

## Artículo de revisión

# Adaptación del arroz riego (*Oryza sativa* L.) en el Caribe colombiano

## Adaptation of irrigated rice (*Oryza sativa* L.) in the colombian Caribbean

*Hermes Aramendiz Tatis, Miguel Espitia Camacho, y Carlos Cardona Ayala*

Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, AA354, Montería, Colombia.

Autor para correspondencia: haramendiz@hotmail.com, espitia@sinu.unicordoba.edu.co, ccardonaq@sinu.unicordoba.edu.co

Recibido: 02-08-2010 Aceptado: 18-03-2011

### Resumen

En Colombia, el arroz ocupa el primer lugar en seguridad alimentaria, valor económico y generación de empleo entre los cultivos anuales, siendo el sistema bajo riego más importante. El objetivo fue determinar el progreso, estabilidad y adaptabilidad del rendimiento de arroz bajo riego, en cinco departamentos del caribe colombiano. Se utilizaron datos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, correspondiente a los Departamentos de Córdoba, Bolívar, Magdalena, Cesar y Guajira, durante el periodo 1987-2008. La estimación del progreso del rendimiento se realizó a través del análisis de regresión lineal entre los años (variable explicativa) y el rendimiento de grano (variable explicada). La estabilidad se determinó a través del coeficiente de variación para tres períodos consecutivos de cinco años y el último de siete. La adaptabilidad, se realizó con el coeficiente de regresión lineal (bi). Los resultados destacan que el progreso en el rendimiento de grano en el Caribe colombiano, osciló entre 1.15% y 3.36% por año y 52.2 y 168.1 kg.ha<sup>-1</sup>, especialmente en el Departamento de Bolívar (3.36% por año y 168.1 kg.ha<sup>-1</sup>). La estabilidad, resultó en general alta (CV<15.56%) y se incrementó con los años. Los cinco departamentos, presentaron adaptabilidad general (bi>4.57) para el rendimiento de grano.

**Palabras clave:** Coeficiente de variación, estabilidad, progreso, regresión, rendimiento de grano.

## Abstract

In Colombia, the rice crop under irrigation system ranks first in food security, economic value and employment offer among annual crops, becoming the most important. The objective of this study was to quantify increasing, stability and adaptability of irrigated rice in five departments of the Colombian Caribbean area. Data from the Ministry of Agriculture and Rural Development for the departments of Cordoba, Bolivar, Magdalena, Cesar and Guajira, during the year period 1987 to 2008 were used. The increasing in yield was determined using the linear regression analysis among years (independent variable) and grain yield (dependent variable) in each department. The yield stability was determined by the coefficient of variation across of three consecutive periods of five years and the last seven years. The yield adaptability was estimated using linear regression coefficient ( $b_i$ ). The results indicate that progress in grain yield in the Colombian Caribbean, ranged from 1.15% to 3.36% per year and 52.2 to 168.1 kg.ha<sup>-1</sup>, especially in the department of Bolívar (3.36% per year and 168.1 kg.ha<sup>-1</sup>). The yield stability was generally high (CV<15.56%) and increased with the years. In the five departments, the rice crop showed general adaptability ( $b_i$ >4.57) for grain yield.

**Key-words:** Coefficient of variation, grain yield, progress, regression, stability.

## Introducción

En Colombia, el cultivo de arroz ocupa el primer lugar en términos de valor económico entre los cultivos de ciclo corto. Es el tercer país productor de América Latina y del Caribe después de Brasil y Perú (FAO, 2010) y ocupa el puesto 22 a nivel mundial con una participación de 0.4% (Espinal *et al.*, 2005) y gracias a su oferta ambiental posee tres sistemas de producción: arroz riego, arroz seco mecanizado y arroz seco manual.

En el año 2008 fueron cultivadas en el país 443580 ha con un rendimiento promedio de 6.2 t.ha<sup>-1</sup> y volumen de producción de 2'792232 t (FAO, 2010), posicionando al arroz como el segundo en importancia económica entre los cultivos anuales después del maíz con 600000 ha (Agronet, 2010).

El sistema de arroz riego es el más importante, con un área cultivada de

272170 ha, rendimiento promedio de 6.8 t.ha<sup>-1</sup>, para un volumen de producción de 11'843395 t; que asociados a una generación de empleo directo de 80000 jornales (Agronet, 2010), hacen ésta actividad agrícola relevante en la seguridad alimentaria del país; especialmente en la región Caribe, donde su consumo *per cápita* ubica a la Costa Atlántica como la principal zona de consumo con 2.11 libras por semana, superando en un 31.8% al promedio nacional de 1.60 libras por semana y el producto más apetecido en el gasto de la familia colombiana (Fedearroz, 2002).

