



Láminas de riego y su influencia en el rendimiento de arroz (*Oriza sativa* L.) la variedad Fedearroz-67 en el Valle Cálido del Magdalena

Omar Montenegro-Ramos¹

omontenegro@agrosavia.co.

<https://orcid.org/0000-0001-8905-5283>

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).
Centro de Investigación Nataima
Chicoral- Ibagué, Tolima Colombia.

Sair Jaramillo-Bonilla

sjaramillob@agrosavia.co.

<https://orcid.org/0000-0003-1297-7444>

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).
Centro de Investigación Nataima vía Espinal,
Chicoral, Tolima Colombia.

Carlos Abaunza-González

cabaunza@agrosavia.co.

<https://orcid.org/0000-0003-4496-1455>

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).
Centro de Investigación Nataima vía Espinal,
Chicoral, Tolima Colombia.

¹ Autor principal

Correspondencia: omontenegro@agrosavia.co.

RESUMEN

El perfil cultural, distribución de poros por tamaño, textura y análisis de caracterización química. Los sistemas modales producto del uso y manejo del suelo identificados para la zona fueron: sistema bosque secundario, sistema pradera mejorada, sistema arroz barbacho, sistema arroz con pastoreo de soca, sistema de lotes abandonados, sistema de arroz en monocultivo por 10 años y sistema de arroz en monocultivo por 20 años. Con las variables evaluadas, se encontró una mayor degradación de suelos en los sistemas de arroz en monocultivo por 10 y 20 años y lotes abandonados. Al evaluar los resultados de la caracterización física se encontró que los valores más contrastantes y que sirvieron para diferenciar claramente los sistemas mencionados, determinando diferentes niveles de degradación física fueron: infiltración, conductividad hidráulica, densidad aparente, porosidad total, distribución de poros por tamaño y resistencia a la penetración. El cultivo del arroz, tradicionalmente, permanece la mayor parte de su ciclo biológico con inundación y manifiesta una elevada adaptabilidad a dichas condiciones, por lo tanto, para su producción se utiliza una gran cantidad de agua de riego. La investigación se realizó con el objetivo identificar volúmenes de agua óptimos a partir de cuatro volúmenes de riego (8.000, 16.000, 24.000 y 32.000 m³/ha/ciclo) y analizar el comportamiento de la variedad Fedearroz-67. La aplicación de 16.000 m³/ha/ciclo presentó un rendimiento de 8.743 kg/ha, siendo estadísticamente igual a los rendimientos obtenidos con la aplicación de volúmenes superiores de 24.000 y 32.000 m³/ha, pero superando al tratamiento de 8.000 m³/ha /ciclo en el 40%. Los mayores porcentajes de vaneamiento, se presentaron con el nivel más bajo de aplicación de riego. El macollamiento y el número de panículas alcanzaron los mayores valores con la aplicación de 32.000 m³/ha/ciclo. El tratamiento con un volumen de aplicación de 16.000 m³/ha/ciclo permite tener los mayores márgenes de rentabilidad y un ahorro de agua de más del 50% con respecto a los volúmenes comúnmente utilizados por los agricultores de la zona el cual es de 30.000 a 35.000 m³/ha/ciclo. Así, el agua ahorrada pudiera incrementar el área bajo riego en un 25 % para el cultivo del arroz, o en 6.300 ha en cultivos de secano manejado con mojes.

Palabras clave: descarga; diseño experimental; irrigación; producción; unidad experimental; variables alométricas

Volumes of Irrigation and Their Influence on Fedearroz-67 Rice (*Oryza sativa* L.) Variety Yield in the Magdalena Warm Valley

ABSTRACT

Traditionally, rice crops remain flooded most of their biological cycle and are highly adaptable to this condition; therefore, a large amount of irrigation water is used for production. This research aims to identify optimal water volumes out of four (8,000, 16,000, 24,000, and 32,000 m³/ha/cycle) and discuss the Fedearroz-67 variety's behavior. The 16,000 m³/ha/cycle application yielded 8,743 kg/ha, being statistically equal to the yields obtained with higher volumes (24,000 and 32,000 m³/ha) but exceeding the 8,000 m³/ha/cycle treatment by 40 %. The highest percentages of grain less ears of rice occurred at the lowest level of irrigation. Tillering and the number of panicles reached the highest values with 32,000 m³/ha/cycle. Treatment with a volume of 16,000 m³/ha/cycle allows for the highest profit margins and more than 50 % water efficiency compared to the volumes commonly used by farmers in the area, which are 30,000-35,000 m³/ha/cycle. Thus, saved water could increase the area under irrigation by 25 % for rice crops or 6,300 ha in dry cultivation managed with sprinkler irrigation.

Keywords: *discharge; experimental design; irrigation, production; experimental unit; allometric variables*

Artículo recibido 30 junio 2023

Aceptado para publicación: 30 julio 202

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oriza sativa*), es uno de los alimentos de mayor importancia en la canasta familiar del mundo. Es así, como la producción mundial de arroz en grano se estima para la temporada 2022 en 516 millones de toneladas de arroz lo que conlleva un aumento del 0,6% si se compara con la temporada 2021 que fue de 513 millones de toneladas (FAO, 2022). Para el año 2021 en el departamento del Tolima, el área, producción y rendimiento de arroz riego fue de 96.029 ha, 708.029 tn y 7,37 tn/ha respectivamente (Agronet, 2022) que corresponde al 11,0% del total del país, DANE-Fedearroz, FNA. En los últimos años los arroceros del departamento demuestran la estabilidad en el número de hectáreas sembradas, sin embargo, un descenso en la tasa de rendimiento de los cultivos comuna disminución de 0.39 tn/ha desde el 2019 al 2021 (Agronet, 2022) como consecuencia de factores de variabilidad climática y de incremento del arriendo de las tierras. De acuerdo con Cardona (2015), antes del año 2015, el rendimiento se situaba en 6.47 tn/ha en promedio más de una tonelada/ha, y se ha incrementado a 7.37 tn/ha. producción, en ese sentido, afirma que en Colombia producir una tonelada del grano puede costar US\$500, mientras que en otros países no supera los US\$300. Entre las principales razones, están los altos costos de arrendamiento de la tierra y seguidamente los insumos. Además, factores como la variabilidad y cambio climático, reducción de caudales de las fuentes que abastecen el agua a los distritos de riego y el cambio en las propiedades físicas y químicas de los suelos, hacen urgente el desarrollo de tecnologías adecuadas que contribuyan a la reducción en el uso del agua riego (Pineda, 2007 & Castilla et al., 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El trabajo se realizó en el Valle cálido del alto Magdalena en el departamento del Tolima, municipio de El Espinal, en el centro de investigación Nataima de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Agrosavia. El área corresponde a la zona de influencia del distrito de riego del río Coello (USOCOELLO) y de acuerdo con Holdridge (1971), la zona de vida corresponde a bosque seco tropical (bs-T), caracterizado por una precipitación promedio anual de 1.275 mm, con una distribución bimodal, siendo julio y agosto los meses más secos, mayo y octubre los más lluviosos; una temperatura media

anual de 28,2 °C, casi constante durante todo el año; una humedad relativa del aire anual de 69,4% y una evaporación promedio de 1.266 mm anuales.

El sitio del ensayo se ubica en las coordenadas geográficas: 4°11'15,65"N y 74°58'00,67"O, en un área plana, con pendiente inferior al 3%, en un suelo NO salino, sin presencia de aluminio intercambiable, y con una saturación de cationes en el complejo del cambio (6,06 cmol_c/kg) que sigue el orden Ca>Mg>K>Na. La unidad cartográfica PWKa (IGAC, 2004) corresponde a un suelo Typic Ustropepts, de sedimentos aluviales que cubren depósitos de toba. El suelo es de textura FAr con 34% de arcilla y una densidad aparente de 1,54 g/cm³ en el horizonte Ap (0-20 cm). Las demás características del suelo se relacionan en la tabla 1.

Tabla 1. Características químicas del perfil de suelo en el sitio experimental.

