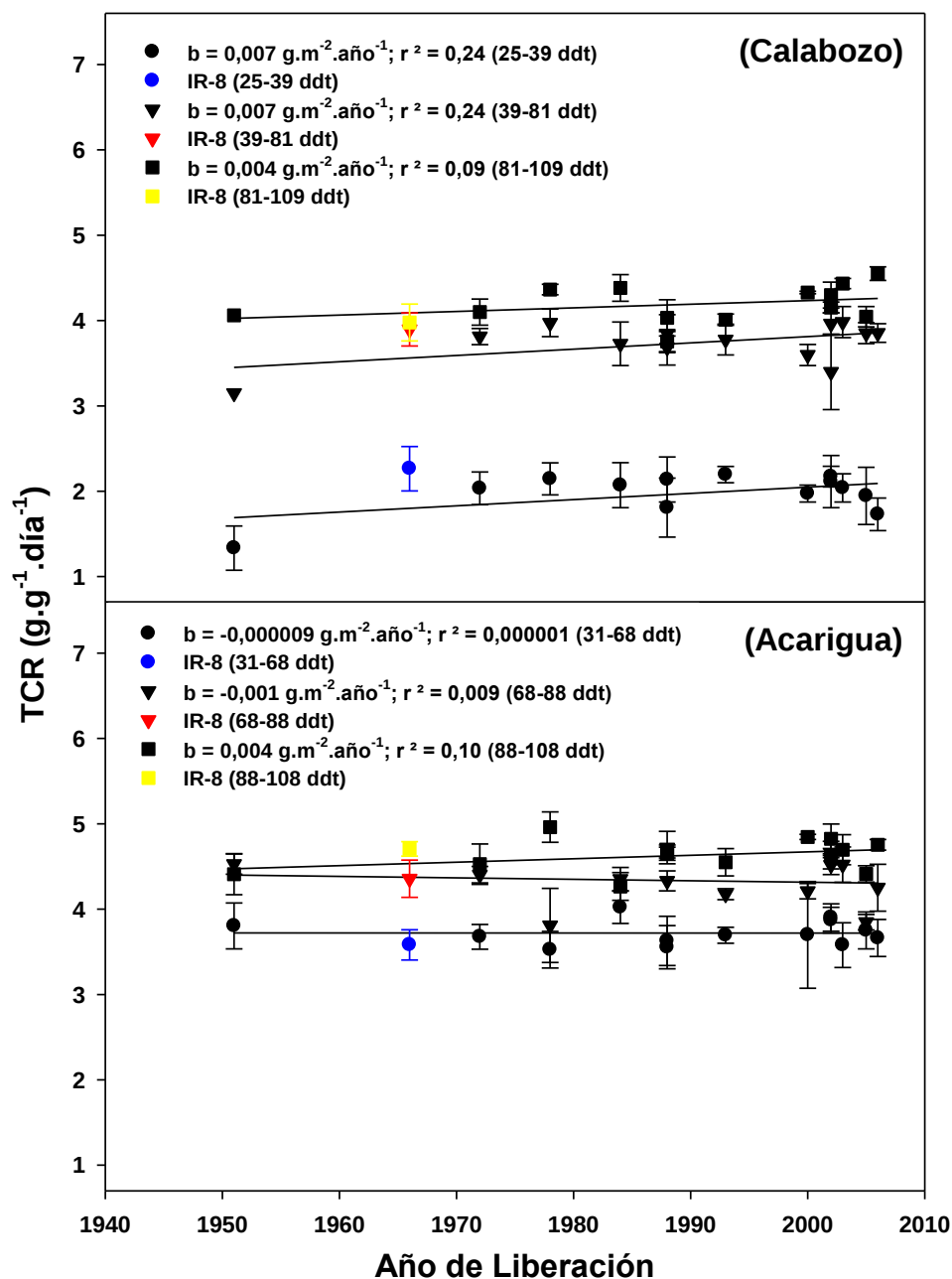


Figura 7. Regresión lineal para la tasa de crecimiento relativo (TCR) de las variedades de arroz evaluadas en este estudio (excluyendo IR8 del análisis de regresión), cosechadas a los 25-39 ($b = 0,007 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 1,666$; $p = 0,123$), 39-81 ($b = 0,007 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 2,195$; $p = 0,051$) y 81-109 ($b = 0,004 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 0,824$; $p = 0,426$) ddt en Calabozo, y a los 31-68 ($b = -0,000009 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = -0,208$; $p = 0,838$), 68-88 ($b = -0,001 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = -0,278$; $p = 0,786$) y 88-108 ($b = 0,004 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 0,979$; $p = 0,348$) ddt en Acarigua; con relación al año de liberación de las variedades. La línea vertical que atraviesa cada símbolo (círculo, triángulo y cuadrado) representa el error estándar de la media $n = 5$ para cada muestreo por variedad en cada localidad.

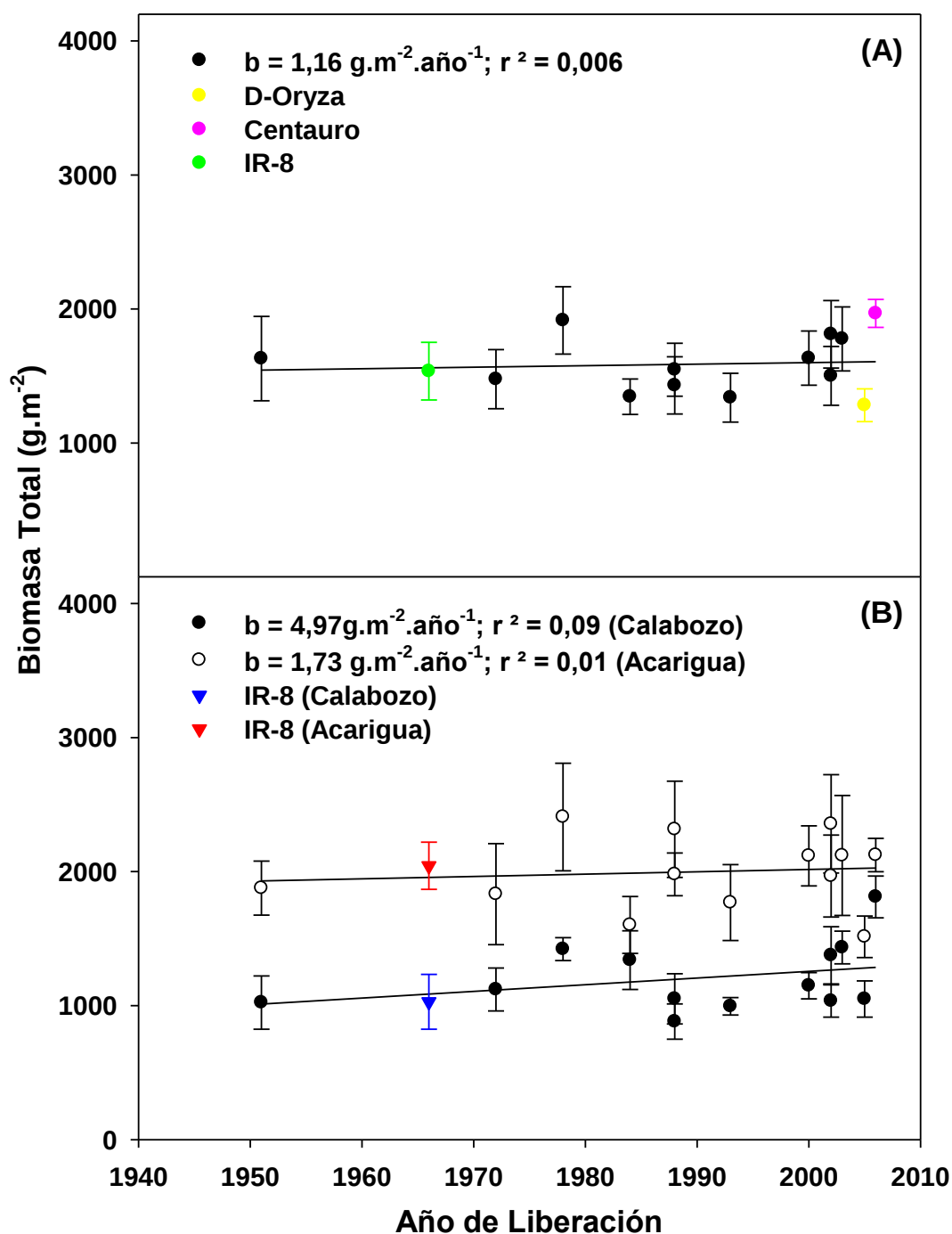


Figura 8. Regresión lineal para la biomasa total a los 109 ddt en Calabozo y a los 108 ddt en Acarigua, de las variedades de arroz evaluadas en este estudio (excluyendo IR8 del análisis de regresión) con relación al año de liberación de las variedades: (A) Biomasa total promedio de las dos localidades ($b = 1,16 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 0,717$; $p = 0,489$); (B) Biomasa total promedio en cada localidad: $b = 4,97 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 1,052$; $p = 0,315$ (Calabozo), $b = 1,73 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 0,304$; $p = 0,767$ (Acarigua). La línea vertical que atraviesa cada símbolo (círculo y triángulo) representa el error estándar de la media $n = 10$ para (A) y $n = 5$ para (B).