Por ser esta especie un cultivo básico en la alimentación y dadas sus expectativas crecientes de consumo, el arroz es cultivado bajo diferentes condiciones agroecológicas y tecnológicas, especialmente en el Caribe colombiano donde la oferta ambiental juega un papel importante en el comportamiento y desarrollo de los cultivares, ya que

registra altas temperaturas mínimas y máximas, alta nubosidad, alta humedad relativa etc. (Fedearroz, 2008) y factores bióticos que influyen en el comportamiento diferencial de las variedades en las zonas productoras (Sripongpangkul *et al.*, 2000) y cierta cantidad de biomasa de cultivares con alto potencial de rendimiento, que no es cosechada por la sensibilidad al estrés (Minhas y Grover, 1999).

La respuesta fenotípica a los cambios ambientales no es igual para todas las variedades y las consecuencias de la variación de los genotipos a través de los años está condicionada por el arreglo genético, manejo agronómico y la interacción de cultivares con el manejo tecnológico (Shahidullah *et al.*, 2009).

La adaptabilidad es definida como la capacidad de un cultivo o planta de responder positivamente a los cambios de las condiciones ambientales; es el resultado de la interacción genotipo – ambiente; y controlada genéticamente por genes mayores y menores, lo que permite aprovechar mejor la oferta ambiental tanto natural como tecnológica (Cruz y Carneiro, 2003; Chloupek y Hrstkova, 2005). El ambiente es mucho más errático y esta relacionado con variables meteorológicas como lluvia, temperatura, tipo de suelo y tecnología de manejo en las plantas (Chloupek y Hrstkova, 2005).

Estudios sobre adaptabilidad y estabilidad fenotípica sirven para caracterizar un grupo de cultivares con respecto a su respuesta a las variaciones ambientales. La estabilidad es definida como la capacidad de los genotipos de mostrar un comportamiento previsible en función de las condiciones ambientales (Cruz y Carneiro, 2003). Desde el punto de vista estadístico de acuerdo a

Lin *et al.* (1986) existen tres conceptos: 1) genotipo estable aquel cuya interacción con el ambiente es pequeña, 2) genotipo estable si su respuesta al ambiente es paralela a la de todos los genotipos sometidos a investigación y 3) genotipo estable si los desvíos de la regresión son pequeños.

La regresión es un método muy usado en estudios de adaptabilidad y estabilidad de cultivares. Los modelos de Finlay y Wilkinson (1963), y Eberhart y Russell (1966), se sustentan en el coeficiente de regresión (b) para comparar la adaptabilidad de diferentes cultivares y especies, siendo aplicado por Chloupek *et al.* (2004) y Chloupek y Hrstkova (2005) entre otros.

La adaptabilidad de los cultivares de arroz a un ambiente, está determinada por su morfología y actividad metabólica, la cual puede variar según el genotipo y el estado de crecimiento del mismo (Shahidullah *et al.*, 2009). Dos tipos de adaptaciones son reconocidas: general y específica. En la adaptación general, las variedades responden incrementando sus rendimiento bajo diversas condiciones climáticas (Dencic *et al.*, 2000) y la específica es la capacidad de la planta de arroz de adaptarse a condiciones especiales favorables o adversas, como déficit de agua, salinidad, sequía, frío, nubosidad, etc. (Shahidullah *et al.*, 2009).

Genes menores para adaptabilidad han sido identificados a través de QTL en trigo y cebada para adaptación general y específica (Kato *et al.*, 2000; Snape *et al.*, 2007) e igualmente en arroz, relacionado con la elongación de las plantas; tolerancia a la inmersión, localizados en los cromosomas 1 y 9 (Sripongpangkul *et al.*, 2000); longitud de raíces, número de raíces y peso seco de raíces en los cromosomas 1, 5 y 8 (Bing-

Song *et al.*, 2006); tolerancia a sales (Sahi *et al.*, 2006); tamaño y número de panículas en el cromosoma 2, aborto de flores en los cromosomas 1, 10 y 11 (Yamagishi *et al.*, 2004).