Horizonte Ap (0-20 cm)														
pH	M O	P	S	K	Ca	Mg	Na	CIC E	CE	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	(%)	mg.kg ⁻¹	cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹					dS.m ⁻¹	mg.kg ⁻¹					
6,7	1,33	38,0	9,9	0,24	4,64	1,15	0,21	6,06		28,34	1,27	2,27	<1,0	0,7

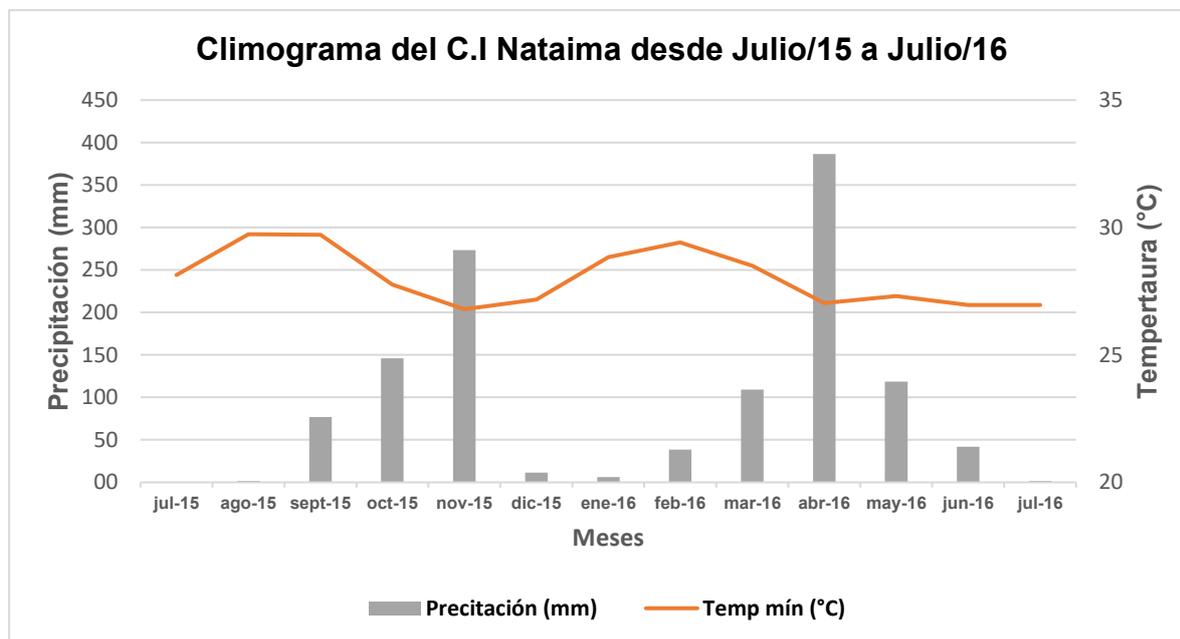
Métodos analíticos: pH (1:5 w/v), MO: (Walkey y Black), P (Bray II), CE: pasta de saturación y conductímetro (NTC-5596), cationes intercambiables (acetato de amonio 1N y pH 7); micronutrientes (Olsen modificado), S: fosfato monocálcico (NTC-5402), B: fosfato monocálcico (NTC-5404).

Fuente: Este estudio

Análisis Agroclimático.

En la figura 1, se evidencia la distribución irregular de la precipitación y un promedio de temperatura mensual de 28,2 °C en la zona centro productora de arroz del Espinal durante el año agrícola 2015-2016. En esta región se presentó dos temporadas de lluvias correspondientes a los meses de octubre-noviembre de 2015, marzo y abril del 2016, y dos periodos secos julio-agosto del 2015 y diciembre-febrero del 2016. Durante el desarrollo del experimento se registró una precipitación de 330 mm contabilizada entre la fecha de siembra 27-10-2015 y la de cosecha el 22-02-2016.

Figura 1. Precipitación y temperatura durante el año agrícola 2015-2016, en el municipio del Espinal, Tolima en el periodo del experimento.



Fuente: Estación climática Fedearroz Chicoral Tolima.

Para la instalación del ensayo, se utilizó semillas de la variedad FEDEARROZ- 67 las cuales se colocaron en agua por 24 horas para pre-germinación. La siembra se realizó en forma manual al voleo con una densidad equivalente a 150 kg/ha

Tratamientos de riego y diseño experimental

Teniendo en cuenta los requerimientos de agua del cultivo y la información referenciada por Caicedo, Montenegro, Correa y Lozano (2003), se establecieron cuatro tratamientos en un rango de volúmenes de riego entre 8.000 m³/ha/ciclo y 32.000 m³/ha/ciclo, los cuales se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones para un total de 12 unidades experimentales. Se realizó la nivelación del lote y se establecieron las unidades experimentales con un área de 100m² (10m x10m) cada una y un caballón doble de separación, para un total de 1.600 m² netos y 3.600m² con las áreas de separación entre tratamientos y entre bloques. El cálculo de los volúmenes de descarga de los sifones en cada uno de los tratamientos se realizó mediante la ecuación:

$$Q = CA\sqrt{2gh}$$

Donde:

Q= Caudal o gasto en m³/s

C= Coeficiente de gasto (adimensional)

A= Área de la sección transversal del sifón en m²

g= Gravedad (m/s²)

h= Altura de carga del sifón (m).

La calibración en campo se realizó midiendo los volúmenes de descarga en un tiempo de 20 segundos con sifones perfectamente nivelados y con una altura de carga de 5 cm de lámina de agua por encima del nivel superior del tubo, haciendo 4 repeticiones de cada medida por unidad experimental y se estableció una frecuencia de riego de 2 veces por semana para un total de 30 aplicaciones durante el ciclo del cultivo

Como fuentes de fertilización se utilizó N (urea) y K (cloruro de potasio) las cuales se aplicaron al suelo uniformemente, fraccionadas en tres aplicaciones del 25%, 30% y 40% iniciando 15 días después de siembra. El P (fosforo) y los micronutrientes Mn, Zn y B se suministraron antes de la siembra, mezclándolos y aplicándolos al voleo en dosis iguales a todos los tratamientos con 46 Kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 27.2 kg.ha⁻¹ de S, 3.18 kg.ha⁻¹ de Mn, 2,4 kg.ha⁻¹ de Zn y 1 kg.ha⁻¹ de B; las cuales fueron calculadas teniendo en cuenta el resultado del análisis de suelo y los estimativos conceptuales para la interpretación de análisis de suelo en fase extractable, llevando los niveles a los rangos medios de suficiencia establecidos en el manual de fertilización en diversos cultivos (ICA, 1992).

Con el fin de apoyar la discusión sobre las características del suelo y la disponibilidad de nutrientes se efectuó una calicata para la descripción del perfil del suelo mediante la metodología USDA; además se determinó la densidad aparente (Da), la Infiltración, y la resistencia a la penetración para el primero y segundo horizonte.

Variables alométricas evaluadas

Altura de planta: En cada unidad experimental fueron tomadas 30 plantas al azar, se midieron desde la base de la planta (cuello), hasta la base de inserción de la panícula. Esto se realizó en plantas próximas a cosecha.

Macollas y panículas por metro cuadrado: Se eligieron 3 sitios al azar en cada parcela experimental mediante el lanzamiento de un marco de un metro cuadrado, se cortaron todas las plantas a ras de suelo y se contaron las macollas presentes

Porcentaje de Vaneamiento: Del grano cosechado se tomaron 500 gramos y se pasaron por eliminador de impurezas luego por el ventilador para separar el grano lleno y grano vano por último se pesó y se calculó el porcentaje de Vaneamiento.