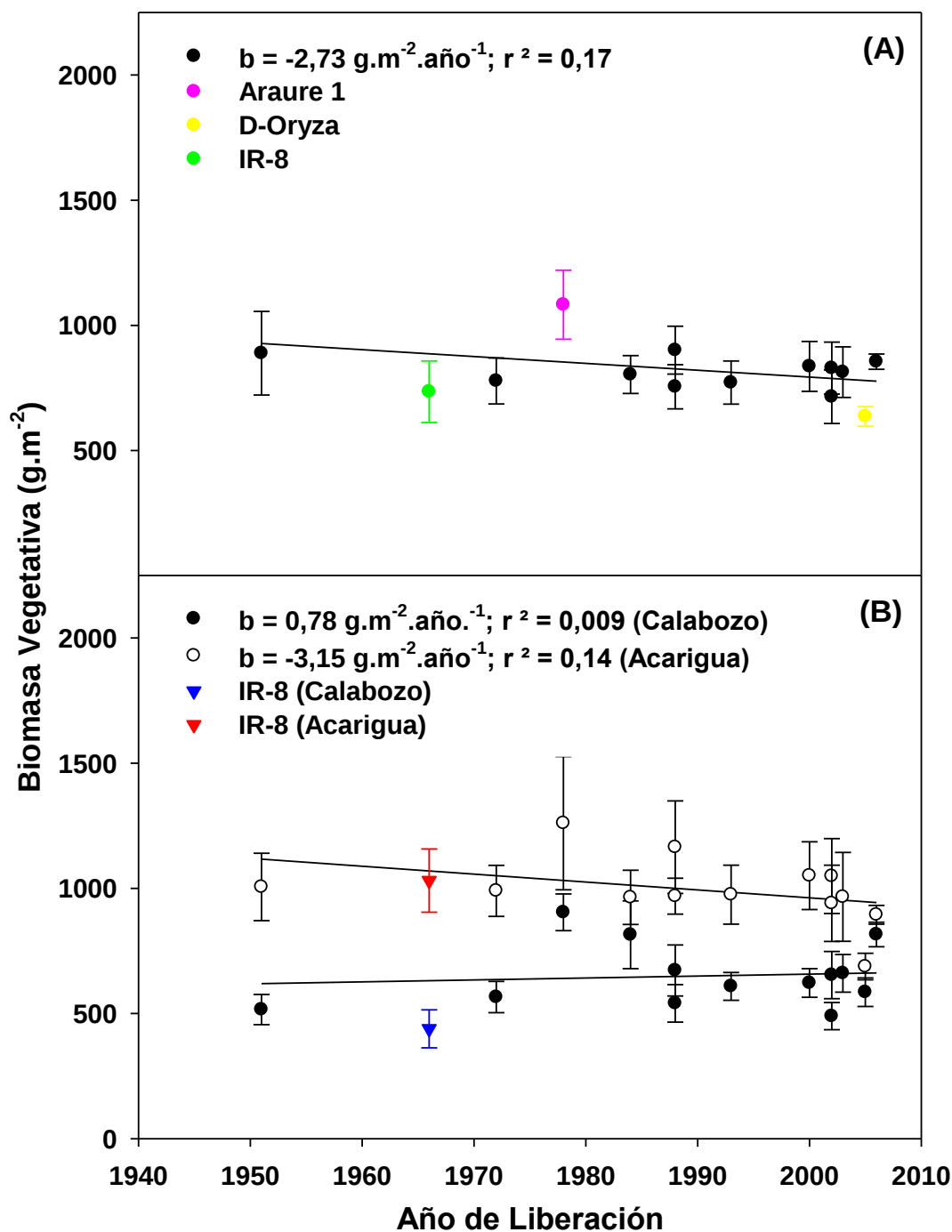


Figura 9. Regresión lineal para la biomasa vegetativa a los 109 ddt en Calabozo y a los 108 ddt en Acarigua, de las variedades de arroz evaluadas en este estudio (excluyendo IR8 del análisis de regresión) con relación al año de liberación de las variedades: (A) Biomasa vegetativa promedio de las dos localidades ($b = -2,73 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = -0,587$; $p = 0,569$); (B) Biomasa vegetativa promedio en cada localidad: $b = 0,78 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 0,427$; $p = 0,677$ (Calabozo), $b = -3,15 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = -1,333$; $p = 0,210$ (Acarigua). La línea vertical que atraviesa cada símbolo (círculo y triángulo) representa el error estándar de la media $n = 10$ para (A) y $n = 5$ para (B).