El conocimiento de la adaptabilidad a determinados ambientes es de gran importancia para conocer el comportamiento agronómico de los cultivares, bien sea para los productores de semilla como los agricultores. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue conocer el nivel de adaptación y progreso en el rendimiento del arroz riego a las áreas productoras de la región Caribe.

## Descripción de la técnica

Datos oficiales del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural a través de la base de datos consignada en Agronet (2010), correspondiente a la producción de arroz bajo riego de los Departamentos de Córdoba, Bolívar, Magdalena, Cesar y La Guajira, del periodo 1987-2008, fueron utilizadas en el estudio (Tabla 1). El Departamento de Sucre no fue considerado en razón a que el cultivo de arroz se realiza bajo los sistemas de arroz secano y arroz secano mecanizado.

**Tabla 1.** Rendimiento de arroz riego (kg.ha<sup>-1</sup>) en cinco Departamentos del Caribe colombiano, 1987-2008.

Año	Bolívar	Córdoba	Cesar	La Guajira	Magdalena
1987	4000	4900	4800	4700	5300
1988	3400	4700	4200	5000	4800
1989	4000	4400	4200	4700	4200
1990	3100	4200	4200	3600	3600
1991	3300	4100	4100	4400	3600
1992	3300	4700	4400	4200	3700
1993	4100	4600	4300	4500	3600
1994	3800	4500	4100	4300	4000
1995	4700	5100	4200	5100	3700
1996	5000	4600	4400	5100	4500
1997	5800	4900	4300	5600	5000
1998	5400	5000	4900	4500	5000
1999	5600	5700	4500	5800	4900
2000	5200	5200	4700	5100	4500
2001	5000	4600	4500	4800	4000
2002	5800	5200	5100	6000	4600
2003	6200	5800	5500	6000	4900
2004	6500	6100	5700	5700	4900
2005	6700	5700	5800	5800	5000
2006	6400	5800	5800	4900	5000
2007	6000	5500	6000	5700	5300
2008	6500	4900	6000	5900	5500

Fuente: Agronet, 2010

La estimación del progreso del rendimiento de arroz en cada departamento, se realizó a través del respectivo análisis de regresión lineal entre los años y el rendimiento de grano en cada departamento. Los años fueron considerados como la variable independiente y el rendimiento de granos la variable dependiente.

$$Y_j = a + b_x$$

Donde:

b= coeficiente de regresión

a= intercepto

x= años

$Y_{ij}$ = rendimiento de cada departamento i en el año j

La evaluación de la estabilidad del rendimiento se determinó a través del coeficiente de variación para tres períodos consecutivos de cinco años y el último de siete años. El coeficiente de variación (CV) se estimó a través de la ecuación clásica:  $CV = S/m$ ; donde S es la desviación estándar y m la media de cada período; parámetro aplicado en cada quinquenio por (Chloupek *et al.*, 2004), en la valoración de 75 años de actividad agrícola en la república de Checoslovaquia.

La adaptabilidad del arroz en cada departamento, se realizó con la aplicación de la regresión lineal, por ser uno de los métodos más usuales en estimar la adaptación de cultivares en diferentes ambientes. Los métodos de Finlay y Wilkinson (1963); Eberhart y Russell (1966); se sustentan en este principio.

Este método fue utilizado por Chloupek *et al.* (2004); Chloupek y Hrstkova (2005) para evaluar la adaptabilidad de cultivares y especies en Estados Unidos y Europa. La capacidad de rendimiento de un año en particular para cada departamento fue expresada por el índice  $i = x_i / \bar{x}$ , donde  $x_i$  es el rendimiento de cada departamento en

un año en particular y  $\bar{x}$  es el rendimiento medio de dicho departamento en los años en consideración. En el análisis de regresión, el rendimiento promedio de cada departamento, representa la variable independiente y el índice  $i$  de cada departamento la variable dependiente. Los análisis fueron realizados con el uso del programa computacional Genes (Cruz, 2004).

### **Análisis asociados a la aplicación de la técnica**

#### **Progreso en el rendimiento de grano**

Los datos para el incremento en el rendimiento de grano para los 21 años de información estadística, están consignados en la Tabla 2. Sobresale el Departamento de Bolívar con un valor de 3.36% por año, seguido de Cesar con 1.84%, cifras estas que resultaron superiores a las reportadas en trigo, cebada y avena por Chloupek *et al.* (2004). Los departamentos con menor aumento fueron La Guajira, Córdoba y Magdalena con 1.44%, 1.23% y 1.15%, respectivamente.