Índice de semilla: Del grano cosechado de cada unidad experimental se sacaron y contaron 1.000 semillas y luego se pesaron en una balanza electrónica de alta precisión marca Lexus Electronic Scales Xafir 3

Materia seca: Las plantas se pesaron en fresco y luego se deshidrataron al ambiente y fueron colocadas en estufa de secado (Memmert DIN-IP20 0-220 °C, 110 V) a 70 °C durante 72 horas luego se pesaron y con estos datos se calculó el porcentaje de materia seca de cada unidad experimental

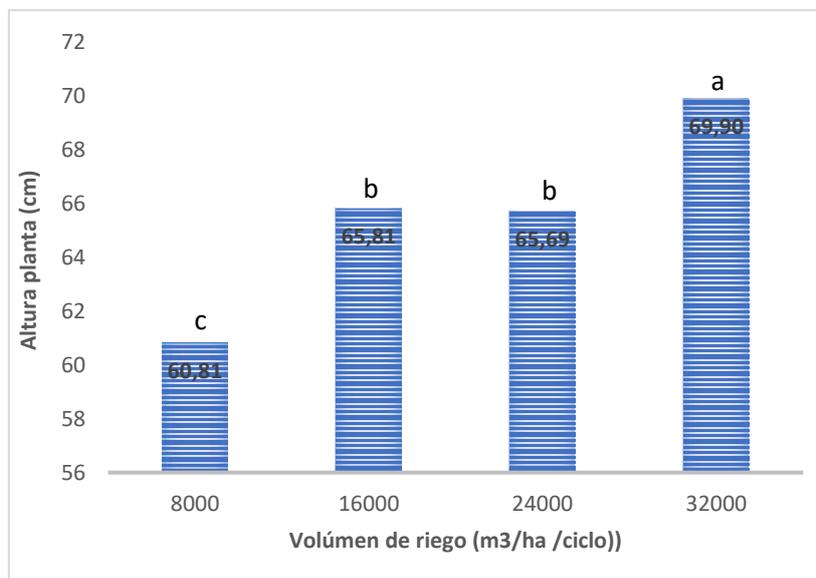
Rendimiento: De los 3 sitios tomados al azar en cada parcela experimental mediante el lanzamiento de un marco de un metro cuadrado, se cosecharon las panículas para luego separarlas del grano, se tomó la humedad del grano y con dicha información se calculó el rendimiento.

Análisis de datos: Mediante el paquete estadístico InfoStat 2008, se realizó un análisis de varianza (ANAVA) para los 4 tratamientos de volúmenes de riego, el efecto de los tratamientos se evaluó a través de pruebas de comparación múltiple de Duncan y se realizó la determinación de correlaciones entre las diferentes variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de planta: Este componente del desarrollo de las plantas de arroz como se aprecia en la figura 2, presentó diferencias estadísticas altamente significativas, alcanzando el mayor promedio de altura (69,9 cm) las parcela que recibieron 32000 m³/ha/ciclo; en tanto que las parcelas a las cuales se les aplicó un total de 8000 m³/ha/ciclo presentaron un menor desarrollo, con una altura promedio de 60,8 cm, esto probablemente se debió a que las plantas con el menor volumen de riego alcanzaron a ser afectadas por niveles de estrés hídrico en la fase de establecimiento, como se reporta en el manual de manejo del cultivo de arroz (Grillo, 1985). La aplicación de volúmenes de 16.000 m³/ha/ciclo y 24.000 m³/ha/ciclo presentaron promedios muy similares de altura 65,8 cm y 65,7cm siendo ligeramente menores a los reportados por el ICA en el registro de las características de esta variedad (ICA resolución 005225 de 2009).

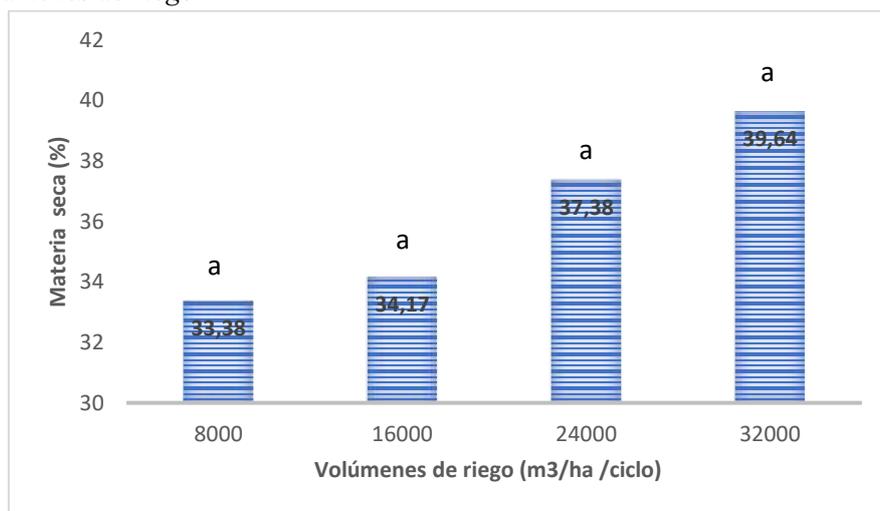
Figura 2. *Altura de planta de arroz variedad Fedearroz- 67 con la aplicación de diferentes volúmenes de riego.*



Fuente: Este estudio

Materia seca: La acumulación relativa de materia seca en la parte aérea de las plantas presentó una tendencia a incrementarse con el aumento de los volúmenes de riego, pasando de 33,88% con 8000 m3/ha/ciclo a 39,64% con 32000 m3/ha/ciclo sin embargo no presentó diferencias estadísticas (figura 3). Esto concuerda con lo reportado por Maqueira, Miranda y Torres (2009), quienes afirman que la disponibilidad de agua aumenta la capacidad de acumulación de materia seca y el rendimiento de grano, lo cual es posible detectar en plantas de temprana edad (máximo macollamiento); además reportan que el tamaño del grano se reduce conforme se reduce la disponibilidad agua.

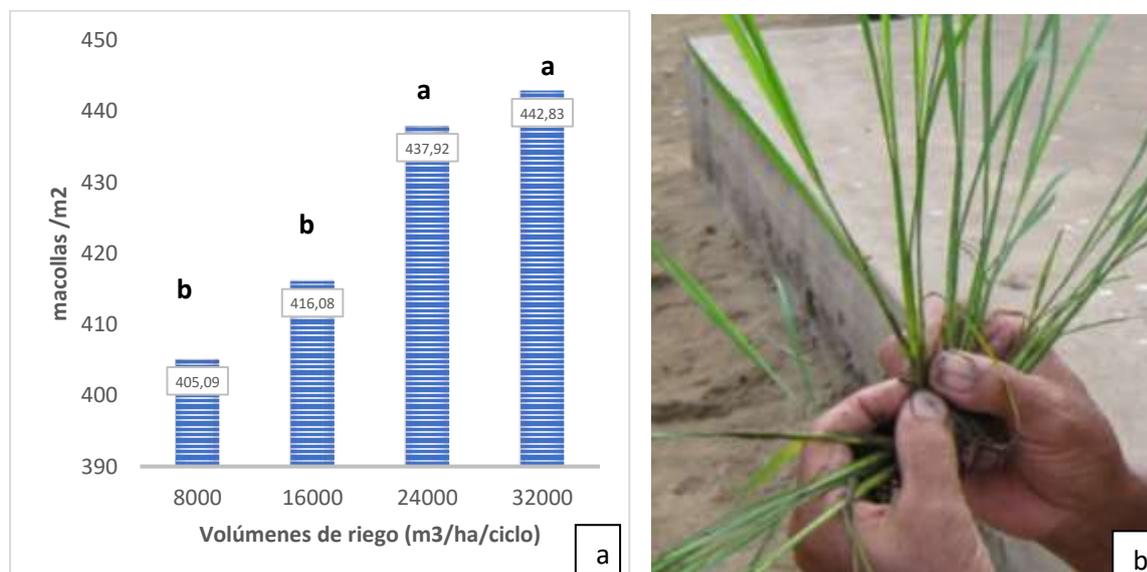
Figura 3. Porcentaje de materia seca de plantas de arroz variedad Fedearroz- 67 con la aplicación de diferentes volúmenes de riego