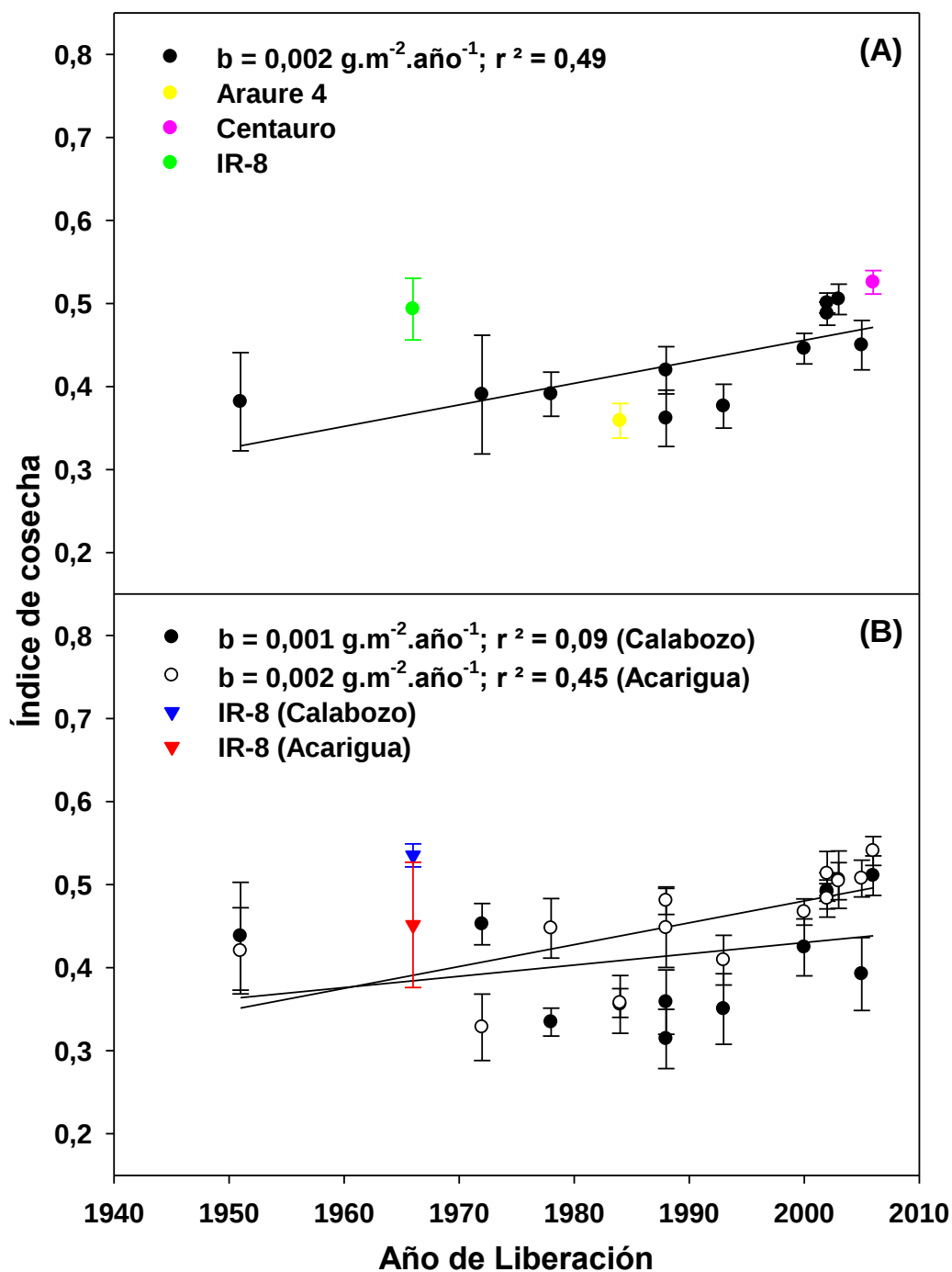


Figura 10. Regresión lineal para el índice de cosecha a los 109 ddt en Calabozo y a los 108 ddt en Acarigua, de las variedades de arroz evaluadas en este estudio (excluyendo IR8 del análisis de regresión) con relación al año de liberación de las variedades: (A) Índice de cosecha promedio de las dos localidades ($b = 0,002 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1} *$; $t = 2,267$; $p = 0,045$); (B) Índice de cosecha promedio en cada localidad: $b = 0,001 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$; $t = 1,042$; $p = 0,320$ (Calabozo), $b = 0,002 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1} *$; $t = 2,982$; $p = 0,012$ (Acarigua). La línea vertical que atraviesa cada símbolo (círculo y triángulo) representa el error estándar de la media $n = 10$ para (A) y $n = 5$ para (B).

Las Figs. 7, 8, 9 y 10 muestran la regresión lineal para determinar si se presentaron cambios significativos en los parámetros de crecimiento considerados en este estudio (tasa de crecimiento relativo (TCR), biomasa total, biomasa vegetativa e IC), con los años de mejoramiento genético. Tanto independientemente de la localidad (para los casos de las Figs. 8A, 9A y 10A) como para Calabozo y Acarigua respectivamente (para los casos de las Figs. 7, 8B, 9B y 10B); indicando que no se presentaron cambios significativos para estos parámetros de crecimiento con los años de mejoramiento genético. Sin embargo, según los coeficientes de correlación el mayor aporte del mejoramiento genético parece haber sido sobre el IC.

Al correlacionar TCR con el año de liberación (Fig. 7) encontramos pendientes positivas y no significativas a los 25-39, 39-81 y 81-109 ddt en Calabozo, con diferencias altamente significativas entre rango ddt (Tabla 4); y a los 88-108 ddt en Acarigua. Las pendientes negativas y no significativas se encontraron a los 31-68 y 68-88 ddt en Acarigua, con diferencias altamente significativas entre rango ddt (Tabla 4). Al correlacionar biomasa total, biomasa vegetativa e IC por variedad con el año de liberación se encontraron pendientes positivas y no significativas en la biomasa total y en el IC (Figs. 8A y 10A); y se encontraron pendientes negativas y no significativas en la biomasa vegetativa (Fig. 9A). Al correlacionar biomasa total, biomasa vegetativa e IC por localidad con el año de liberación se encontraron pendientes positivas y no significativas en la biomasa total para Calabozo y Acarigua (Fig. 8B), en la biomasa vegetativa para Calabozo (Fig. 9B) y en el IC para Calabozo y Acarigua (Fig. 10B); y se encontró una pendiente negativa y no significativa para la biomasa vegetativa en Acarigua (Fig. 9B).

Se encontraron diferencias significativas entre variedades a los 39-81 y 81-109 ddt para la TCR en Calabozo; y a los 68-88 y 88-108 ddt para la TCR en Acarigua. Para el resto no se encontraron diferencias significativas (Tabla 4). Se halló diferencias altamente significativas en la interacción variedad por rango de ddt a los 68-88 y 88-108 ddt para la TCR en Acarigua; y se no encontraron diferencias significativas entre variedades por rango de ddt para la TCR del resto en ambas localidades (Tabla 4). Se encontraron diferencias significativas entre variedades para biomasa total

y biomasa vegetativa (Tabla 4), con valores de biomasa total entre 1281,8 y 1967,5 g.m⁻² correspondientes a D-Oryza y Centauro respectivamente (Fig. 8A), y con valores de biomasa vegetativa entre 636,3 y 1082,3 g.m⁻² correspondientes a D-Oryza y Araure 1 respectivamente (Fig. 9A). Se hallaron diferencias altamente significativas entre variedades para el IC (Tabla 4), con valores entre 0.35 y 0.52 para Araure 4 y Centauro respectivamente (Fig. 10A). Para el efecto de la localidad, se encontraron diferencias altamente significativas para biomasa total y biomasa vegetativa (Tabla 4), donde la localidad de Acarigua tuvo los valores más altos para las variables anteriormente mencionadas en comparación con Calabozo (Figs. 8B y 9B). No se hallaron diferencias significativas entre localidades para el IC (Fig. 10B) (Tabla 4).

En líneas generales se observa que los registros más altos de los parámetros de crecimiento considerados en este estudio los presenta Acarigua en comparación con Calabozo.

Se realizó análisis de regresión lineal para evaluar cuál de las variables independientes consideradas (TCR, biomasa total, biomasa vegetativa e IC), tiene mayor impacto sobre el rendimiento (Figs. 11, 12 y 13). La relación del rendimiento con la TCR por localidad lo presenta la Fig. 11. Y para el resto de las variables independientes, el análisis de regresión lineal independientemente de la localidad lo presenta la Fig. 12 y por localidad la Fig. 13, donde la Fig. 13A lo muestra para la biomasa total y la biomasa vegetativa; y la Fig. 13B para el IC. El signo y significancia de las pendientes se encuentran en las figuras correspondientes de cada variable considerada.

De acuerdo a estos análisis de regresión lineal las variables independientes que tienen mayor impacto sobre el rendimiento fueron la biomasa total (tanto independientemente de la localidad, como para Calabozo y Acarigua respectivamente), seguida de la TCR (a los 81-109 ddt en Calabozo y a los 88-108 ddt en Acarigua) y el IC (tanto independientemente de la localidad como para ambas localidades).

