

# Interacción caballoneo y nutrición sobre fenología y rendimiento de berenjena en el Valle del Sinú, Colombia

## Ridges and Nutrition Interaction on Eggplant Phenology and Yield in the Sinú Valley, Colombia

Manuel Ramón Espinosa Carvajal<sup>1</sup> ORCID: 0000000189395472

Ender Manuel Correa Alvarez<sup>2</sup> ORCID:0000000178765052

José Antonio Cantero Rivero<sup>5</sup> ORCID:0000000250674105

Martha Marina Bolaños Benavides<sup>3</sup> ORCID: 0000000345935523

Jorge Iván Corzo Estepa<sup>4</sup> ORCID:0000000166316196

Rommel Igor León Pacheco<sup>2</sup> ORCID:0000000299285282

Lily Lorena Luna Castellanos<sup>5\*</sup> ORCID: 0000000321727842

<sup>1</sup>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación Turipaná sede Carmen de Bolívar, Bolívar, Colombia

<sup>2</sup>AGROSAVIA. Centro de Investigación Caribia, Santa Marta, Colombia

<sup>3</sup>AGROSAVIA. Centro de Investigación Tibaitatá, Bogotá, Colombia

<sup>4</sup>Corporación Colombiana Internacional, Bogotá, Colombia

<sup>5</sup>AGROSAVIA. Centro de Investigación Turipaná, Córdoba, Colombia

\*Autor de correspondencia: llunac@agrosavia.co.

### Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del caballoneo y la nutrición en la fenología y producción de berenjena en el Valle medio del Sinú, Colombia. El experimento se estableció en condiciones de campo abierto en el municipio de San Pelayo (Córdoba) bajo un arreglo factorial 2 (con caballoneo y sin caballoneo) x 3 (fertilización orgánica, química y orgánica + química) y tres repeticiones, se emplearon plántulas de berenjena de la variedad C015. Durante el desarrollo fenológico del cultivo se llevaron a cabo registros de variables de crecimiento y producción. Los resultados permitieron evidenciar que el uso de caballoneo y fertilización ejerce efecto altamente significativo en la precocidad a la cosecha y significativo en

### Abstract

The objective of this work was to evaluate the effect of ridges and nutrition on the phenology and production of eggplant in the middle Sinú Valley, Colombia. The experiment was established in open field conditions in the municipality of San Pelayo (Córdoba) under a factorial arrangement of 2 (With ridges and without ridges) x 3 (organic, chemical, and organic + chemical fertilization) and three repetitions, seedlings of eggplant of the variety C015. During the phenological development of the crop, records of growth and production variables were carried out. The results obtained showed that the use of ridges and fertilization exerts a highly significant effect on early harvest and a significant effect on yield. The combined

el rendimiento. La utilización combinada de caballoneo y la aplicación de fertilizantes orgánicos reducen de 6 a 13 días la precocidad en la cosecha. Por su parte, la adición de fuentes químicas y orgánicas con caballones permite mejorar significativamente los rendimientos, se obtuvo 47.3 t/ha. Los caballones ejercen un efecto positivo sobre las variables área foliar, número de flores, peso y diámetro del fruto; por lo tanto, el uso de prácticas de caballoneo y fuentes de fertilización química y orgánica incrementa los rendimientos del cultivo y disminución de los días a cosecha.

### Palabras clave

Calidad, estrés hídrico, fertilización, productividad.

use of ridges and the application of organic fertilizers reduce the earliness of harvest from 6 to 13 days. On the other hand, the addition of chemical and organic sources with ridges allows to significantly improve the yields, 47.3 t/ha was obtained. The ridges exert a positive effect on the variables foliar area, number of flowers, weight, and diameter of the fruit. Therefore, the use of ridges practices and sources of chemical and organic fertilization allows increasing crop yields and reducing days to harvest.

### Keywords

Quality, watter stress, fertilization, productivity.

## Introducción

La berenjena (*Solanum melongena* L.) es un cultivo nativo de la India e introducido a Colombia alrededor del año 1930 (Araméndiz *et al.*, 2017). Según las cifras oficiales, para el año 2018 la región Caribe representó 93.4% de la producción del país; mientras que para el departamento de Córdoba le corresponden 32.0 y 28.4% del área cultivada y producción nacional, respectivamente (Agronet, 2019).

A pesar de la importancia del cultivo para la región Caribe y el departamento de Córdoba, los rendimientos en 2018 oscilaron entre 4.7 y 14 t/ha en los departamentos productores del Caribe, los cuales, son bajos comparados con las 12.0 y 26.2 t/ha obtenidas en los departamentos de Antioquia y Valle del Cauca, respectivamente (Agronet, 2019); lo que muestra una brecha tecnológica importante de los productores de la costa norte con relación con los productores del interior del país. Al respecto, Martínez *et al.* (2019) indicaron que algunos de los aspectos tecnológicos importantes asociados a los bajos rendimientos de los cultivos de berenjena en la región Caribe obedecen principalmente a la poca o nula implementación de planes de fertilización y sistemas de riego para suplir las necesidades nutricionales e hídricas del cultivo, respectivamente.