Fuente: Este estudio

Número de macollas por metro cuadrado: El número de macollas por metro cuadrado presentó incrementos estadísticamente significativos a medida que se aumentaron los volúmenes de riego (figura 4), pasando de 405 a 443 macollas/m² lo cual representó un incremento aproximado del 10%. Este parámetro es un componente muy importante del rendimiento de la planta de arroz, a partir del cual se puede estimar una relación de productividad ya que la cantidad de macollas/m² presenta la mayor variabilidad por efecto de los factores medioambientales y de manejo agronómico y generalmente es la causa principal que limita el rendimiento del cultivo (Quintero, 2009)

Figura 4. Macollas por metro cuadrado en arroz variedad Fedearroz- 67 con la aplicación de diferentes volúmenes de riego. a) Relación entre macolla y volumen de riego. b) Desarrollo de macollas

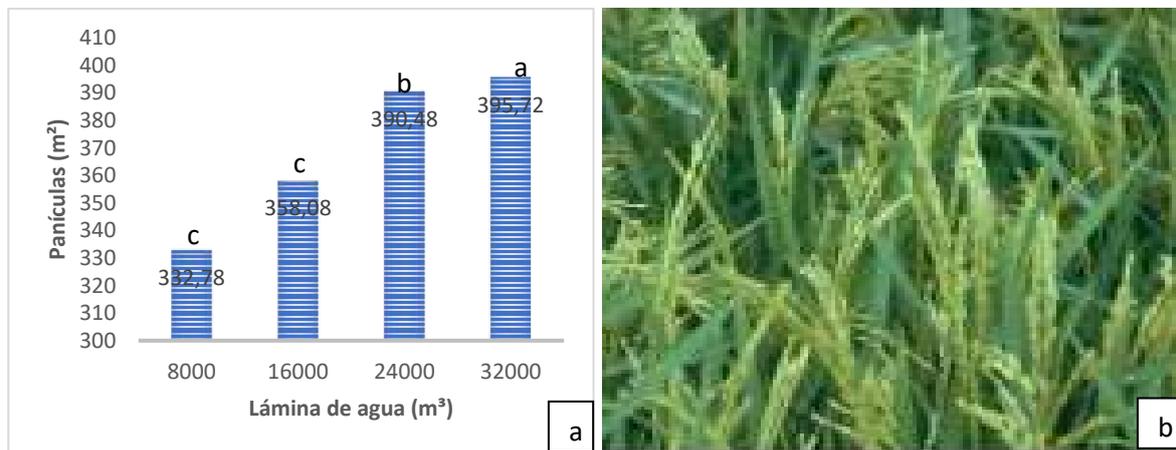


Fuente: Este estudio

Número de panículas por metro cuadrado: El número de panículas por metro cuadrado presentó diferencias estadísticamente significativas a medida que se aumentaron los volúmenes de riego, pasando de 332,8 con 8000 m³/ha/ciclo a 395,7 panículas /m² con la aplicación de volúmenes de 32000m³/ha/ciclo lo cual representó un incremento aproximado del 16%. Debido a una mayor cantidad de macollas fértiles, que contribuyeron significativamente en las componentes del rendimiento (figura 5a) y su desarrollo (figura 5b).

Figura 5.

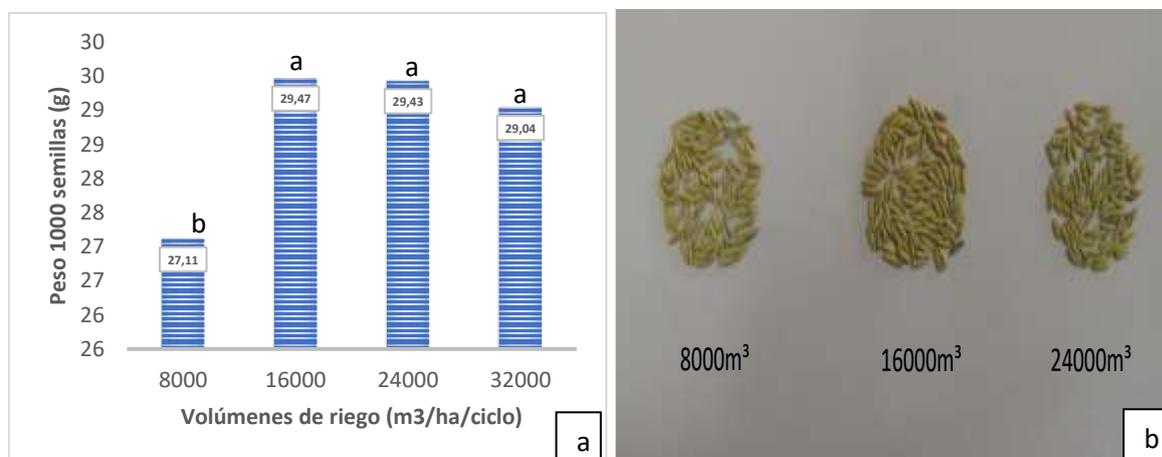
Paniculas por metro cuadrado de arroz variedad Fedearroz- 67 con la aplicación de diferentes volúmenes de riego. a) Relación entre láminas de agua y el desarrollo de las panículas. b) Imagen desarrollo de panículas



Fuente: Este estudio

Índice de semilla: El peso de 1.000 granos al 14% de humedad con la aplicación de un volumen de riego de 16.000 m³/ha/ciclo (figura 6a), alcanzó 29,47 g, siendo estadísticamente iguales con los tratamientos de riego de 24000 m³/ha/ciclo y 32000 m³/ha/ciclo, los cuales fueron significativamente superiores al promedio de peso de 1.000 granos con la aplicación de 8000 m³/ha/ciclo el cual solo fue de 27,11 g. En mejoramiento genético se seleccionan materiales cuyo índice de semilla sea igual o superior a 30 g (figura 6b). Otros estudios realizados en el cultivo del arroz destacan que la disminución en algunos de los componentes del rendimiento puede ser compensados, en parte, con pequeños incrementos en los valores de otros (Aguilar, 2001), en la medida que sea mayor el peso de 1.000 granos en una variedad, menor será la cantidad de granos llenos por panícula (Morejón & Díaz, 2013).

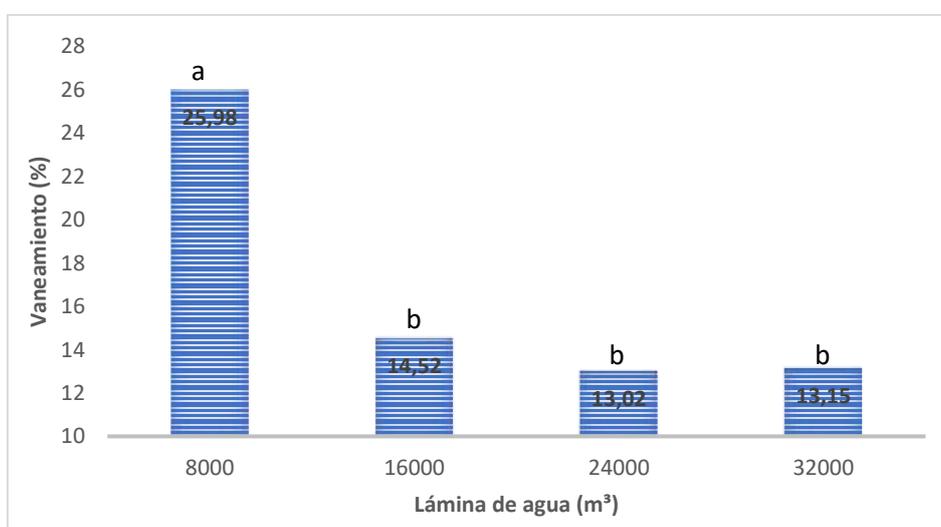
Figura 6. Índice de semilla para la variedad de arroz Fedearroz- 67 con la aplicación de diferentes volúmenes de riego. a) Relación peso 100 granos de semilla con el volumen de riego. b) formación de granos respecto al volumen de agua aplicado.