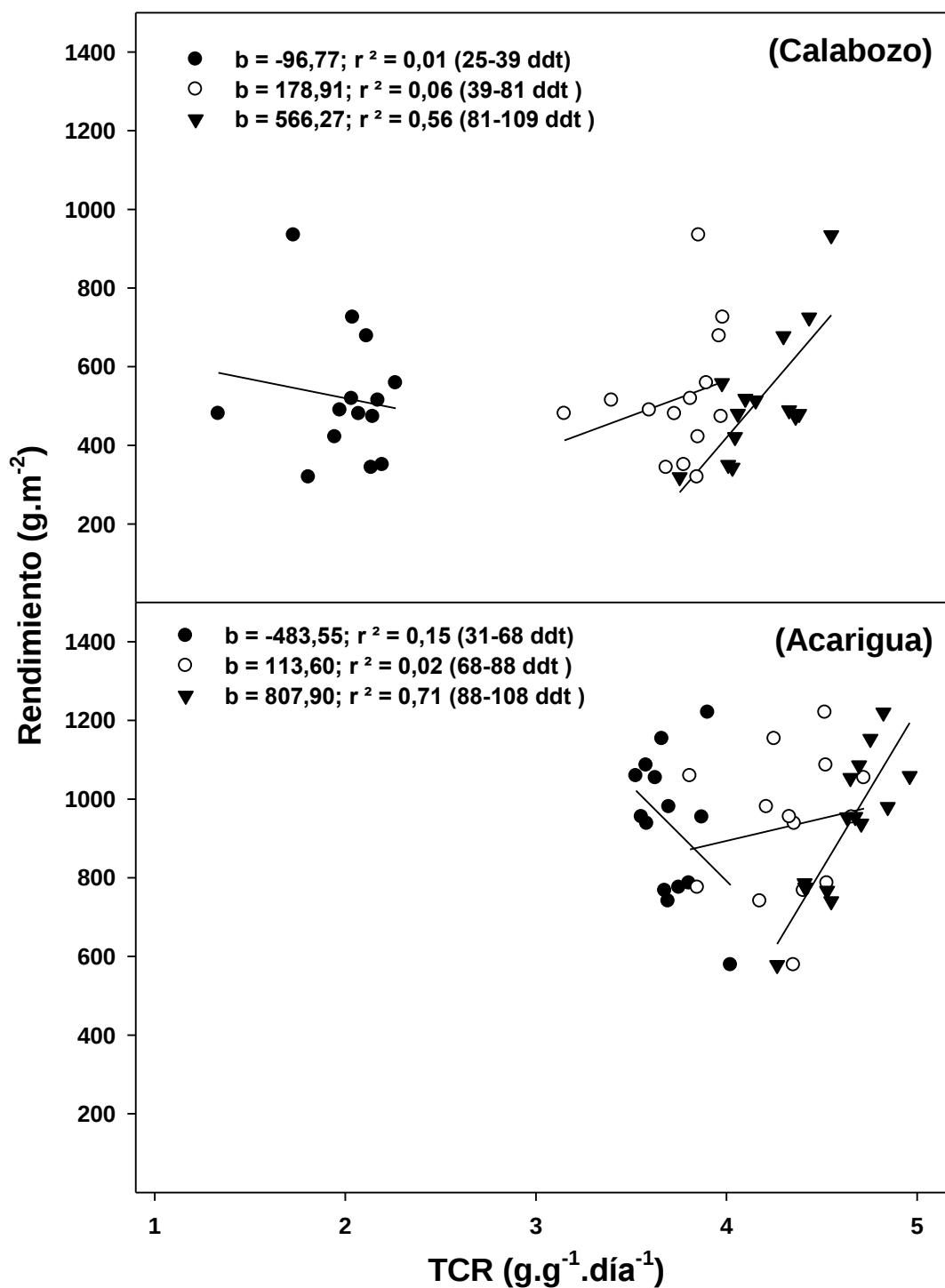


Figura 11. Relación del rendimiento con la tasa de crecimiento relativo (TCR) de las variedades de arroz evaluadas en este estudio, cosechadas a los 25-39 ($b = -96,77$; $t = -0,676$; $p = 0,512$), 39-81 ($b = 178,91$; $t = 0,475$; $p = 0,643$) y 81-109 ($b = 566,27 *$; $t = 2,799$; $p = 0,017$) ddt en Calabozo; y a los 31-68 ($b = -483,55$; $t = -0,999$; $p = 0,339$), 68-88 ($b = 113,60$; $t = 0,125$; $p = 0,902$) y 88-108 ($b = 807,90 *$; $t = 3,012$; $p = 0,011$) ddt en Acarigua.

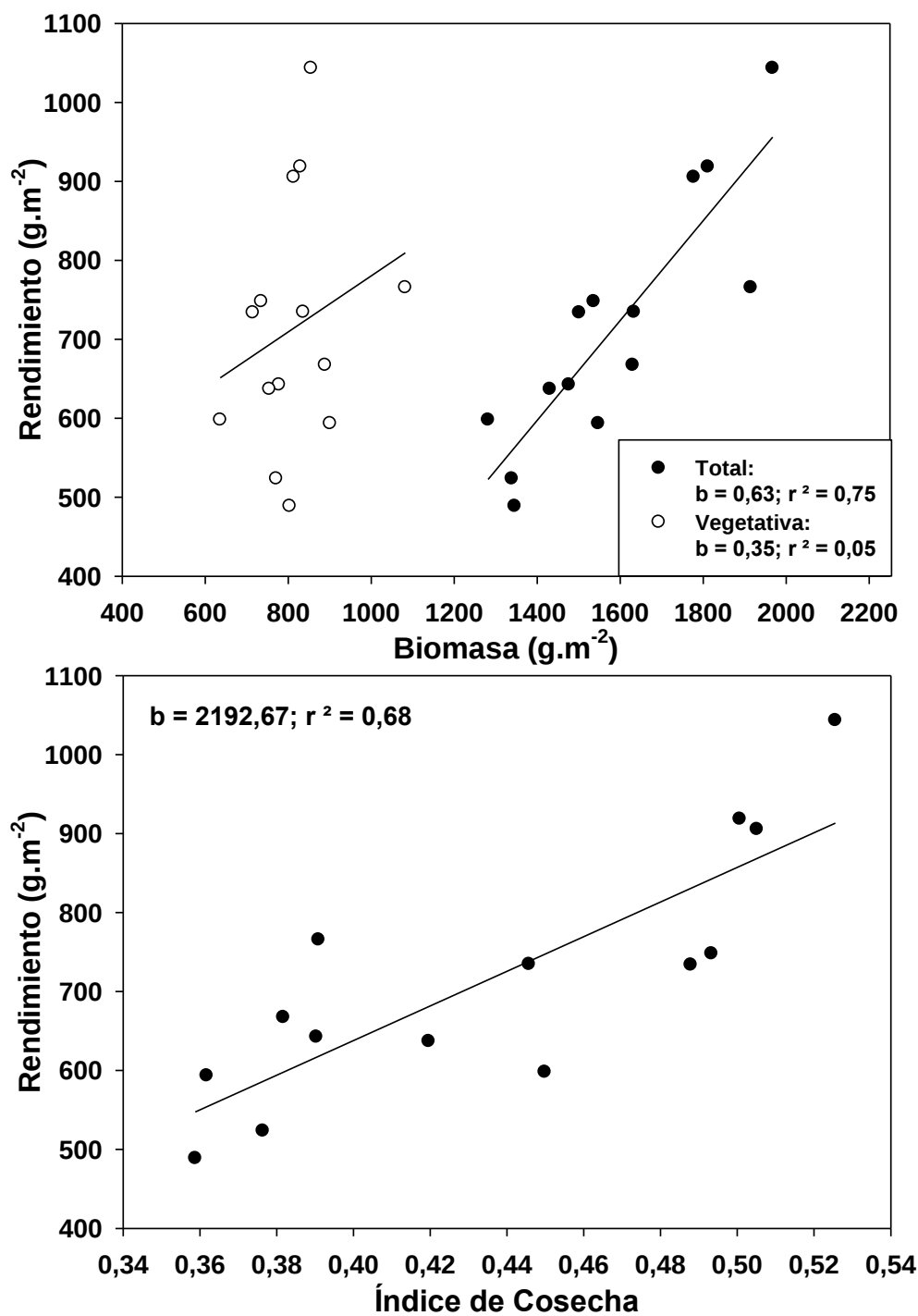


Figura 12. Relación del rendimiento con la biomasa total, biomasa vegetativa e índice de cosecha de las variedades de arroz evaluadas en este estudio, independientemente de la localidad: Biomasa Total $b = 0,63$ *; $t = 5,745$; $p = 0,0001$, Biomasa Vegetativa $b = 0,35$; $t = 1,111$; $p = 0,290$, Índice de Cosecha $b = 2192,67$ *; $t = 4,535$; $p = 0,0008$ (Cosechadas a los 109 ddt en Calabozo y a los 108 ddt en Acarigua).