En el departamento de Córdoba la producción de berenjenas y otras hortalizas de importancia económica se concentran en el Valle medio del Sinú (Araméndiz *et al.*, 2010). Desde el punto de vista agrícola, este valle corresponde principalmente a la zona rural de los municipios de Montería, Cereté, San Carlos y San Pelayo, área que se caracteriza por tener suelos de origen aluvial, de fertilidad media a alta, niveles freáticos superficiales y, por ende, suelos con presencia de moteados grisáceos, que son indicadores de exceso de humedad en el perfil del suelo (Támara, 2011; Prieto *et al.*, 2010; Cabrales *et al.*, 2008).

En el valle medio del Sinú, tradicionalmente, los agricultores siembran berenjena entre los meses de abril-junio, periodo que coincide con la época de lluvias de la región y favorece el establecimiento y desarrollo fenológico de las plantas. El ciclo productivo de la berenjena bajo las condiciones edafoclimáticas características de la región asciende a 270 días, en el cual se pueden realizar de 21 a 40 cosechas. El periodo de comercialización coincide con la época de mayor oferta del producto en la zona, lo que afecta de manera negativa los ingresos de los agricultores y genera baja rentabilidad (Correa *et al.*, 2010; 2019; Martínez *et al.*, 2019).

A nivel mundial, la variabilidad climática progresivamente cobra mayor relevancia por sus impactos negativos en la producción agrícola, esto debido a los valores extremos cada vez más frecuentes que alcanzan factores abióticos, tales como la temperatura, precipitación y radiación, principalmente, y que influyen directamente sobre la fisiología de las plantas (Jarra *et al.*, 2012; IDEAM-UNAL, 2018).

La variabilidad climática expresada en altas temperaturas puede afectar la viabilidad del polen, ocasionando fallas en la fecundación, aborto de flores y frutos o deformación de frutos que influyen en su calidad para la comercialización de la berenjena (Araméndiz *et al.*, 2009; Jarra *et al.*, 2012; Maglianesi, 2016; Sandoz, 2016).

En cuanto a la precipitación, los fenómenos Niño y Niña aumentaron en frecuencia e intensidad en el último decenio y cada año son más evidentes los desajustes espacio-temporal de los periodos seco y lluvioso en la zona de estudio (MAPA, 2014); ello sumado a otros fenómenos poco conocidos y estudiados en el país, como la fotoinhibición, que es definida como la reducción en la actividad fotosintética producto del exceso de radiación (Casierra, 2007).

El cultivo de berenjena bajo las condiciones del Valle del Sinú se cosecha semanalmente, condición que representa una extracción continua de nutrientes y por ende una pérdida de fertilidad progresiva de los suelos cuando no son suplementados con nutrientes mediante fuentes orgánicas o inorgánicas adicionadas al suelo. Las propiedades físicas de los suelos y la ausencia de prácticas de mecanización agrícola adecuadas, promueven la saturación de agua en el suelo y propician el desarrollo de estrés hídrico en la planta. Bajo este escenario, es común la expresión de deficiencias nutricionales en las plantas y, por ende, mayor vulnerabilidad del cultivo ante estos factores abióticos adversos.

Una de las estrategias recomendadas para mejorar las condiciones de crecimiento y desarrollo de las plantas bajo las condiciones edáficas antes mencionadas, consiste en la utilización de caballones o alomado del suelo, una práctica de mecanización agrícola que consiste en la construcción de protuberancias o lomas de suelo con una altura de 15 cm en sentido de la pendiente del terreno, esta labor se realiza con un equipo conocido como caballoneador, con el fin de lograr uniformidad en la distribución de la película de agua dentro del lote cultivado.

En este contexto, el objetivo de la investigación fue evaluar la respuesta agronómica de la berenjena frente a la implementación del caballoneo y la nutrición como prácticas agronómicas básicas en la tecnificación, que mejoren el rendimiento del cultivo bajo las condiciones ambientales del Valle medio del Sinú.

## Materiales y métodos

### *Sitio de estudio*

La investigación se llevó a cabo en la finca denominada La Esperanza, ubicada en el municipio de San Pelayo, Córdoba (Colombia), cuyas coordenadas geográficas corresponden a 8° 57' 03.95" N y 75° 51' 05.37" O, altitud de 11 msnm, precipitación promedio anual de 1 262 mm, humedad relativa de 81%, temperatura promedio anual de 28 °C y brillo solar promedio anual de 1 913 horas (CORPOICA, 2014).