Dado que las variedades mejoradas de arroz que se siembran bajo riego en todo el Caribe colombiano son casi las mismas y en su mayoría obtenidas por FEDEARROZ, el anterior comportamiento de los cultivares es diferente como resultado de la interacción genotipo x ambiente, la cual influye en la expresión de la genética de las variedades, a través de factores bióticos y abióticos, como el clima, suelo, plagas y la tecnología aplicada en el proceso de producción. Éste efecto de interacción puede ser alto como lo destacan Peng *et al.* (2000) y Martínez *et al.* (2006), especialmente cuando las condiciones ambientales no son similares,

lo que impide la selección de cultivares con amplia adaptación en un carácter de herencia compleja como el rendimiento de grano, como lo señalan Benmoussa *et al.* (2006).

Por otro lado, dado que el desarrollo de nuevos cultivares a través del mejoramiento genético, es la base de la agricultura moderna, es de gran importancia en la identificación de líneas promisorias con alta productividad para nichos específicos, reforzar la precisión experimental dada la herencia poligénica del rendimiento, a fin de identificar pequeñas diferencias entre los cultivares evaluados en las diferentes áreas productoras, ya que en el cultivo de arroz el tamaño de las áreas dedicadas a la producción de arroz es variable y enfrentan problemas técnicos -administrativos (Sumith, 2001).

En la Tabla 2, se pueden observar también, diferencias en los incrementos del rendimiento de grano, entre los diferentes

departamentos, se destaca la ganancia de 168.1 kg.ha<sup>-1</sup> en el Departamento de Bolívar, valor que superó en 223% y 90% a los Departamentos del Magdalena y Cesar, lo que puede ser explicado en parte por la influencia de las densidades de población, sobre tres de los cuatro componentes más importantes del rendimiento de grano, número de macollas por unidad de área, número de espiguillas por panícula y porcentaje de granos llenos, más no así con el peso de grano (Kobayashi *et al.*, 2004; Benmoussa *et al.*, 2006), puesto que mayores densidades de población conducen a una mayor competencia de las plantas por los fotosintatos y por ende un menor número de granos por panícula. Así mismo, el nitrógeno juega un papel importante ya que en la fase de llenado del grano, por el movimiento de carbohidratos y nitrógeno al tallo y granos dos semanas antes de su inicio (Yoshida *et al.*, 2006).

**Tabla 2.** Rendimiento promedio (1987 – 2008), incremento anual del rendimiento de grano, porcentaje de incremento por año y adaptabilidad del arroz en la región Caribe.

Departamento	Rendimiento (t.ha <sup>-1</sup> )	Incremento del rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )	Incremento (%/año)	Adaptabilidad (bi)
Bolívar	4.99	168.1	3.36	4.99
Cesar	4.80	88.5	1.84	4.67
Córdoba	5.00	61.8	1.23	5.00
La Guajira	5.06	73.1	1.44	5.01
Magdalena	4.52	52.2	1.15	4.57

Estudios adelantados por Sheehy *et al.* (2006) de 1992 a 2003 sobre el efecto de la radiación solar y temperatura en el rendimiento de arroz, destacan que cambios en la temperatura mínima bajo condiciones tropicales, tiene incidencia en el rendimiento de grano de arroz y sugieren que el rendimiento en los sistemas de producción bajo riego, es afectado por las lluvias dada la correlación negativa entre este factor y la radiación solar. Por lo tanto, las diferencias en precipitación, temperatura mínima y radiación solar en el caribe húmedo con respecto al caribe seco, contribuye a explicar las diferencias en el rendimiento de arroz. Jagadish *et al.* (2007), señalan que las altas temperaturas y el estrés por sequía, originan reducción de la productividad del arroz, por inducción de esterilidad en las espiquillas, ya que el llenado de grano está en función de la capacidad de cada genotipo en producir y translocar los asimilados para el llenado de grano, en tal condición (Jongdee *et al.*, 2006).