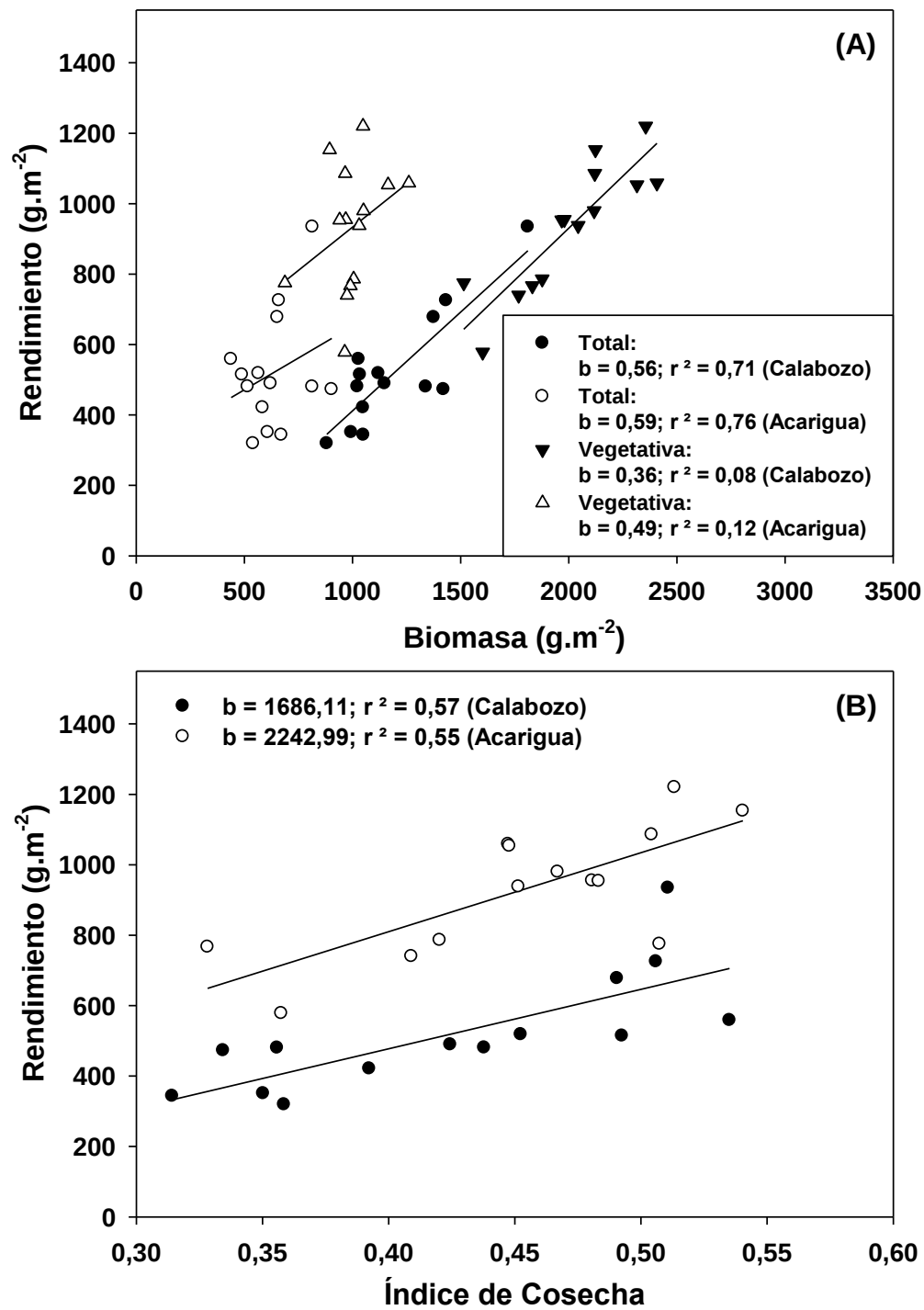


Figura 13. Relación del rendimiento con la biomasa total, biomasa vegetativa e índice de cosecha de las variedades de arroz evaluadas en este estudio (Biomasa Total: $b = 0,56$ *; $t = 3,802$; $p = 0,002$ (Calabozo), $b = 0,59$ *; $t = 3,257$; $p = 0,007$ (Acarigua); Biomasa Vegetativa: $b = 0,36$; $t = 1,273$; $p = 0,228$ (Calabozo), $b = 0,49$; $t = 0,672$; $p = 0,542$ (Acarigua); Índice de Cosecha: $b = 1686,11$ *; $t = 2,821$; $p = 0,016$ (Calabozo), $b = 2242,99$ *; $t = 3,171$; $p = 0,008$ (Acarigua)), cosechadas a los 109 ddt en Calabozo y a los 108 ddt en Acarigua.

Parámetros Morfológicos:

Del conjunto de parámetros morfológicos considerados en este trabajo (Largo y ancho de la hoja bandera) de las variedades de arroz evaluadas en este estudio, se encontraron diferencias significativas en ambos parámetros; y solo se encontró una tendencia lineal con los años de liberación significativa en el largo de la hoja bandera (Tabla 6 y Fig. 14A respectivamente). En la Fig. 14A se presenta el gráfico de regresión lineal para esta característica, con su estimado; donde se observa un incremento en el largo de la hoja bandera con los años de mejoramiento genético.

La Tabla 6 presenta las pruebas estadísticas para los parámetros morfológicos considerados en este estudio a los 109 ddt en Calabozo, donde se observa que hay diferencias significativas para largo y ancho de la hoja bandera entre variedades.

Tabla 6. Prueba estadística para los parámetros morfológicos Largo y Ancho de la Hoja Bandera a los 109 ddt en Calabozo, de las variedades de arroz evaluadas en este estudio.

Característica	Valor “p” para la hipótesis de igualdad de medias entre variedades	Rango de valores promedio mínimo y máximo entre variedades	Variedad (es) con menor promedio	Variedad (es) con mayor promedio
Largo hoja bandera (cm)	0,011 *	30,50 - 41,97	Araure 4	Zeta 15
Ancho hoja bandera (cm)	0,004 *	1,65 - 2,50	D-Oryza	Centauro

p > 0.05: Diferencia no significativa (ns); 0.001 > p < 0.05: Diferencia significativa (*);

p < 0.001: Diferencia altamente significativa ().**

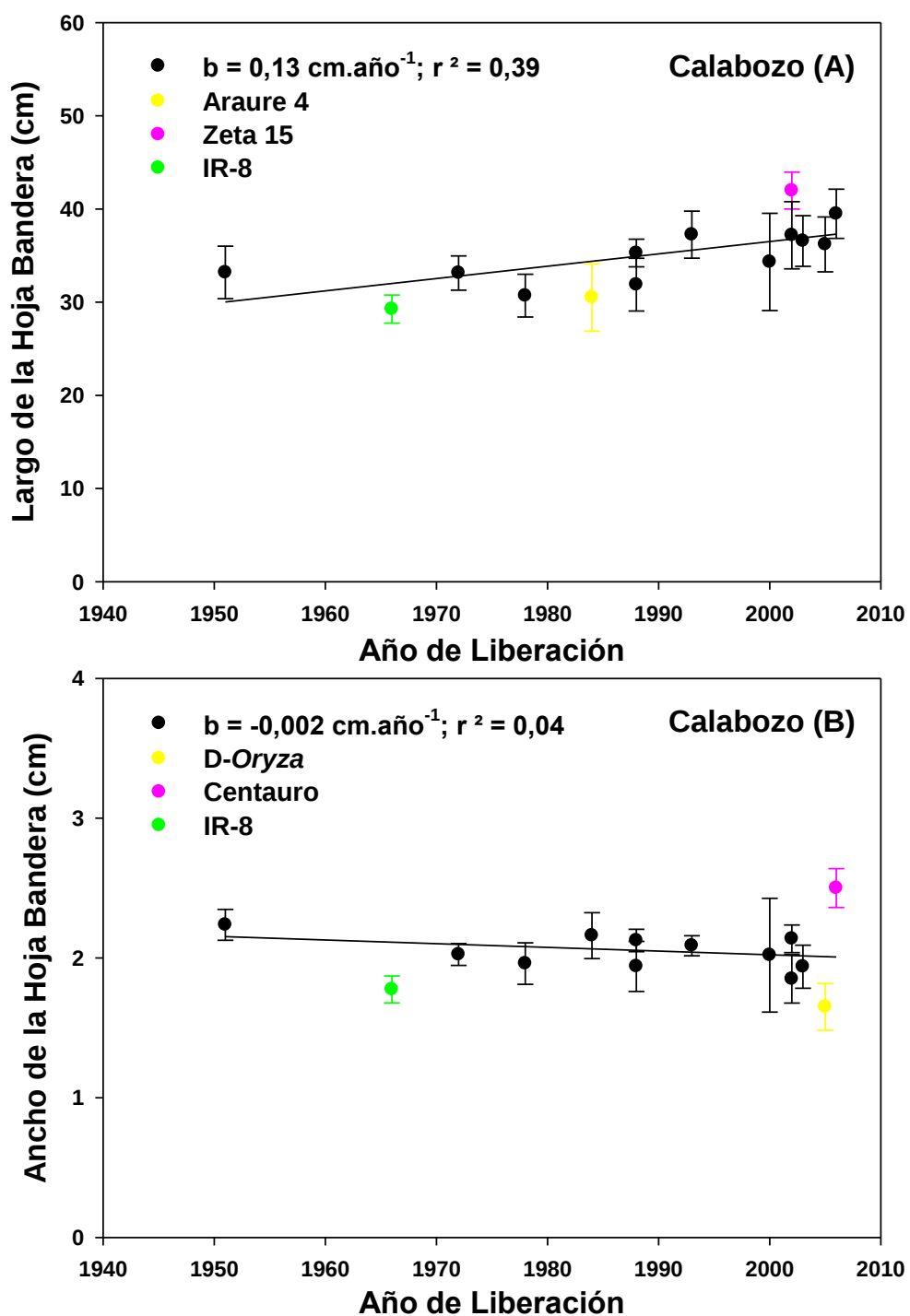


Figura 14. Regresión lineal para largo (A: $b = 0,13 \text{ cm.año}^{-1} *$; $t = 3,293$; $p = 0,006$) y ancho (B: $b = -0,002 \text{ cm.año}^{-1}$; $t = -0,155$; $p = 0,878$) de la hoja bandera a los 109 ddt en Calabozo, de las variedades de arroz evaluadas en este estudio (excluyendo IR8 del análisis de regresión) con relación al año de liberación de las variedades.