### *Material vegetal*

Semillas de berenjena de la variedad C015 de Corpoica fueron sembradas en germinadores plásticos provistos de turba canadiense (PINDSTRUP PLUS®), el establecimiento del semillero se realizó bajo condiciones controladas de humedad y temperatura en invernadero. Cuando las plántulas alcanzaron una altura promedio de 10 a 15 cm y poseían de cinco a seis hojas verdaderas (35 días después de la siembra) fueron trasplantadas al sitio definitivo en campo abierto.

### *Diseño experimental*

El experimento se estableció en condiciones de campo abierto bajo un diseño en bloques completos al zar en arreglo factorial 2 x 3, con tres repeticiones (cuadro 1). Se evaluaron dos factores: el primero fue el caballoneo del suelo con dos niveles (con y sin caballoneo) y el segundo factor en estudio correspondió a la fertilización con tres niveles (orgánica, química y orgánica + química).

La unidad experimental consistió en parcelas de 196 plantas (14 x 14) de la variedad C015 de Corpoica, sembradas a distancias de siembra de 1 x 1 m entre plantas y surcos.

Cuadro 1  
Descripción de los tratamientos evaluados

Tratamientos	Descripción
T1	Caballoneo + FO
T2	Caballoneo + FO + FQ
T3	Caballoneo + FQ
T4	Sin Caballoneo + FO
T5	Sin Caballoneo + FO + FQ
T6	Sin Caballoneo + FQ

FO: fertilización orgánica; FQ: fertilización química.

## Fertilización

La dosis de fertilizante químico y orgánico se estimaron mediante un balance de nutrientes entre el aporte del suelo, la demanda teórica del cultivo señalada por Ribeiro *et al.* (1998) y la cantidad de nutrientes aportada por las fuentes. La fertilización se fraccionó en cuatro aplicaciones: al momento del trasplante a sitio definitivo, 20 días después del trasplante (DDT), las restantes aplicaciones de fertilizantes se realizaron durante la cosecha #6 y cosecha #12.

La fertilización orgánica se realizó empleando Lombriabono en dosis de 400 gr/planta; en la fertilización química se emplearon las fuentes Urea® (13.5 g/planta), DAP® (9.1 g/planta), KCl® (10 g/planta) y VICOR® (4.2 g/planta).

El experimento fue provisto de sensores de medición de temperatura (máximas y mínimas) y precipitación, sistema de riego por aspersión y la instalación de tensiómetros a 15 y 30 centímetros de profundidad en dos puntos del monitoreo, con el fin de suplir técnicamente los requerimientos hídricos determinados por Sánchez *et al.* (2004) para el cultivo de berenjena bajo las condiciones del Valle del Sinú. Así mismo, los planes de nutrición a evaluar dentro de los tratamientos fueron estimados con base a resultados de análisis químico de suelos del área experimental y los requerimientos nutricionales del cultivo reportados por Ribeiro *et al.* (1998).

## Variables respuesta

Como variables respuestas se consideraron las asociadas al crecimiento (altura de planta, diámetro del tallo y área foliar), fenología (días a floración y cosecha), calidad de fruto (diámetro, longitud y peso fresco de fruto), rendimiento y sus componentes (número de frutos por planta y peso fresco de fruto) (cuadro 2).

**Cuadro 2**  
**Descripción de variables respuestas**

Variable	Abr.	Und.	Descripción
Altura de planta	AP	cm	Medida tomada sobre 20 plantas en plena competencia y registrada al finalizar la cosecha número 15.
Diámetro del tallo	DT	cm	Medida tomada sobre 20 plantas en plena competencia en el tercio medio al finalizar la cosecha número 15.
Área foliar	AF	cm <sup>2</sup>	Se estimó de acuerdo con el protocolo propuesto por Cardona <i>et al.</i> (2009), basado en el largo de la hoja del tercio medio en la última cosecha.
Días a floración	DF	ddt	Número de días a partir del trasplante hasta la emisión de la primera flor en 50% de la población de plantas.
Días a cosecha	DC	ddt	Número de días a partir del trasplante hasta la emisión del primer fruto en 50% de la población de plantas.
Longitud del fruto	LFr	cm	Largo del fruto en una muestra de cinco frutos en la cosecha número 7.

Variable	Abr.	Und.	Descripción
Diámetro del fruto	DFr	cm	Diámetro medio del fruto en una muestra de cinco frutos en la cosecha número 7.
Número de frutos por planta	NFP	#	Sumatoria de frutos por planta al finalizar la cosecha número 15.
Peso fresco del fruto	PFF	g	Peso del fruto de berenjena en una muestra de cinco frutos en la cosecha número 7.
Rendimiento	RT	t/ha	Calculado a partir del rendimiento de cada tratamiento y la población total por hectárea.