La interacción genotipo x ambiente es influenciada por la tecnología de manejo como lo anotan Chloupek *et al.* (2004), en razón al mejoramiento varietal y diferentes tecnologías de manejo de los cultivos en la zonas productoras. El aumento en el rendimiento de granos a través del tiempo esta sustentado en las ganancias genéticas por la sustitución de cultivares obsoletos por modernos, en los cuales se han dado modificaciones relevantes en caracteres de importancia agronómica, como días a floración, días a cosecha, altura de planta, elevada capacidad de macollamiento, hojas erectas de color verde, senescencia tardía, tolerancia al vuelco, poca esterilidad, incremento en el índice de cosecha, aumento en la biomasa total, resistencia a

plagas y enfermedades en los programas de mejoramiento de Estados Unidos, Brasil, Filipinas y Colombia, como lo sostienen Tabien *et al.* (2008); Souza *et al.* (2007); Osorio (2007); Martínez *et al.* (2006); Peng *et al.* (2000).

En el continente asiático el rendimiento de arroz se ha duplicado en los últimos 30 años como resultado de la aplicación de tecnologías mucho más eficientes en el uso de fertilizantes, especialmente nitrógeno, manejo de la agresividad de las arvenses y la susceptibilidad a factores bióticos; en tanto que en el Caribe colombiano han aumentado de 4.7 t.ha<sup>-1</sup> a 5.7 t.ha<sup>-1</sup> en 2008 (Agronet, 2010; Peng *et al.*, 2000) y expansión de la frontera agrícola (Peng *et al.*, 2000). El poco aumento de este rendimiento obedece de acuerdo a Montalbán *et al.* (1998) a la base genética estrecha, en la cual 14 cultivares de los parentales utilizados en los programas de mejoramiento de América Latina y el Caribe, son responsables del 70% de los genes aportados a las nuevas variedades; en tanto que en Brasil, 11 cultivares aportan un 81% de los genes, permitiendo progresos genéticos anuales de 0.3% en arroz bajo irrigación en Brasil (Rangel *et al.*, 2000), 0.3% y 2.09% en arroces de tierras altas en Brasil (Souza *et al.*, 2007) y de 1% en Filipinas (Peng *et al.*, 2000), a causa de un conjunto génico limitado y se argumenta que el mejoramiento genético en arroz debe de orientarse a la mayor producción de biomasa con moderada a alto índice de cosecha.

### **Estabilidad del rendimiento de grano**

El coeficiente de variación (CV) como estimador de la estabilidad del rendimiento de grano de arroz (Tabla 3), destaca al

Departamento del Magdalena durante el quinquenio 1987-1991 con valor de 15.56% y Bolívar en el quinquenio 1992-1996 con 14.62%, los cuales se clasifican como medio por oscilar entre 12.20% y 27.90%, en tanto que los reportados en los otros períodos y departamentos se consideran bajos, por ser menores a 12.20%, de acuerdo a lo encontrado por Costa *et al.* (2002), en un estudio sobre clasificación de coeficientes de variación en arroz y ello indica, que el arroz en el Caribe colombiano, registra estabilidad de su producción a través del tiempo.

El Departamento del Cesar, presentó valores de CV inferiores a 5.88% durante los cuatro períodos de estudios, indicando estabilidad a través del tiempo de los cultivos de arroz demandados por los productores para dichas condiciones ambientales, ello concuerda con lo reportados por Chloupek *et al.* (2004) en avena, cebada, trigo y centeno, cuyas especies registraron coeficientes de variación estable entre 9.7% y 12.0%, durante 65 años de estudio.

El CV en términos generales mostró un decrecimiento con el tiempo, especialmente en los Departamentos de Magdalena, La Guajira, Bolívar y Cesar, ya que de acuerdo al análisis de regresión, estos departamentos presentaron pendientes

de -3.06; -1.30; -2.68 y -0.04%; en tanto, que el Departamento de Córdoba, acusó un incremento de 0.42%. De igual manera, la correlación entre el primer y el último período para los cinco departamentos, acusó valores negativos, para Magdalena ( $r = -0.91$ ), para La Guajira ( $r = -0.90$ ), para Bolívar ( $r = -0.73$ ), para Cesar ( $r = -0.03$ ) y Córdoba ( $r = 0.43$ ); acusando ausencia de significancia (Tabla 4), lo que posiblemente obedece al tamaño de la muestra y/o influencia de la tecnología por el mejoramiento de los rendimientos como lo resaltan Chloupek *et al.* (2004).