Se realizó análisis de regresión lineal para evaluar cuál de los parámetros de crecimientos considerados (Largo y ancho de la hoja bandera), tiene mayor impacto sobre el rendimiento (Fig. 15). Y de acuerdo a estos análisis de regresión lineal, ninguno de los dos parámetros considerados tiene un gran impacto sobre el rendimiento.

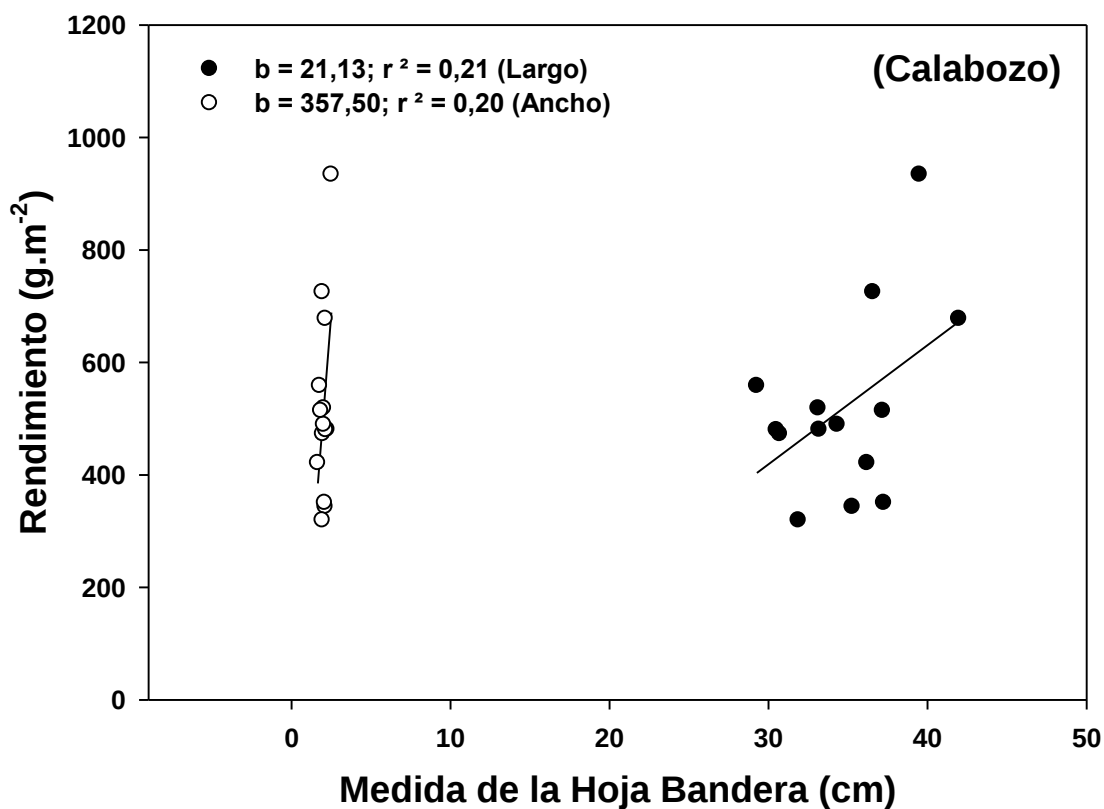


Figura 15. Relación del rendimiento con el largo y ancho de la hoja bandera de las variedades de arroz evaluadas en este estudio a los 109 ddt en Calabozo. (A: $b = 21,13$; $t = 1,806$; $p = 0,095$); (B: $b = 357,50$; $t = 1,752$; $p = 0,105$).

Rendimiento:

El progreso del rendimiento con los años de mejoramiento genético nos indica que el mejoramiento genético ha contribuido con un 50% al aumento en el rendimiento, a pesar de que la pendiente no sea significativa, en comparación con la dinámica histórica del rendimiento en Venezuela. Es probable que se diferencien por mejoras en las prácticas de manejo, por criterios de selección (como la resistencia a plagas y enfermedades), entre otras.

Por otro lado, que Acarigua tenga los mayores rendimientos en comparación con Calabozo, lo cual también ocurre con las variables TCR (tanto en fase de crecimiento vegetativo como en fase de maduración de grano), biomasa total y biomasa vegetativa; podría estar relacionado a que el contenido nutricional del suelo en Acarigua es mayor al de Calabozo, según el análisis de las muestras de suelo de ambas localidades (Tabla 1); lo cual podría corroborarse con un análisis más exhaustivo del contenido nutricional disponible en el suelo.

De acuerdo a la estimación del PR realizada en este trabajo, las variedades de arroz pueden producir en promedio 1114,1 g.m⁻² de grano paddy. Peng y col. (1999 y 2000) encontraron que el PR de las mejores líneas experimentales de arroz del IRRI, bajo condiciones de trasplante, se encuentra entre 900 y 1000 g.m⁻².

El manejo agronómico de los ensayos de campo en este trabajo no tomó en consideración todas las prácticas agronómicas que en teoría deben permitir una mejor expresión del potencial genético. La Fundación Nacional del Arroz (FUNDARROZ), con el apoyo del Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego (FLAR) y el aval económico del Fondo Común para los Productos Básicos (CFC), estableció un proyecto para estrechar la brecha de rendimiento de arroz de riego en Venezuela. En este proyecto se identificaron y validaron seis puntos estratégicos en el manejo mejorado del cultivo (FUNDARROZ, 2008). Los seis puntos estratégicos incluyen:

1. Fecha de siembra: Ajustar la fecha de siembra a los meses de noviembre y diciembre, de manera de aprovechar el máximo de radiación solar en la fase que demanda mayor radiación solar, que va desde el inicio del primordio hasta la floración. En las principales zonas arroceras entre los meses de enero y marzo. El segundo pico de radiación solar ocurre entre agosto y septiembre, lo que indica que la fecha de siembra debe efectuarse entre junio y julio. Sin embargo, en el ciclo de invierno la radiación solar es relativamente baja, por lo tanto, los rendimientos son limitados.
2. Densidad de siembra: Las altas densidades de siembra producen plantas de tallos débiles y susceptibles al volcamiento y a los ataques de enfermedades, especialmente Piricularia y Rhizoctonia. Para obtener altos rendimientos con variedades modernas se recomienda utilizar entre 80 y 120 Kg/ha de semilla, es decir, una población de 150-250 plantas/m².
3. Tratamiento de semillas: La protección con insecticidas en las semillas garantiza una buena germinación y establecimiento de plantas, debido al control de insectos que atacan en las fases iniciales de desarrollo del cultivo.
4. Control de malezas: Para incrementar los rendimientos se recomienda realizar control de malezas en una etapa temprana (1-3 hojas). En Venezuela es común hacer aplicaciones tardías con productos específicos.
5. Fertilización: El cultivo debe contar con los nutrimentos adecuados que le permitan aprovechar las condiciones ambientales y expresar el potencial genético de las variedades. En términos generales, el cultivo requiere más nutrimentos en verano que en invierno.
6. Manejo del agua: Un acertado manejo del riego es esencial para lograr una alta eficiencia en la fertilización, principalmente la nitrogenada, que además sea eficaz en el control de malezas y en la reducción de la incidencia de enfermedades. Para lograr estos resultados se recomienda establecer la lámina de agua a los 20 días después de la siembra, en campos nivelados. Cuando no se dispone de campos nivelados, el establecimiento de la lámina se retarda de 30 a 40 días, lo que afecta el rendimiento del cultivo.