### Análisis estadísticos

Se empleó el paquete estadístico SAS v 9.4 (2018) y se realizó un análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de Tukey a 5% de confianza.

## Resultados

### Efecto del caballoneo y la nutrición en la fenología de las plantas

El análisis de varianza (cuadro 3) demostró que existe interacción significativa ( $p < 0.05$ ) entre las labores de caballoneo y fertilización (C x F) sobre el rendimiento (RT), y altamente significativa ( $p < 0.01$ ) sobre los días a cosecha (DC). Por su parte, las variables altura de planta (AP), diámetro del tallo (DT) y longitud del fruto (LFr) no fueron afectadas de manera significativa por los efectos individuales de los factores caballoneo y nutrición ni por la interacción de los factores; mientras que el factor caballoneo tuvo efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre la variable diámetro del fruto (DFr) y altamente significativo ( $p < 0.01$ ) en el área foliar (AF), número de frutos por planta (NFP) y peso fresco del fruto (PFF); por su parte, de manera individual ambos factores (caballoneo y fertilización) tuvieron efectos altamente significativos ( $p < 0.01$ ) sobre la variable días a floración (DF).

### Cuadro 3

Cuadros medios para características agronómicas de la producción de berenjena (*Solanum melongena* L.) en el Valle medio del Sinú

FV	G.L	AP (cm)	DT (cm)	AF (cm <sup>2</sup> )	DF (día)	DC (día)
Bloque	4	13.61	0.023	234.75	3.33	6.388
Caballoneo [C]	1	102.72	0.231	6.495**	364.50**	460.05**
Fertilización [F]	2	60.50	0.022	309.28	48.50**	82.05**
C x F	2	152.38	0.045	308.14	6.50	57.05**
R2		0.36	0.42	0.84	0.94	0.93
CV		9.47	12.27	13.15	4.98	3.79
MG		120.17	2.28	3.476	40.50	68.27

FV	G.L	LFr (cm)	DFr (cm)	NFP (#)	PFF (g)	RT (t/ha)
Bloque	4	1.25	0.03	3.72	89.72*	8.86*
Caballoneo [C]	1	3.38	0.168*	256.88**	355.55**	657.90**
Fertilización [F]	2	0.73	0.012	50.55	48.38	43.82**
C x F	2	0.19	0.052	9.38	44.05	29.34*
R <sup>2</sup>		0.52	0.72	0.91	0.84	0.96
CV		5.52	2.10	9.53	1.88	5.71
MG		19.43	6.96	19.78	248.11	37.01

FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación; CV: coeficiente de variación; MG: media general, AP: altura de planta; DT: diámetro del tallo; AF: área foliar; DF: días a floración; DC: días a cosecha; LFr: longitud del fruto; DFr: diámetro del fruto; NFP: número de frutos por planta; PFF: peso fresco del fruto; RT: rendimiento. \* Significativo  $p < 0.05$ ; \*\* Altamente Significativo  $p < 0.01$ .

### Interacción del caballoneo con la nutrición en la fenología y rendimiento de berenjena

En la interacción de los factores caballoneo y fertilización (C x F) se evidencia un efecto positivo de las labores de caballoneo y la nutrición vegetal, en donde se incluyan fuentes orgánicas sobre la precocidad en la cosecha (DC) de aproximadamente de 6 a 13 días.

Los rendimientos de la variedad de berenjena C015 responden de forma significativa a la aplicación de labores de caballoneo con FO+FQ y FQ, los cuales alcanzan valores entre 47.3 y 44.2 t/ha, mientras que las demás combinaciones alcanzan un máximo de 37.7 t/ha (cuadro 4). En contraste, los tratamientos que no incluyeron caballoneo FO y FO+FQ obtuvieron menores rendimientos: 30.1 y 30.8 t/ha, respectivamente.