Reducción de coeficientes de variación en cebada, trigo, centeno, patata y heno fueron encontradas por Chloupek *et al.* (2004) y Chloupek y Hrstkova (2005), quienes destacan que ello obedece a pequeñas variaciones en las prácticas agronómicas y reducida interacción genotipo x ambiente. La tendencia a incrementar el coeficiente de variación en el Departamento de Córdoba, puede estar relacionada con variaciones climatológicas a través del tiempo, como precipitación, temperatura y horas luz como lo indican Dencic *et al.* (2000); Farshadfar y Sutka (2003); y Yaghotipoor y Farshadfar (2007), tipo de suelo y disponibilidad de agua Fukai *et al.* (1999) que conducen a una fuerte interacción genotipo x ambiente.

**Tabla 3.** Coeficientes de variación (%) para rendimiento de arroz bajo riego, durante el período 1987-2008 en los Departamentos del Caribe colombiano.

Departamento	1987-1991	1992-1996	1997-2001	2002-2008
Bolívar	10.45	14.62	5.23	4.64
Cesar	5.88	2.60	4.45	5.13
Córdoba	6.36	4.98	8.04	6.76
La Guajira	10.69	8.35	8.86	6.17
Magdalena	15.56	8.42	8.26	5.40

**Tabla 4.** Coeficientes de regresión (b) entre los coeficientes de variación y el tiempo de estudio y correlación (r), entre el primer y último quinquenio.

Departamento	Coeficientes de regresión (b)	Coeficientes de correlación (r)	p>F
Bolívar	-2.68	- 0.73	0.2653
Córdoba	0.42	0.43	0.5636
Cesar	-0.04	-0.03	0.9632
La Guajira	-1.30	-0.90	0.0941
Magdalena	-3.06	-0.91	0.0861

### Adaptabilidad del rendimiento de grano

El nivel de adaptabilidad para los diferentes departamentos se presenta en la Tabla 2, se observa que todos los ambientes acusaron adaptación general para el sistema de arroz riego, por registrar valores mayores a 1.0, bajo las condiciones agroecológicas de las áreas productoras de la región Caribe, destacándose La Guajira, Córdoba y Bolívar con valores de adaptabilidad de 5.01, 5.00 y 4.99, los cuales son muy superiores a los encontrados (<2.00) por Chloupek *et al.* (2004) en trigo, centeno, cebada, avena y maíz en Checoslovaquia y Chloupek y Hrstkova (2005), para cebada, maíz, avena, centeno, sorgo, trigo y arroz en la Unión Europea y los Estados Unidos. Por lo tanto, dichos ambientes se califican excelentes para la producción de arroz y los cultivares en estos ambientes mejoraran conforme mejore la oferta ambiental, como lo sostienen Coutiño-Estrada y Vidal-Martínez (2003). A este respecto, Lanceras *et al.* (2004) en arroz y Du *et al.* (2009) en soya, sostienen la existencia de ligamiento genético entre el rendimiento y la adaptabilidad.

Chloupek *et al.* (2004), reportaron que los valores altos de adaptabilidad, están asociados con el grado de domesticación

alcanzado con la especie, lo cual es muy importante como pre-requisito para seguir logrando ganancias en los rendimientos. Chloupek y Hrstkova (2005), en un estudio comparativo con el trigo cultivado en la Unión Europea y la República de Checoslovaquia, encontraron respuesta similar para condiciones favorables y no favorables, resaltando que ello obedece a la adaptabilidad específica a dichos ambientes. Para el caso particular del arroz en la región Caribe, la dinámica del programa de mejoramiento, ha permitido cada día el desarrollo de nuevos cultivares con alto potencial de rendimiento asociado a tecnologías de manejo, que permiten la expresión de su potencial de rendimiento, como lo resaltan Chloupek *et al.* (2004).

### Conclusiones

En los años analizados (1987-2008), se detectó un progreso importante en el rendimiento de grano de arroz en el Caribe colombiano, especialmente en el Departamento de Bolívar (3.36% por año y 168.1 kg.ha<sup>-1</sup>).

En el Caribe colombiano, la estabilidad del rendimiento de grano de arroz bajo riego, en general es alta y se ha incrementado con los años.

Los cinco departamentos estudiados, presentaron adaptabilidad general para el rendimiento de grano de arroz bajo riego.