Fuente: Este estudio

Porcentaje de vaneamiento: El arroz presentó en forma natural un porcentaje de vaneamiento entre el 5% y 15%, sin embargo, el síndrome de vaneamiento en el arroz cobra importancia cuando este representa más del 15 % de granos vacíos en la espiga (Jiménez., 2008). En este experimento la aplicación de un volumen de riego de 8000 m³/ha/ciclo presentó un alto porcentaje de vaneamiento alcanzando el 25,98% y presentando diferencias estadísticas significativas con los demás volúmenes de riego aplicados 16.000, 24.000 y 32.000 m³/ha/ciclo, los cuales no presentaron diferencias estadísticas entre sí, con promedios que oscilaron entre el 13% y 15% (figura 7).

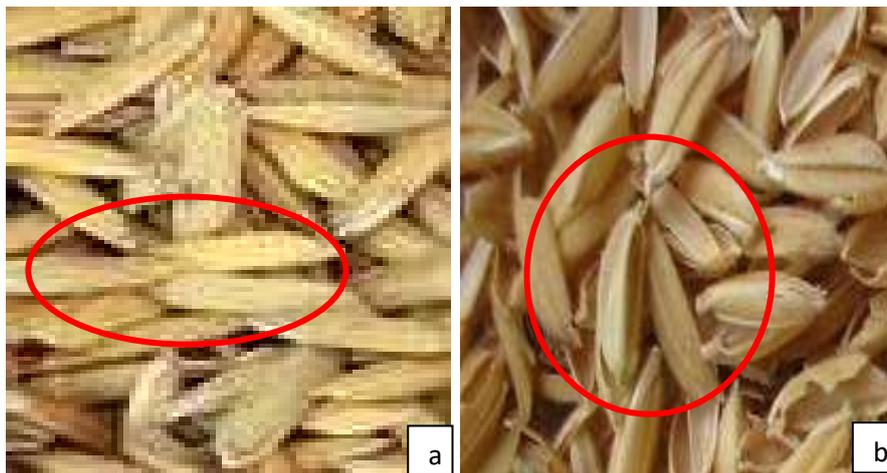
Figura 7. Porcentaje de vaneamiento para la variedad de arroz Fedearroz- 67 con la aplicación de diferentes volúmenes de riego.



Fuente: Este estudio

En este ensayo se detectó la presencia de la bacteria *Burkholderia glumae*, registrándose una mayor severidad de infestación en las parcelas con el menor volumen de riego (8000 m³ /ha /ciclo), lo cual indujo el mayor porcentaje de vaneamiento alcanzando el 25,7 % (figura 8a). Sin embargo, este porcentaje es bajo en relación con algunos lotes de la zona los cuales han presentado porcentajes de vaneamiento que han generado pérdidas que superan el 50% en rendimiento (Castilla, 2002). Lo cual indica que el nivel de daño de la enfermedad (severidad) está determinado por una compleja interrelación entre clima, variedad, manejo del cultivo (riego) y cantidad de inóculo presente en la zona, entre otros; que hace que se aumente el vaneamiento de la panícula afectando los rendimientos (figura 8b).

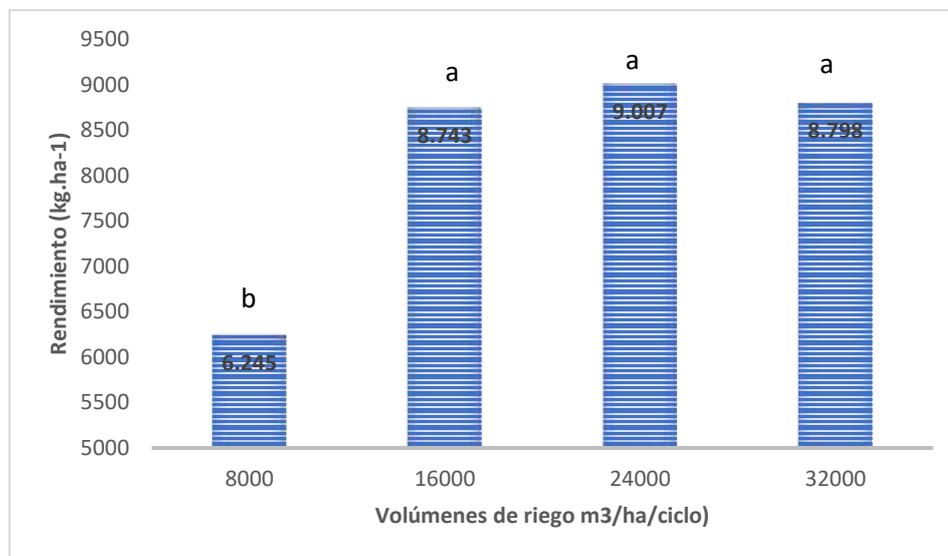
Figura 8. Vaneamiento para la variedad de arroz Fedearroz- 67. a) Grano lleno b) Grano vano



Fuente: Este estudio

Rendimiento (kg/ha⁻¹): La producción de arroz paddy de campo con un contenido de humedad del 18% presentó los más bajos rendimientos con la aplicación de 8.000 m³/ha/ciclo alcanzando solo 6.250 kg. ha⁻¹, presentando diferencias estadísticamente con los demás tratamientos de riego de 16.000, 24.000 y 32.000 m³/ha/ciclo, los cuales fueron significativamente superiores con promedios de 8.743, 9.007 y 8.798 kg. ha⁻¹ respectivamente. (figura 9). Estos resultados demuestran que la utilización de un volumen de riego de 16.000 m³. ha⁻¹.ciclo podemos obtener una cosecha cuyo rendimiento pueden ser el 3% menor al máximo rendimiento obtenido (9.007kg/ha).

Figura 9. Producción de grano de arroz paddy para la variedad Fedearroz- 67 con la aplicación de diferentes volúmenes de riego



Fuente: Este estudio

Correlación entre variables: Al realizar el grado de dependencia de las variables evaluadas se observa que existe un alto grado de correlación entre macollas/m² y panículas/m² (0,92), aspecto que es reportado por Blanco et al. (1992) como también Castilla (2002), quienes afirman que a pesar de que no todas las macollas son viables para la emisión de panículas, sí existe una correspondencia que se observa en las características genéticas de los materiales pero que es fuertemente influenciada por el ambiente y el manejo agronómico del cultivo. Así mismo, se observó correlación entre el vaneamiento-rendimiento (-0,77), evidenciando que a medida que el vaneamiento se incrementa se ven afectados considerablemente los rendimientos (tabla 2).

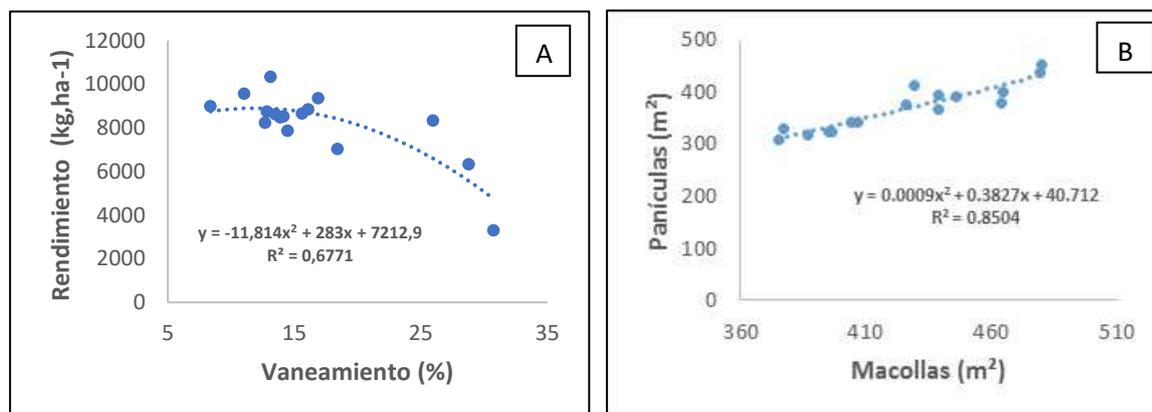
Tabla 2. Análisis de correlación entre las variables evaluadas en la variedad Fedearroz 67 con la aplicación de diferentes volúmenes de riego