Con la aplicación de los seis puntos estratégicos de manejo agronómico del arroz propuesto por FUNDARROZ, aunado al control de plagas y enfermedades, se han obtenido en Calabozo rendimientos de hasta 1120,0 g.m⁻² (FLAR, 2006).

Haciendo un análisis retrospectivo del rendimiento del arroz en América Latina, Pulver (2002) opina que “el crecimiento del rendimiento en la producción arroceras de América Latina ha pasado por tres fases distintas vividas en la últimas tres décadas de la siguiente manera: a) años 70, el incremento significativo de los rendimientos estuvo basado en la introducción y adopción por parte de los agricultores de variedades de tipo moderno, b) años 80, la presencia de factores como la desaparición de gran parte de los cultivos de arroz secano en países como Brasil, México y otros pertenecientes a Centroamérica, así como la liberalización del mercado y la reducción de los subsidios y aportes para los agricultores incidieron en el crecimiento del rendimiento y c) años 90, a pesar de los avances alcanzados mediante el mejoramiento genético de las variedades, éstas continuaron estancadas tanto en el ecosistema de riego como en el de secano. Hoy en día las variedades cuentan con un alto PR del que aún no gozan en las fincas arroceras debido a que los productores no ejecutan un manejo integrado del cultivo que desamordace las variedades permitiéndose expresar su PR por completo. Esto demuestra que sería de limitada utilidad contar con semillas poseedoras de virtudes como un excelente rendimiento si van a ser sometidas a prácticas erróneas de manejo que limitan y obstaculizan su buen desarrollo”. De acuerdo a este autor, diversos factores, además del mejoramiento genético, han sido responsables del incremento del rendimiento del arroz en los últimos cuarenta años, pero reconoce que la brecha entre el PR máximo alcanzable, que según Yoshida (1981) es de 1590 g.m⁻², y los rendimientos reales obtenidos por los agricultores solo puede reducirse con un adecuado manejo agronómico del cultivo.

El valor de PR obtenido en Acarigua en este trabajo es similar al reportado por la FLAR (2006) en Calabozo, por lo que las variedades de arroz en Venezuela pueden obtener rendimientos entre 1114,1 y 1120,0 g.m⁻². La diferencia en términos de localidad podría explicarse porque nuestra data

proviene de un cultivo desarrollado en la época de lluvias y el de la FLAR (2006) proviene de la época de sequía.

El rendimiento promedio nacional del arroz en Venezuela en la actualidad apenas supera los 500 g.m⁻², por tanto, existe una amplia brecha que superar para incrementar la producción de arroz. En este contexto, el mejoramiento genético del cultivo puede seguir contribuyendo al incremento de los rendimientos, incorporando en las variedades producto del mejoramiento convencional nuevos genes de resistencia a plagas y enfermedades, que es una estrategia que ha demostrado ser efectiva en el incremento del rendimiento en el país. Otras estrategias de mejoramiento que pueden contribuir a lograr mayores incrementos en rendimiento son el mejoramiento de arroz híbrido, la modificación de características asociadas al tipo de planta, la incorporación de genes de especies silvestres y la ingeniería genética. Sin embargo, ninguna de estas estrategias por sí sola será suficiente para aumentar el rendimiento promedio nacional si no se mejora el manejo agronómico del cultivo de arroz en Venezuela como lo menciona Pulver (2002).

Parámetros de Crecimiento:

La TCR representa la eficiencia de la planta para producir material nuevo (Hunt, 1978). Este índice depende del proceso fotosintético y la respiración, aunque existe una pequeña contribución de los minerales que la planta absorbe del suelo. La TCR permite además, la comparación libre entre genotipos o tratamientos; entre tanto, Clavijo (1989), afirma que la TCR está afectada tanto por la densidad de plantas como por la altura y el grado de sombreado, lo mismo que por la disponibilidad de nutrientes necesarios para realizar una alta producción de fotosintatos encargados de producir la materia seca. La mayores TCR que se observan en las últimas etapas del desarrollo del cultivo del arroz en ambas localidades (Calabozo a los 81-109 ddt y Acarigua a los 88-108 ddt), así como el impacto que tiene esta variable sobre el rendimiento, indican que el crecimiento post floración es importante para incrementar el rendimiento.

Al apreciar biomasa total, se observa un incremento de esta variable con los años de liberación, tanto por variedad como por localidad. En torno a esto Mitchell y Sheehy (2000), sugieren que una alternativa para incrementar el PR es mejorando la producción de biomasa, aunado a que el IC se aproxima a un estado fisiológico techo y no puede seguir incrementándose. Al apreciar la biomasa vegetativa ocurre todo lo contrario, se presenta una disminución de esta variable con los años de liberación, observándose el mismo comportamiento en Acarigua. Sin embargo, el progreso de estas variables con los años de mejoramiento no es significativo y el modelo de regresión lineal no explica lo que ocurre con estas variables.

Según datos aportados por este trabajo, el mayor aporte del mejoramiento genético parece haber sido sobre el IC. Peng y col. (2000) realizaron un análisis histórico en el IRRI, donde reportan que los aumentos en rendimiento de las variedades liberadas por el IRRI entre 1965 y 1980 fue el resultado principalmente de mayores IC, mientras que en las variedades liberadas posteriormente a 1980, los cambios en el rendimiento estuvieron asociados con una mayor biomasa total. Sin embargo, a diferencia de las variedades liberadas por el IRRI, en las variedades liberadas en Venezuela, no se detectaron cambios significativos en la biomasa total con el año de liberación; y no se observa que se hayan dividido en dos etapas como las variedades liberadas por el IRRI. Por lo que, al parecer el incremento en el rendimiento de las variedades liberadas en Venezuela podría estar asociado a una combinación entre incrementos en la biomasa total y en el IC.

La biomasa total es el parámetro de crecimiento (o variable independiente) que más contribuye o tiene mayor impacto en el rendimiento, seguido de la TCR (a los 81-109 ddt en Calabozo y a los 88-108 ddt Acarigua) y del IC, según los datos experimentales de este trabajo. Lo cual sugiere que una estrategia para incrementar el rendimiento podría enfocarse en la selección de variedades en base a una mayor producción de biomasa total por planta, como lo sugieren Mitchell y Sheehy (2000). Sin embargo, la estrecha relación entre biomasa total y rendimiento podría ser consecuencia de un artefacto estadístico más que de una relación causal efectiva. Los valores de IC encontrados en este estudio, estuvieron entre 0.36 y 0.53, lo que indica que entre el 36 y el 53% de la biomasa

total por planta está constituida por grano. Por lo tanto, al incluir el grano en el análisis para la biomasa total, se está relacionando el peso seco de grano consigo mismo, de manera que en promedio el 45% de la variable independiente, que en este caso es biomasa total, es la misma variable dependiente (rendimiento), lo que incrementa artificialmente el valor de r^2 de la regresión lineal. Lo cual podría estar ocurriendo de igual manera con la TCR (a los 81-109 ddt en Calabozo y a los 88-108 ddt en Acarigua).

Parámetros Morfológicos:

La tendencia lineal indica que los mejoradores, directa o indirectamente, han seleccionado progresivamente un ideotipo de planta, donde las hojas banderas son cada vez más largas, probablemente aumentando el índice de área foliar tratando de hacer más efectiva la captación de la luz del sol. En relación a esto, Jennings y col. (2002) sostienen que la selección para el rasgo de hojas siempre verdes se debe combinar con hojas banderas grandes y erguidas, lo cual es válido y potencialmente un objetivo de mejoramiento importante para incrementar el rendimiento. Sin embargo, según la data aportada por esta investigación, la variedad Fedearroz 50, la cual posee la característica de hojas siempre verdes, no obtiene los mayores rendimientos, tanto por variedad como por localidad (Fig. 6).

CONCLUSIONES

- El progreso del rendimiento con los años de mejoramiento genético nos indica que el mejoramiento genético ha contribuido con un 50% al aumento en el rendimiento, en comparación con la dinámica histórica del rendimiento en Venezuela; y estas difieren por mejoras en las prácticas de manejo, por criterios de selección (como la resistencia a plagas y enfermedades), entre otras. Además, de esta contribución que ha tenido, el mayor aporte parece haber sido sobre el índice de cosecha en combinación con una mayor biomasa total.
- La variedad con el menor rendimiento es Araure 4 y la de mayor rendimiento es Centauro; siendo Acarigua la localidad con los mayores rendimientos, así como también la mayor TCR, biomasa total y biomasa vegetativa.
- Se estima que el PR de las variedades de arroz en Venezuela se encuentra en 1114,1 y 1120,0 g.m⁻²; el rendimiento promedio nacional del arroz en Venezuela apenas supera los 500 g.m⁻², por tanto, existe una amplia brecha que superar para incrementar la producción de arroz en el país. Se debe combinar mejoras en las prácticas de manejo con mejoramiento genético del cultivo, para poder obtener estrategias que permitan alcanzar el objetivo de incrementar la producción de este rubro en Venezuela.