### Referencias

- Agronet, 2010. Área y producción agrícola y pecuaria. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co> [Fecha revisión: Febrero 26 de 2010]
- Benmoussa, M.; Achouch, A.; Snoussi, S. A.; and Zhu, J. 2006. Conditional QTL analysis of genetic main effects and genotype x environment interaction effects for yield in rice (*Oriza sativa* L.). *Journal of Food, Agriculture & Environment* 4 (1): 157-162.
- Bing-Song, Z.; Ling, Y.; Chuan-Zao, M.; Zhang Wei-Ping, Z.; and Ping, W. 2006. QTLs and Candidate Genes for Rice Root Growth Under Flooding and Upland Conditions. *Acta Genetica Sinica* 33 (2): 141-151.
- Chloupek, O.; and Hrstkova, P. 2005. Adaptation of crops to environment. *Theoretical and Applied Genetic* 111 (7): 1316-1321.
- Chloupek, O.; Hrstkova, P.; and Schweigert, P. 2004. Yield and its stability, crop diversity, adaptability and response to climate change, weather and fertilization over 75 years in the Czech Republic in comparison to some European countries. *Field Crops Research* 85 (2-3): 167-190.
- Costa, N. H. de Araújo D.; Seraphin, J. C.; Zimmermann, F. J. P. 2002. Novo método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas. *Pesq. Agropec. Bras.* 37 (3): 243-249.
- Coutiño-Estrada, B.; and Vidal-Martínez, V. 2003. Grain yield stability of corn hybrids using best linear unbiased predictors. *Agrociencia* 37 (6): 605-616.
- Cruz, C. D.; y Carneiro, P. C. S. 2003. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, UFV. V. 2, 585 p.
- Cruz, C. D. 2004. Programa GENES: aplicativo computacional em genética e estatística (software). Viçosa: Imprensa Universitária, 442 p.
- Dencic, S.; Kastori, R.; Kobiljski, B.; and Duggan, B. 2000. Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica* 113 (1): 43-52.
- Du, W.; Wang, M.; Fu, S.; and Yu, D. 2009. Mapping QTLs for seed yield and drought susceptibility index in soybean (*Glycine max* L.) across different environments. *Journal of Genetics and Genomics* 36 (12): 721-731.
- Eberhart, S. A.; and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6 (1): 36-40.
- Espinal, C. F.; Martínez, H. J.; y Acevedo, X. 2005. La cadena del arroz en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Disponible en: <http://www.agrocadenas.gov.co> [Fecha revisión: Abril 2 de 2010]
- FAO, 2010. Estadísticas mundiales sobre cultivos. Disponible en: <http://www.faostat.org> [Fecha revisión: Febrero 26 de 2010]
- Farshadfar, E.; and Sutka, J. 2003. Locating QTLs controlling adaptation in wheat using AMMI model. *Cereal Res Común.* 31 (3-4): 249-256.
- Fedearroz, 2002. Mejora el consumo de arroz en Colombia. *Revista Arroz* 50 (439): 42.
- Fedearroz, 2008. Mejoramiento genético del