	Altura Planta (cm)	Macoll as /m ²	Panícul as /m ²	Índice de semilla	Vaneamien to (%)	Rendimiento (kg/ha)	Materia seca (%)
Altura Planta (cm)	1						
Macollas/m ²	0,30015918	1					
Panículas/ m ²	0,35986937	0,9219 1362	1				
Índice de semilla	0,35905312	- 0,4544 6192	- 0,3171 5991	1			
Vaneamien to (%)	-0,78443892	- 0,2533 3672	- 0,4257 1284	- 0,4099245 4	1		
Ren/to (kg/ha)	0,66071902	0,3461 4121	0,4243 6485	0,3465902 4	- 0,77747754 2	1	
Materia seca (%)	0,21698312	- 0,1186 2872	- 0,0036 683	0,2609113 0	- 0,33682136 7	0,35562724	1

Fuente: Este estudio

En la figura 9, se presenta el comportamiento de las variables correlacionadas con sus respectivas ecuaciones regresión para la predicción. Evidenciando una tendencia lineal directa entre el número de macollas y el número de panículas (figura 9b), en tanto que los rendimientos muestran una tendencia polinomial de tipo cuadrática con relación inversa, ya que a medida que el porcentaje de vaneamiento se incrementa, se disminuyen el rendimiento (figura 9a).

Figura 9 Regresión para el rendimiento y vaneamiento, macollas y panículas para la variedad Fedearroz- 67 con la aplicación de diferentes volúmenes de riego. a) Rendimiento vs vaneamiento. b) Panículas vs macollas por m²



Fuente: Este estudio

Análisis de costos de las alternativas evaluadas:

Para realizar el análisis de costos se tomó como información básica la recolectada de fuentes primarias en los talleres en el mes de noviembre de 2015 y según rendimientos obtenidos en el experimento según cantidad de agua utilizada, se observa en general para todos los casos que los costos directos representan el porcentaje mayor de costos sobre el total sobre los costos indirectos en el proceso productivo respectivo. Dentro de los costos directos se analiza que los costos de fertilización como subtotal antes de riego y cosecha para todos los casos se llevan el mayor porcentaje de estos con un 46,51% sobre el subtotal de los costos directos, seguido por los costos de siembra (16,8%) y costos de control de malezas (16,6%).

Costos de producción para pequeño productor (1-20 ha) del cultivo de arroz en la región de Espinal, centro del Tolima				
COSTOS DIRECTOS				
Rubro	Unidad	Cantidad	Vr Unitario (\$)	Vr Total (\$)
Preparación del terreno				
Labranza Primaria (Rastra)	Pase	2	70.000,00	140.000,00
Labranza Secundaria (pulida)	Pase	1	55.000,00	55.000,00
Nivelación o emparejado (riel)	Pase	1	55.000,00	55.000,00
Reificación de entrada del agua (horas)	Hora	1	50.000,00	50.000,00
Caballones	Labor/ha	1	65.000,00	65.000,00
Zanjado	Labor/ha	1	10.000,00	10.000,00
Canales de riego y drenaje (Mano de obra)	Jornal	1,5	30.000,00	45.000,00

				Subtotal	420.000,0
Siembra					
Siembra (Sembradora)	Siembra/ha	1	50.000,00	50.000,00	
Equipador	Jornal	0,25	30.000,00	7.500,00	
Semilla	Kg	180	3.300,00	594.000,0	
Tratamiento semilla Cruizer	ml	180	366,00	65.880,0	
Tratamiento semilla Trichoderma	ml	500	32,00	16.000,0	
Mano de obra tratamiento de semilla	Labor/Kg	180	24,00	4.320,00	
Subtotal				737.700,0	
Control de malezas					
1er Quema Round up brío	Litros	2,5	20.000,00	50.000,00	
1er Quema Cipermetrina	ml	400	15,00	6.000,00	
1er Quema Amina	ml	500	10,40	5.200,00	
2da Quema Round up brio	Litros	2,5	20.000,00	50.000,00	
2da Quema Cipermetrina	ml	400	15,00	6.000,00	
2da Quema Amina	ml	500	10,40	5.200,00	
Mano de obra dos quemas	labor/ha	2	20.000,00	40.000,00	
Sello (pre-emergente) Bolero	Litros	4	21.000,00	84.000,00	
Sello (pre-emergente) Clomazone	Litros	1,2	25.000,00	30.000,00	
Sello (pre-emergente) Pendimetalina	Litros	3	25.000,00	75.000,00	
Sello (pre-emergente) Sulfonil	Litros	1	55.000,00	55.000,00	
Mano de obra Sello	labor/ha	1	20.000,00	20.000,00	
Post emergente Nomine	ml	150	480,00	72.000,00	
Post emergente Buthaclor	Litros	2,5	20.800,00	52.000,00	
Post emergente Propanil	Litros	1	50.000,00	50.000,0	
Post emergente Amina	ml	500	10,40	5.200,00	
Post emergente Pendimetalina	Litros	4	25.000,00	100.000,0	
Mano de obra post emergente	labor/ha	1	20.000,00	20.000,00	
Subtotal				725.600,0	

Control de plagas y enfermedades				
Cipermetrina (se aplica con un control de malezas)	Litros	1	20.000,00	20.000,00
40 días (engeo)	Litros	0,25	172.600,00	43.150,00
40 días (nativo)	Litros	1	178.600,00	178.600,0
40 días (rally)	gr	400	21,70	8.680,00
65 días (engeo)	Litros	0,25	172.600,00	43.150,00
65 días (rally)	gr	400	21,70	8.680,00
1er Espiga 1 (Rally)	gr	400	21,70	8.680,00
1er Espiga (Cobrethane)	Litros	1,2	21.700,00	26.040,00
1er Espiga (Kasugamicina)	Litros	1,2	35.000,00	42.000,00

Mano de obra	labor/ha	2	20.000,00	40.000,00
Una aplicación aérea	Vuelo/ha	1	35.000,00	35.000,00
Subtotal				453.980,0
Fertilización				
Pre-siembra (Nitro-extend 04 o microessencial 04)	Bultos	4	137.300,0	549.200,0
1 ^{er} Abonada (Fase 3 o Triple 18)	Bultos	2	104.300,0	208.600,0
1 ^{er} Abonada (Urea)	Bultos	2	83.750,00	167.500,0
2 ^{da} Abonada (Amidas + de Sulfato de Potasio) (Korn-kali +Amidas)	Bultos	4	99.775,00	399.100,0
2 ^{da} Abonada (Agrimins)	Bultos	1	112.850,0	112.850,0
3 ^{er} Abonada (Amidas + Triple 18) o (Korn-kali + amidas)	Bultos	4	99.775,00	399.100,0
4ta Abonada (Korn-kali + Triple 18)	Bultos	2	98.000,00	196.000,0
Subtotal				2.032.350,0

Fuente: Corpoica hoy Agrosavia 2017.

Costos para 8000 metros cúbicos

Riego				
Regador (100*\$1500)	Bulto*Precio	100	1.500,00	150.000,00
Tarifa volumétrica	hectárea	1	197.268,00	197.268,00
Subtotal				347.268,00
Sacada del lote \$33 por kilo	Labor/ha	6245.3	33,00	206.094,90
Subtotal				206.094,90
TOTAL, COSTOS DIRECTOS				4.922.992,90
COSTOS INDIRECTOS				
Administración	Labor/ha	1	40.000,00	40.000,00
Financiamiento del 50% de los costos directos al 1,5% mensual				221.534.68
Imprevistos 5% de los costos directos				246.149.6
Asistencia técnica	Labor/ha	1	30.000,00	30.000,00
Celaduría	Labor/ha	1	16.000,00	16.000,00
Arrendamiento	hectárea	1	1.400.000,00	1.400.000,00
TOTAL, COSTOS INDIRECTOS				1.953.684.2
COSTOS TOTALES (COSTOS DIRECTOS+COSTOS INDIRECTOS)				6.876.677.1

Fuente: Corpoica hoy Agrosavia 2017.