#### Cuadro 4

Interacción de los factores caballoneo (C) x fertilización (F) sobre características agronómicas de la berenjena (*Solanum melongena* L.) en el Valle medio del Sinú

CxF	AP (cm)	DT (cm)	AF (cm <sup>2</sup> )	DF (día)	DC (día)	LFr (cm)	DFr (cm)	NFP (#)	PFF (g)	RT (t/ha)
cCxFO	118.7 a	2.4 a	4,017 a	34.0 a	56.0 c	20.1 a	7.1 a	21.3 a	248.7 a	37.7 b
cCFOxFQ	122.7 a	2.4 a	4,287 a	34.0 a	64.3 b	19.6 a	7.1 a	25.7 a	258.3 a	47.3 a
cCFQ	126.3 a	2.5 a	3,927 a	40.0 a	69.3 ab	19.9 a	7.0 a	23.7 a	250.7 a	44.2 a
sCFO	125.3 a	2.3 a	3,334 a	42.3 a	72.3 a	19.6 a	6.8 a	16.3 a	241.7 a	30.1 c
sCFOFQ	110.3 a	2.1 a	2,763 a	45.3 a	74.3 a	18.7 a	6.8 a	15.7 a	243.3 a	30.8 c
sCFQ	117.7 a	2.1 a	2,531 a	47.3 a	73.3 a	18.7 a	7.0 a	16.0 a	246.0 a	31.9 bc
EEM	11.38	0.27	457.40	2.02	2.59	1.07	0.14	1.88	4.66	2.11
Pr>F	0.357	0.583	0.285	0.262	0.011	0.846	0.147	0.132	0.195	0.021

cC: con Caballoneo; sC: sin Caballoneo; FO: fertilización orgánica; FQ: fertilización química AP: altura de planta; DT: diámetro del tallo; AF: área foliar; DF: días a floración; DC: días a cosecha; LFr: longitud del fruto; DFr: diámetro del fruto; NFP: número de frutos por planta; PFF: peso fresco del fruto; RT:

rendimiento; EEM: error estándar de la media. Letras distintas en la misma columna denotan diferencias significativas a 5% de acuerdo con la prueba de separación de medias de Tukey.

En el análisis individual de los factores, los tratamientos en donde se implementaron los caballones fueron estadísticamente superiores en las variables AF, NFP, PFF y DFr, demostrando un efecto positivo de la labor de caballoneo sobre el crecimiento vegetativo de las plantas. Así mismo, en la acción individual de los factores, se muestra que para la variable días a floración (DF) los tratamientos con caballoneo presentan una precocidad de aproximadamente nueve días.

Así mismo, en los tratamientos en donde la nutrición involucre fuentes orgánicas se promueve una precocidad en la floración de cinco días (cuadro 5).

Cuadro 5

Efectos individuales de los factores caballoneo y fertilización sobre características agronómicas de la berenjena (*Solanum melongena* L.) en el Valle medio del Sinú

Factor	AP (cm)	DT (cm)	AF (cm <sup>2</sup> )	DF (día)	DC (día)	LFr (cm)	DFr (cm)	NFP (#)	PPF (g)	RT (t/ha)
Caballoneo										
Con	122.6a	2.3a	4 077.5a	36.0b	63.2b	19.9a	7.1a	23.6a	252.5a	43.1a
Sin	117.8a	2.1a	2 876.1b	45.0a	73.3a	19.0a	6.9b	16.0b	243.7b	31.0b
DMS	12.38	0.30	497.22	2.19	2.81	1.16	0.15	2.04	5.07	2.29
Pr>F	0.399	0.123	0.000	0.001	0.001	0.125	0.023	0.001	0.003	0.001
Fertilización										
O	122.0a	2.33a	3 675.7a	38.1b	64.1b	19.8a	6.9a	18.8a	245.2a	33.9b
O+Q	116.0a	2.21a	3 525.3a	39.6b	69.3a	19.1a	6.9a	20.7a	250.8a	39.0a
Q	122.0a	2.28a	3 229.5a	43.6a	71.3a	19.3a	7.0a	19.8a	248.3a	38. a
DMS	18.87	0.46	754.58	3.33	4.27	1.77	0.24	3.11	7.70	3.48
Pr>F	0.643	0.760	0.284	0.004	0.0037	0.554	0.574	0.296	0.171	0.007

cC: con caballoneo; sC: sin caballoneo; FO: fertilización orgánica; FQ: fertilización química AP: altura de planta; DT: diámetro del tallo; AF: área foliar; DF: días a floración; DC: días a cosecha; LFr: longitud del fruto; DFr: diámetro del fruto; NFP: número de frutos por planta; PFF: peso fresco del fruto; RT: rendimiento; DMS: diferencia mínima significativa.