BIBLIOGRAFÍA

- **Acevedo, M, Torres, E, Moreno, O, Alvarez, R, Torres, O, Castrillo, W, Torrealba, G. y colaboradores.** 2007. Base genética de los cultivares de arroz de riego liberados en Venezuela. *Agron Trop.* 57: 197-2004.
- **Agroservicios Mida Calabozo (AMC).** Sin año. Mida Calabozo: La primera empresa de semillas de la región. Material informativo del Departamento Técnico Mida Calabozo, S.A.
- **Asociación de productores de Semilla Certificada de los Llanos Occidentales (APROSCELLO).** 2001. Variedades de Semillas de Arroz. www.aproscello.org.ve. Consultado el 15 de Noviembre de 2008.
- **Araus, J.L, Slafer, G.A, Reynolds, M, P, Royo, C.** 2002. Plant breeding and drought in C_3 cereals: What should we breed for? *Annals of Botany.* 89: 925-940.
- **Bach, O.** 2008. Agricultura e implicaciones ambientales con énfasis en algunas cuencas hidrográficas principales. Decimotercer informe sobre el Estado de la Nación. pp 1-22. Consultado el 24 de Mayo de 2009.
- **Berrio, L, Sanint, L.R, Correa, F, Tulande, E.** 2002. Respuesta al uso de nitrógeno en variedades de arroz sembradas en Colombia, 1950-1999. *Foro Arroceros Latinoamericano.* 8: 22-23.
- **Cao, X, Zhu, Q, Yang, J, Gu, Y.** 1980. Studies on the percentage of ripened grains of hybrid rice. *Sci. Agric.* 2:44-50.
- **Chandler, R.F.** 1984. Arroz en los trópicos: Guía para el desarrollo de programas nacionales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. p 280.
- **Clavijo, J.** 1989. Análisis de crecimiento en malezas. COMALFI 16: 12-16.

- **Confederación Nacional de Asociaciones de Productores Agropecuarios (FEDEAGRO).** Estadísticas Agrícolas. <http://www.fedeagro.org>. Consultado el 15 de Septiembre de 2007.
- **Dingkuhn, M, Penning de Vries FWT, De Datta S.K, van Laar H.H.** 1991. Concepts for a new plant type for direct seeded flooded tropical rice. In: Direct-seeded flooded rice in the tropics. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. pp 17-38.
- **Evans, L.T.** 1993. Crop evolution, adaptation and yield. Cambridge (UK): Cambridge University Press.
- **Evenson, R.E, Gollin, D.** 2003. Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science*. 300: 758-762.
- **Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego (FLAR).** 2006. Proyecto CFC en la recta final. Foro Arroceros Latinoamericano 12(1):18-22. www.flar.org/noticias.html. Consultado el 02 de Mayo de 2010.
- **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).** 2002. Comisión Internacional del arroz. 20ª reunión. Bangkok, Tailandia.
- **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).** 2007. Depósito de Documentos de la FAO: Perspectivas alimentarias. Análisis de los mercados mundiales. Arroz.
- **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).** 2009. Comunicado de prensa: Hacia un plan de acción mundial para el agua. Oficina de Información de la FAO para España y Andorra. Madrid.
- **Fundación Nacional del Arroz (FUNDARROZ).** 2008. ¿Cómo ser más productivos?. www.fundarroz.org.ve/productividad.php. Consultado el 15 de Noviembre de 2009.

- **Hunt, R.** 1978. Plant growth analysis. Studies in Biology No. 96. The Institute of Biology's. p 67.
- **Instituto Nacional de Estadística (INE).** 2008.
www.ocei.gov.ve/venezuelaenmapas/mapasvenezuela.asp.
Consultado el 15 de Noviembre de 2008.
- **Jennings, P.R.** 1964. Plant type as a rice breeding objective. *Crop Sci.* 4: 13-15.
- **Jennings, P.R, Berrio, L.E, Torres, E, Corredor, E.** 2002. Una estrategia de mejoramiento para incrementar el potencial de rendimiento en arroz. *Foro Arrocero Latinoamericano*. 8: 10-13.
- **Kabaki, N.** 1993. Growth and yield of japonica-indica hybrid rice. *JARQ*. 27:88-94.
- **Khush, G.S.** 1995. Breaking the yield frontier of rice. *GeoJournal*. 35: 329-332.
- **Loss, S.P, Sidique, K.H.M.** 1994. Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments. *Advances in Agronomy*. 52: 229-276.
- **Martínez, C.P, Tohme, J, López, J, Borrero, J, McCouch, S.R, Roca, W, Chatel, M, Guimarães, E.** 1998. Estado actual del mejoramiento del arroz mediante la utilización de especies silvestres de arroz en CIAT. *Agron Mesoamericana*. 9: 10-17.
- **Molina, L.E.** 1998. Notas sobre la situación de la producción primaria de arroz en Venezuela. *Agroalimentaria*. 6: 45-55.
- **Paruelo, J.M, Guerschman, J.P, Verón, S.R.** 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. Sitio Argentino de Producción Animal. *Ciencia Hoy*. 15: 14-23.
Consultado el 24 de Mayo de 2009.
- **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 Sci*. 39: 1552-1559.

- **Peng, S, Laza, R.C, Visperas, A.L, Sanico, K.G, Khush, G.S.** 2000. Grain yield of rice cultivars and Lines Developed in the Philippines since 1966. *Crop Sci.* 40: 307-314.
- **Pulver, E.** 2002. Manejo de cultivo en el FLAR. *Foro Arrocerero Latinoamericano.* 8: 20-21. www.ciat.cgiar.org/biblioteca/pdf/flar/Manejo_de_Cultivo.pdf. Consultado el 22 de Octubre de 2009.
- **Salih, L, A.** 1996. Mejoramiento genético de arroz en Venezuela. p 11-17. En INGER (ed.) INGER América Latina informe 1995. Red Internacional para la Evaluación Genética del Arroz INGER-América Latina. Cali, Colombia. pp.
- **Sheehy, J. E.** 2000. Limits to yield for C3 and C4 rice: an agronomist's view. En: **Sheehy, J.E, Mitchell, P. y Hardy B.** Redesigning rice photosynthesis to increase yield. Elsevier, Amsterdam.
- **Slafer, G.A, Satorre, E.H, Andrade, F.H.** 1994. Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. In: Slafer, G.A. ed. *Genetic improvement of field crops.* New York: Marcel Dekker Inc., 1-68.
- **Song, X, Agata, W, Kawamitsu Y.** 1990. Studies on dry matter and grain production of F1 hybrid rice in China. II. Characteristics of grain production. *Jpn. J. Crop Sci.* 59:29-33.
- **Torrealba, G.T, Acevedo, M.A, Castrillo, W.A, Ramos, A, Urdaneta, L.** 2004. Variedades de arroz en Venezuela. *Agronomía de la producción.* INIA. p 9-10.
- **Torres de la Noval, W.** 1984. Análisis del crecimiento de las plantas. Reseña. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. San José de las Lajas, Cuba. p 38.
- **Virk, P.S, Khush, G.S, Peng, S.** 2004. Breeding to enhance yield potential of rice at IRRI: the ideotype approach. IRRI. pp 5-9.

- **Vivas, L, Clavijo, S, González, H.** 2002. Distribución temporal y espacial en poblaciones de Sogata (*Tagosodes orizicolus* [Muir 1926] Homoptera: Delphacidae) y número óptimo de muestras para su estimación en el cultivo de arroz, en Calabozo, estado Guárico, Venezuela. VE, *Investigación Agrícola* (6).
- **Yamauchi, M.** 1994. Physiological bases of higher yield potential in F1 hybrids. p. 71–80.
- **Yan, Z.D.** 1988. Agronomic management of rice hybrids compared with conventional varieties. p. 217–223.
- **Yoshida, S.** 1981. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.