Para el primer caso, donde se utilizan un total de 8000 metros cúbicos de agua por ciclo productivo se tiene un rendimiento total de 6245 kilogramos por hectárea, equivalentes aproximadamente a 100 bultos de arroz paddy verde. Para este ciclo productivo la tarifa volumétrica tiene un costo de \$197.268 sumadas la tarifa fija y la tarifa volumétrica por semestre. Este análisis complementario de costos que

incluye los costos de riego, de cosecha y costos indirectos se sumados a los anteriores costos parciales comunes para todos los demás es de \$ 6.876.677.

Costos para 16000 metros cúbicos

Riego				
Regador (140*\$1.500)	Bulto*Precio	140	1.500,00	210.000,00
Tarifa volumétrica	hectárea	1	321.828,00	321.828,00
Subtotal				531.828,00
Sacada del lote \$33 por kilo	Labor/ha	8.743,4	33,00	288.532,2
Subtotal				288.532,2
Total, costos directos				5.189.990,2
COSTOS INDIRECTOS				
Administración	Labor/ha	1	40.000,00	40.000,00
Financiamiento del 50% de los costos directos al 1,5% mensual				233.549,55
Imprevistos 5% de los costos directos				259.499,50
Asistencia técnica	Labor/ha	1	30.000,00	30.000,00
Celaduría	Labor/ha	1	16.000,00	16.000,00
Arrendamiento	hectárea	1	1.400.000,00	1.400.000,00
Costos indirectos				1.979.049,05
COSTOS TOTALES (COSTOS DIRECTOS+COSTOS INDIRECTOS)				7.169.039,25

Fuente: Corpoica hoy Agrosavia 2017.

Al realizar el análisis con la utilización de 16000 metros cúbicos de agua por ciclo podemos establecer que según el experimento este tuvo una producción de 8743.4 kilogramos de arroz por hectárea equivalentes a 140 bultos de arroz paddy verde. De la misma manera y complementando con la anterior estructura de costos común para todas las demás podemos establecer un costo por tarifa fija más volumétrica de agua de \$ 321.828, lo que incrementa los costos directos y de la misma manera lo hace la financiación de estos y de los costos indirectos, para que finalmente se obtengan unos costos totales de \$7.169.039.

Costos para 24000 metros cúbicos

Riego				
Regador (110*\$1500)	Bulto* Precio	144	1.500,00	216.000,00
Tarifa volumétrica	hectárea	1	446.388,00	446.388,00
Subtotal				662.388,00
Sacada del lote \$33 por kilo	Labor/ha	9.007	33,00	297.231,00
Subtotal				297.231,00
TOTAL, COSTOS DIRECTOS				5.329.249,00
COSTOS INDIRECTOS				
Administración	Labor/ha	1	\$ 40.000,00	40.000,00
Financiamiento 50% de los costos directos 1,5% mensual				239.816,20
Imprevistos 5% de los costos directos				266.462,45
Asistencia técnica	Labor/ha	1	\$ 30.000,00	30.000,00
Celaduría	Labor/ha	1	\$ 16.000,00	16.000,00
Arrendamiento	hectárea	1	\$1.400.000,0	1.400.000,00
COSTOS INDIRECTOS				1.992.278,65
COSTOS TOTALES (COSTOS DIRECTOS+COSTOS INDIRECTOS)				7.321.527,65

Fuente: Corpoica hoy Agrosavia 2017.

Por parte de los resultados obtenidos según el experimento utilizando un total de 24.000 metros cúbicos de agua en el ciclo productivo los resultados arrojaron un total de 9.007 kilogramos de arroz por hectárea equivalente a 144 bultos de arroz paddy verde. Así como parte del complemento de los costos directos la tarifa de agua sumada la respectiva tarifa fija más la tarifa volumétrica tiene un costo total de \$446.388, lo que a su vez hace incrementar el costo de cosecha en los respectivos costos directos y por parte de los costos indirectos los costos de financiación e imprevistos respectivamente, que en conclusión representa costos totales por valor de \$7.321.527.

Costos para 32.000 metros cúbicos

Riego				
Regador (110*\$1500)	Bulto*Precio	141	1.500,00	211.500,00
Tarifa volumétrica	hectárea	1	570.948,00	570.948,00
Subtotal				782.448,00
Sacada del lote \$33 por kilo	Labor/ha	8.798.1	33,00	290.337,30
Subtotal				290.337,30
TOTAL COSTOS DIRECTOS				5.442.415.3
COSTOS INDIRECTOS				
Administración	Labor/ha	1	40.000,00	40.000,00
Financiamiento del 50% de los costos directos al 1,5% mensual				244.908,68
Imprevistos 5% de costos directos				272.120,76
Asistencia técnica	Labor/ha	1	30.000,00	30.000,00
Celaduría	Labor/ha	1	16.000,00	16.000,00
Arrendamiento	hectárea	1	1.400.000,00	1.400.000,00
Costos indirectos				2.003.029.44
COSTOS TOTALES (COSTOS DIRECTOS+COSTOS INDIRECTOS)				7.445.444.74

Fuente: Corpoica hoy Agrosavia 2017.

De la misma manera se realizó el experimento utilizando un total de 32000 metros cúbicos de agua en el ciclo productivo, lo que arrojó resultados de producción de 8.798,1 kilogramos de arroz por hectárea lo que representa aproximadamente 141 kilogramos de arroz paddy verde. Como complemento a la anterior estructura de costos general en este caso el costo de agua como suma de tarifa volumétrica más tarifa fija para 32000 metros cúbicos es de \$570.948 que hace incrementar los costos directos y por ende los costos indirectos en aspectos de financiación e imprevistos, así y de esta forma se presenta un total de \$ 7.445.444 como costos totales para este caso.

Rendimiento, Ingreso y beneficio por sistema productivo. Año 2018

	8000 m ³	16000 m ³	24000 m ³	32000 m ³
Costo Riego	\$197.268	\$321.828	\$446.388	\$570.948
Proporción del riego sobre los costos totales	2,87%	4,49%	6,10%	7,67%
Costos Totales	\$6.876.677,10	\$7.169.039,25	\$7.321.527,65	\$7.445.444,74
Producción (Kg)	6245,3	8743,4	9007	8798,1
Rendimiento (Ton/Ha)	6,22	8,74	9	8,79
Precios Año 2015	\$1.208.000	\$1.208.000	\$1.208.000	\$1.208.000
Producción en pesos	\$7.513.760	\$10.557.920	\$10.872.000	\$10.618.320
Utilidad	\$637.083	\$3.388.881	\$3.550.472	\$3.172.875
Relación Beneficio-Costo	1,092	1,472	1,484	1,426

Fuente: Corpoica hoy Agrosavia 2017.

Tomando los resultados del experimento según volumen de agua utilizada en el ciclo productivo se observa una relación directa entre la cantidad de agua usada y la cantidad producida en kilogramos de arroz hasta en tercer rubro, es decir hasta los 24000 m³ de agua, donde alcanza su máxima producción con 9007 kilogramos por hectárea que representa unos \$10.872.000 de producción a precios promedio a noviembre de 2015 de \$1.208.000 por tonelada. Para este caso preciso se destaca unos costos totales de \$7.321.527,65 de los cuales por riego son \$446.388 que representan un 6.1% sobre los costos totales. Así y de esta manera se establece que la utilidad en el proceso productivo para este tercer caso es de \$3.550.472 que representa una relación beneficio-costos de 1,48, es decir que por cada peso invertido en el proyecto se obtendrán 1,48 pesos como ingreso en el mismo.