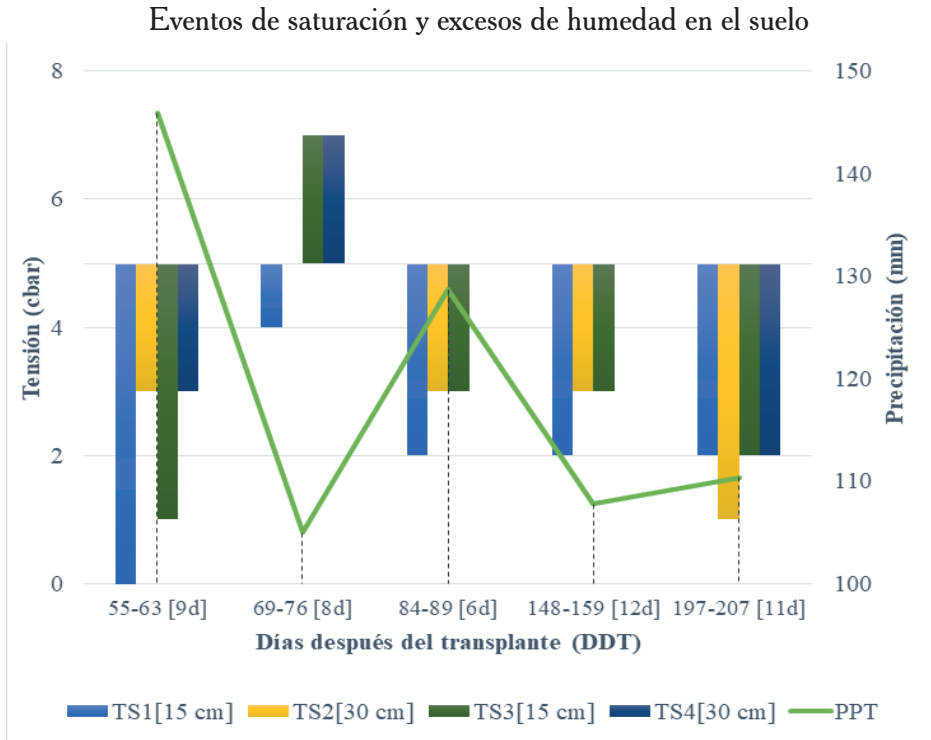
Nota: Letras distintas denotan diferencias significativas a 5%, de acuerdo con la prueba de separación de medias de Tukey.

### Eventos de saturación y humedad en el suelo

Durante el desarrollo del ciclo fenológico de las plantas de berenjena, los tensiómetros registraron al menos cinco eventos de saturación y excesos de humedad, los cuales suman una duración acumulada de 46 días de estrés hídrico (figura 1).



Figura 1



TS1 y TS3: tensiómetro a 15 cm de profundidad; TS2 y TS4: tensiómetro a 130 cm de profundidad. PPT: precipitación; rango de días después del trasplante del evento [días de duración del evento].

## Discusión

### *Crecimiento vegetativo y estrés hídrico*

La media general en los parámetros altura de planta, diámetro del tallo y área foliar fue de 120.17 cm, 2.28 cm y 3 476 cm<sup>2</sup>, respectivamente (cuadro 3). Estos resultados son similares con los obtenidos por Cantero *et al.* (2015) y Aramendiz *et al.* (2011) en altura de planta y diámetro de tallo en cultivares regionales de berenjena en el Valle medio del Sinú; sin embargo, para el área foliar la media general de los tratamientos, donde se implementaron caballones se expresó en 41.77% más de AF en comparación con los tratamientos sin caballonear (cuadro 5).

El estrés hídrico por exceso de humedad en el suelo (figura 1) es una condición que pudo afectar de manera negativa el funcionamiento de las plantas a nivel fisiológico. Al respecto, Aramendiz *et al.* (2008) señalan que las plantas de berenjena son sensibles a los excesos de humedad y las condiciones de este tipo de estrés conllevan a la reducción de actividades fisiológicas, tales como el potencial hídrico de la hoja, conductancia estomática y fotosíntesis neta (Semiz y Suarez, 2019; Plazas *et al.*, 2019).

Las reducciones en la productividad de la berenjena podrían resultar del aumento de las tensiones abióticas derivadas del cambio climático, lo que ocasiona una reducción del crecimiento, alteración de la relación brote/raíz, degradación de pigmentos fotosintéticos, y activación de mecanismos de defensa, como la síntesis y acumulación de diferentes osmolitos para el ajuste osmótico celular o la activación de sistemas antioxidantes (Tani *et al.*, 2018).

### Fenología

Los días a floración y cosecha ocurrieron en promedio a los 40 y 68 días respectivamente, con rangos entre los 34-47 DDT para los DF y 56-74 DDT para los DC (cuadros 3 a 5). Estos resultados son acordes a los obtenidos en cultivares regionales de berenjena evaluados en el Valle medio del Sinú con DF entre los 33 y 42 DDT y DC entre 58 y 77 DDT (Cantero *et al.*, 2015). Así mismo, los resultados encontrados en esta investigación son similares a los encontrados por Setiawan (2019), los cuales revelaron que la aplicación del fertilizante orgánico Lamtoro® en dosis de 630 g/planta incrementó el número y peso de los frutos de la berenjena variedad Mustang. Los fertilizantes provenientes de fuentes orgánicas presentan una liberación más lenta de nutrientes en comparación con las fuentes de síntesis química, lo que —bajo las condiciones de exceso de humedad presentes en el experimento— posiblemente ocasionó una menor pérdida del fertilizante por lixiviación y mejor aprovechamiento de los nutrientes en las plantas que ayudaron a generar una mejor respuesta fisiológica. Por su parte, la práctica de caballones tiene como finalidad generar mejores condiciones para un buen desarrollo del sistema radical, anclaje de la planta y escurrentía de aguas superficiales para el drenaje del lote, pudiendo contribuir en la respuesta favorable de mayor precocidad mostrada en los tratamientos donde se realizó el caballoneo.