- cultivo de arroz en el caribe húmedo. *Revista Arroz* 56 (474): 41-48.
- Finlay, K. W.; and Wilkinson, G. N. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research* 14: 742-754.
- Fukai, S.; Pantuwan, G.; Jongdee, C.; and Cooper, M. 1999. Screening for drought resistance in rainfed lowland rice. *Field Crops Research* 64 (1): 61-74.
- Jagadish, S. V. K.; Craufurd, P. Q.; and Wheeler, T. R. 2007. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany* 58 (7): 1627-1635.
- Jongdee, B.; Pantuwan, G.; Fukai, S.; and Fischer, K. 2006. Improving drought tolerance in rainfed lowland rice: An example from Thailand. *Agricultural Water Management* 80: 225-240.
- Kato, K.; Miura, H.; and Sawada, S. 2000. Mapping QTLs controlling grain yield and its components on chromosome 5 A of wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 101 (7): 1114-1121.
- Kobayashi, S.; Fukuta, Y.; Yagi, T.; Sato, T.; Osaka, M.; and Khush, G. S. 2004. Identification and characterization of quantitative trait loci affecting spikelet number per panicle in rice (*Oryza sativa* L.). *Field Crops Research* 89 (2-3): 253-262.
- Lanceras, J. C.; Pantuwan, G.; Jongdee, B.; and Toojinda, T. 2004. Quantitative trait loci associated with drought tolerance at reproductive stage in rice. *Plant Physiology* 135 (1): 384-399.
- Lin, C. S.; Binns, M. R.; and Lefkovich, L. P. 1986. Stability analysis: where do we stand? *Crop Science* 26 (5): 894-900.
- Martínez, C. P.; Borrero, J.; Carabalí, S. J.; Duque, M. C.; Correa, F.; Delgado, D.; y Tohme, J. 2006. Incorporando genes valiosos de parientes silvestres al arroz cultivado. I. Curso de capacitación en mejoramiento genético en arroz. Sanotí Spiritu-Cuba, 30 octubre- 10 noviembre. Disponible en: <http://agr.unne.edu.ar/fao/Cuba> [Fecha revisión: Agosto 4 de 2010]
- Minhas, D.; and Grover, A. 1999. Transcript levels of genes encoding various glycolytic and fermentation enzymes change in response to abiotic stress. *Plant Science* 146 (1): 41-51.
- Montalván, R.; Destro, D.; Silva, E.F. da.; and Montaña, J.C. 1998. Genetic base of brazilian upland rice cultivars. *J. Genet. & Breed.* 52 (3): 203-209.
- Osorio, J. F. 2007. Evolución del crecimiento, rendimiento de grano, partición de fotosintatos en 14 variedades de arroz representantes de diversos ciclos de mejoramiento en Colombia. Tesis de Maestría en Fitomejoramiento. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 135 p.
- Peng, S.; Laza, R. C.; Visperas, R. M.; Sanico, A. L.; Cassman, K. G.; and Khush, G. S. 2000. Grain yield of rice cultivars and lines developed in the Philippines since 1966. *Crops Science* 40 (1): 307-314.
- Rangel, N.P.H.; Pereira, J.A.; Morais, O.P. de.; Guimares, E.P.; e Yokokura, T. 2000. Ganhos na produtividade de grãos pelo melhoramento genético do arroz irrigado no meio-norte do Brasil. *Pesq. Agropec. Bras.* 35 (8): 1595-1604.
- Sahi, Ch.; Singh, A.; Kumar, K.; Blumwald, E.; and Grove, A. 2006. Salt stress response in rice: genetics, molecular biology, and comparative genomics. *Funct. Integr. Genomics* 6 (4): 263-284.
- Shahidullah, S. M.; Hanafi, M. M.; Ashrafuzzaman, M.; Salam, M. A.; and Khair, A. 2009. Flowering response

- and crop duration of aromatic rices in diverse environments. *C. R. Biologies* 332 (10): 909-916.
- Sheehy, J. E.; Mitchell, P. L.; and Ferrer, A. B. 2006. Decline in rice grain yield with temperature: models and correlations can give different estimates. *Field Crops Research* 98 (1): 151-156.
- Snape, J. W.; Foulkes, M. J.; Simmonds, J.; Leverington, M.; Fish, L. J.; Wang, Y.; and Ciavarrella, M. 2007. Dissecting gene x environmental effects on wheat yield via QTL and physiological analysis. *Euphytica* 154 (3): 401-408.
- Souza, de M. A.; Morais, de O. P.; Celi, R. E.; Cargnin, A.; e Badaró, A. J. 2007. Progresso genético do melhoramento de arroz de terras altas no período de 1950 a 2001. *Pesq. Agropec. Bras.* 42(3): 371-376.
- Sripongpangkul, K.; Posa, G. B. T.; Senadhira, D. W.; Brar, D.; Huang, N.; Khush, G. S.; and Li, Z. K. 2000. Genes/QTLs affecting flood tolerance in rice. *Theoretical and Applied Genetics* 101 (7): 1074-1081.
- Sumith, D. Z. de A. 2001. Statistical analysis of on -farm yield trials for testing adaptability of rice. *Euphytica* 121 (3): 215-222.
- Tabien, R.E.; Samonte, S.O.; and McClung, A.M. 2008. Forty-eight years of rice improvement in Texas since the release of cultivar bluebonnet in 1944. *Crops Science* 48 (6): 2097-2016.
- Yaghotipoor, A.; and Farshadfar, E. 2007. Non-parametric estimation and component analysis of phenotypic stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Pak. J. Biol. Sci.* 10 (16): 2646-2652.
- Yamagishi, J.; Miyamoto, N.; Hirotsu, N.; Laza, R. C.; and Remoto, K. 2004. QTLs for branching, floret formation, and pre-flowering floret abortion of rice panicle in a temperate japonica x tropical japonica cross. *Theoretical and Applied Genetics* 109 (8): 1555-1561.
- Yoshida, H.; Horie, T.; and Shiraiwa, T. 2006. A model explaining genotypic and environmental variation of rice spikelet number per unit area measured by cross-locational experiments in Asia. *Field Crops Research* 97 (2-3): 337-343.