Mientras que para el último caso en el cual se utiliza la mayor cantidad de agua, de 32.000 m³, se obtuvieron resultados de producción de 8.798,1 kilogramos por hectárea que representa unos \$10.618.320 de producción a precios de noviembre de 2015 que son de \$1.208.000 por tonelada. Mientras que los respectivos costos para este último caso suman un total de \$7.445.444 de los cuales los costos por concepto de riego son de \$570.948 que representan un 7,67% sobre los costos totales. Así, podemos establecer que la utilidad es de \$3.172.875, donde la relación Beneficio-Costo es de 1,42, es

decir que por cada peso invertido en un proyecto enmarcado en este tipo de sistema productivo se obtiene un ingreso de 1.42 pesos.

Realizando el análisis general de los resultados del experimento podemos establecer que los máximos rendimientos se dan cuando se utilizan 24000 m³ de agua, donde igualmente se alcanzan los más altos niveles de producción en pesos y relación beneficio-costo, esto explicado principalmente por la mayor producción en toneladas por hectárea y los costos de riego principalmente. Esto nos lleva a concluir que no existe una relación directa entre cantidad de agua utilizada en el ciclo productivo y rendimiento, ya que la producción presenta un punto máximo en los 24000 m³ donde se ubica la mayor producción en pesos y utilidad. Así y al comparar estos dos casos (24000 m³ y 32000 m³) se evidencia que para el último caso (32000 m³) donde se utiliza la mayor cantidad de agua la diferencia adicional que se debe pagar por tarifa fija y volumétrica es de \$124.560 lo que no necesariamente se traduce en mayor rendimiento puesto que estos disminuyen en 208.9 kilos, que si tomamos los datos de utilidad en pesos representa una pérdida de \$377.597 con respecto al modelo que utiliza menos cantidad de agua (24000 m³). Sin embargo la relación beneficio costo de la producción entre el uso de 16000 m³/ha /ciclo y los obtenidos con la aplicación de 24.000m³ /ha /ciclo no son de relevancia significativa ya que solo representan el 1,2% por lo tanto si analizamos el potencial de uso en una mayor cobertura del área de riego en arroz se podría ampliar en un 25% o su aplicación en 6300 ha de la zona en otros sistemas productivos con cultivos de secano con un promedio de aplicación de 3 mojes por lo cual no se justificaría el uso de volúmenes superiores a 16.000 m³/ha/ciclo para la producción de arroz en la región.

CONCLUSIONES

La variedad de arroz Fedearroz-67 presento rendimientos superiores a 8.700 kg/ha con un consumo volumétrico de riego de 16.000 m³/ha distribuidos en 30 riegos durante el ciclo del cultivo, lo cual representó un ahorro del 50% de los volúmenes de agua usados con el tratamiento más alto (32.000 m³/ha).

El análisis estadístico evidencia que con cuando se utiliza la mayor cantidad de agua (32.000 m³/ha/ciclo) se disminuye el rendimiento y el análisis económico demuestra una pérdida del 5,1%.

La relación beneficio costo de la producción entre el uso de 16.000 m³/ha /ciclo y los obtenidos con la aplicación de 24.000m³/ha /ciclo representan el 1,2% lo cual no justifica la aplicación de volúmenes mayores a 16.000 m³/ha /ciclo.

Se recomienda el uso de volúmenes de 16.000 m³/ha /ciclo con lo cual se podría ampliar la cobertura del área irrigable en los distritos de riego o hacer un mayor suministro de agua a las áreas dedicadas a cultivos de secano.

AGRADECIMIENTOS

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). (Nueva identidad de CORPOICA a partir del 2018), agradece al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) por el apoyo financiero para el desarrollo del proyecto “Láminas de riego y su influencia en el rendimiento de arroz (*Oriza sativa* L.) la variedad Fedearroz-67 en el Valle Cálido del Magdalena” del cual se obtuvo la información para realizar este artículo, también al señor Gentil García Prada auxiliar de investigación de Agrosavia por el apoyo y mística en la toma de información.

Agradecen también a los revisores pares y a los editores de esta revista por sus comentarios, que ayudaron a mejorar este trabajo.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento y quienes están de acuerdo son su publicación y manifiestan que no existe conflictos de interés en este estudio.

REFERENCIAS

- Aguilar, M. 2001. Producción integrada del arroz en el sur de España / Manuel Aguilar Portero Clima y suelo. El cultivo del arroz en el sur de España. España: El Monte. 31p. Recuperado en: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337159674arroz_baja.pdf
- Agronet. 2022. Área, producción, rendimiento y participación municipal en el departamento por cultivo. Retrieved from: <https://www.agronet.goy.co/estadisticas-pagina/home.aspx?cod>
- Blanco, F., G. Rico y A. Amaya. 1992. Nutrición mineral, suelos y manejo de la fertilización de arroz en Venezuela. CIAT- Fonaiap. Unidades de Aprendizaje para la Capacitación de Tecnología de Producción de Arroz. N.º 4. Cali, Colombia. 153 p.

- Caicedo, A.M.; Montenegro R, O; Correa A., Iader; Lozano C, R. 2003. Recomendaciones para el manejo de riego por el método de goteo : minidistrito de riego "zaragoza tamarindo". Recuperado en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4202/1/056.pdf>
- Cardona, L.S. (29 de junio de 2015). Estos son los desafíos de los productores de arroz en el país. El País. Recuperado: <http://www.elpais.com.co/elpais/valle/noticias/estos-son-desafios-productores-arroz-pais>
- Castilla, L. 2002. Manejo del nitrógeno en arroz de riego. Revista. Arroz, 50 (439), p. 4-8.
- Castilla, L.A., Pineda, D., Ospina, J., Echeverry, J., Perafan, R., Garces, G., (2010). Cambio Climático y producción del arroz. Arroz. Volumen 58 (489), 52p.
- Departamento administrativo nacional de estadísticas [DANE] (2021). Boletín Técnico. Encuesta nacional del arroz mecanizado. Recuperado de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/bol_arroz_Isem15.pdf
- Departamento administrativo nacional de estadísticas [DANE] (2016). Boletín Técnico. Encuesta nacional del arroz mecanizado. Recuperado de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/bol_arroz_Isem15.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2022). Base de datos de producción agropecuaria FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Jiménez, F. 2008. Generación de la tecnología en el manejo de cultivo del arroz para la reducción del vaneamiento”. Seminario sobre Vaneamiento en el Arroz. Santo Domingo Republica Dominicana.
- Grillo, M. (1985). Diseño de sistema de riego y distribución de agua. En: Tascón, E., García, E. (Ed.), Arroz: Investigación y Producción. (pp. 387-399). Cali, Colombia: Editorial: CIAT.
- Holdridge, I.r., w.c. Grenke, W.H. Hatheway, T. Liang & J.A. Tosi. 1971. Forest environments in tropical life zones, a pilot study. Pergamon Press, Oxford. P. 747.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). 1992. Fertilización de diversos cultivos, Quinta aproximación. Manual de asistencia técnica No 25.

- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2009. Registro de cultivar comercial para producción y comercialización de semillas de arroz en Colombia página 4 de 5 resolución 005225 (28- sept de 2009).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. [IGAC] 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Tolima. Bogotá, Colombia: IGAC.
- Maqueira, L.A., C. A. Miranda, C.A. y Torres D.C 2009. Crecimiento y rendimiento de dos variedades de arroz de ciclo corto en época poco lluviosa Cultivos tropicales V.30 N° 3 La Habana. Recuperado en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v30n3/ctr030309.pdf>
- Morejón, R. y Díaz, S.H. 2013. Combinación de las técnicas estadísticas multivariadas y el diseño aumentado modificado (DAM) en la selección de líneas de prueba en el programa de mejoramiento genético del arroz (*Oryza sativa* L.) Cultivos Tropicales, vol. 34, no. 3, pp. 65-70.
- Pineda. D. 2007. Mejoramiento de la Instalación Inicial del cultivo. Bajo el sistema de caballones con Taipa. Rev. Correo FEDEARROZ. Fondo Nacional del Arroz. FEDEARROZ, Bogotá, Colombia.
- Quintero, C.E. 2009. Factores limitantes para el crecimiento y productividad del arroz en Entre Ríos, Argentina. Tesis Doctoral. Universidad de la Coruña. España. 167p.