### Calidad de fruto

Las dimensiones de fruto presentaron una media general de 19.4 cm (rango 18.7-20.1 cm) y 6.9 cm (6.8-7.1 cm) en longitud y diámetro respectivamente (cuadros 3 a 5), estos resultados concuerdan a los obtenidos por Cantero *et al.* (2015), en donde diferentes fuentes de fertilización no influyen significativamente en las dimensiones del fruto de berenjena (longitud y diámetro); por su parte, las medias de las dimensiones de fruto son afines a las registradas en variedades locales evaluadas en la región Caribe de Colombia (Aramendiz *et al.*, 2014).

Las dimensiones de los frutos de esta investigación, de acuerdo con la norma colombiana ICONTEC (2004) para berenjena, se corresponden en longitud a la clasificación de frutos grandes (longitud mayor a 150 mm) y en diámetro a frutos medianos (diámetro de 50 a 79 mm). Por otra parte, aunque el análisis de varianza registra una diferencia significativa a nivel del factor caballoneo, biológicamente la diferencia entre las medias es de 2 mm (cuadro 4), que para el comercio local y regional de la berenjena es imperceptible.

## Rendimiento y sus componentes

Para los componentes del rendimiento (NFP y PFF), los tratamientos donde se implementó el caballoneo (NFP = 23.6 y PFF = 252.5 g) fueron estadísticamente superiores a los tratamientos en donde no se implementó dicha labor (NFP = 16.0 y PFF = 243.7 g); mientras que para el rendimiento los mejores tratamientos fueron aquellos que incluyeron la acción combinada del caballoneo con el uso de fuentes de fertilización química (cuadros 4 y 5).

La nutrición del cultivo de berenjena con fuentes inorgánicas permite incrementar los niveles de carbono orgánico oxidable, nitrógeno total y disponibilidad de P, K, Zn, Fe y B, lo cual, facilita a la planta tener mayor acceso a la toma de estos nutrientes e incrementar sus procesos fisiológicos y la producción de frutos (Thingujam *et al.*, 2020). Los reportes de las investigaciones realizadas por Ewusi-Mensah *et al.* (2019), permitieron establecer que el suministro de compost inoculado con cepas de *Azotobacter* sp y los nutrientes NPK en dosis de 100% a cultivos de berenjena incrementan en 1.7 t/ha los rendimientos del cultivo, ya que mejoran las propiedades biológicas, químicas y físicas del suelo, y mejoran la adaptabilidad de las plantas a las condiciones del ambiente.

Los sistemáticos eventos de saturación y excesos de humedad registrados en el suelo del área experimental (figura 1), posiblemente ocasionaron escenarios de hipoxia; es decir, deficiencia de oxígeno en el suelo, el cual es esencial en la supervivencia de las plantas y microorganismos. Se sabe que la hipoxia prolongada puede reducir la asimilación de CO<sub>2</sub>, la absorción de nutrientes, reducir el crecimiento vegetativo, producir marchitamiento y muerte de las plantas, dependiendo del nivel de tolerancia de la especie o genotipo (Moreno y Fischer, 2014); mientras que Aldana y García (2012) señalan que este tipo de estrés hídrico pueden llegar a generar pérdidas hasta de 40% en la producción.

En este sentido, las diferencias entre los tratamientos con el máximo (T2 = 47.3 t/ha) y mínimo (T4 = 30.1 t/ha) rendimiento representan un 36.4% de pérdidas en producción (cuadro 4). Por su parte, los estudios realizados por Bozkurt (2019) indican que la berenjena cultivar Anamur Karası requiere de una alta frecuencia de riegos, cada tres días para incrementar los rendimientos del cultivo y mejorar la absorción de nutrientes.

En cultivos como tomate, perteneciente a la misma familia botánica de la berenjena, el anegamiento redujo significativamente el número y peso de los frutos, así como la biomasa de otras estructuras de la planta, tales como raíces, tallo, hojas y flores (Baracaldo *et al.*, 2014). Otros efectos adversos de la hipoxia señalados en la literatura son la inhibición en la formación de botones flores y por ende la reducción del número de flores y frutos, reducción en la fotosíntesis, desbalance en la síntesis y transporte de hormonas y alteraciones en los procesos reproductivos de la planta, entre otros (Fischer *et al.*, 2012 y Ezin *et al.*, 2010).

En plantaciones de ñame, la combinación de la preparación de suelos con caballoneo y fertilización orgánica mostraron ser prácticas agronómicas viables para enfrentar las condiciones restrictivas de humedad del suelo y reducir pérdidas en rendimientos (Espinosa *et al.*, 2018). Es de conocimiento general que la nutrición balanceada en los cultivos favorece la capacidad de las plantas para tolerar el estrés de naturaleza biótica

(García-Ramos *et al.*, 2018; Munévar, 2004; Velasco, 1999) y abiótica (Espinosa *et al.*, 2018; Chaves y Gutiérrez, 2017; Waraich *et al.*, 2012), por fomentar procesos metabólicos y fisiológicos que activan sus defensas naturales.

La práctica de caballoneo favorecen el drenaje superficial de los cultivos y, por ende, reducen los efectos adversos del anegamiento o condiciones de hipoxia en las plantas (estrés abiótico); pero también contribuyen en la reducción de las condiciones favorables de patógenos del suelo (estrés biótico) de alto impacto en el cultivo de berenjena, tales como *Ralstonia solanacearum* (agente causal de la marchitez bacteriana), que requieren de alta humedad en el suelo y su diseminación es favorecida por escorrentías superficiales (Melgar *et al.*, 2012).

## Conclusiones

Los resultados de esta investigación sugieren que el uso combinado de caballoneo y la aplicación de fertilizantes orgánicos en mezcla con fuentes inorgánicas, reducen los días a floración y mejoran el rendimiento de las plantas de berenjena de la variedad C015.

La adición de fertilizantes químicos favorece el incremento del rendimiento; sin embargo, retarda el periodo de floración y los días a cosecha de la berenjena bajo las condiciones edafoclimáticas de la zona.

La inclusión de prácticas de mecanización agrícola, como el caballoneo, mejoran el crecimiento vegetativo, los componentes del rendimiento y el diámetro de los frutos de berenjena de la variedad C015.

## Agradecimientos

Este trabajo formó parte del componente 2. Desarrollo de sistemas de producción resilientes a los impactos climáticos extremos (inundaciones, exceso de humedad, sequías y deslizamientos) del proyecto *Reducción del riesgo y adaptación al cambio climático* mediante convenio de asociación No. 002 de 2013, celebrado entre el Fondo de Adaptación y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA.

## Literatura citada

- Agronet. (2019). Red de información y comunicación del sector agropecuario colombiano (agronet): área cosechada, producción y rendimiento de berenjena 2010-2018. recuperado de <http://www.agronet.gov.co> [consultado 01/12/2019].
- Aldana, F. y García, P. (2012). *Efecto del estrés por anegamiento sobre el crecimiento, desarrollo y fisiología de uchuva (Physalis peruviana L.) bajo condiciones de invernadero*. Trabajo de grado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Araméndiz, H.; Cardona, C.; Jarma, A. y Espitia, M. (2008). *El cultivo de la berenjena (Solanum melongena L.)*. 1a. ed. Bogotá, editorial Produmedios. 152 p.
- Araméndiz, H.; Cardona, C. y Espitia, M. (2009). Caracterización de la morfología floral de dos cultivos de berenjena (*Solanum melongena L.*) (Solanaceae). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*. 62(2): 5125-5134.
- Araméndiz, H.; Espitia, M. y Cardona, C. (2010). Análisis de sendero en berenjena (*Solanum melongena L.*). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*. 13(1): 115-123.

- Araméndiz, H.; Sudré C.; Gonçalves L. y Rodrigues R. (2011). Potencial agronómico e divergência genética entre genótipos de berinjela nas condições do Caribe Colombiano. *Horticultura Brasileira*. 29: 174-180.
- Araméndiz, H.; Cardona, C. y Vergara, C. (2014). Parámetros genéticos relacionados con características del fruto en berenjena (*Solanum melongena* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 8(1): 103-111.
- Araméndiz, H.; Cardona, C. y Alzate, K. (2017). Prueba de conductividad eléctrica en la evaluación de la calidad fisiológica de semillas en berenjena (*Solanum melongena* L.). *Scientia Agropecuaria*. 8(3): 225-231.
- Baracaldo, A.; Carvajal, R.; Romero, A.; Prieto, A.; Garcia, F.; Fischer, G. y Miranda, D. (2014). El anegamiento afecta el crecimiento y producción de biomasa en tomate chonto (*Solanum lycopersicum* L.), cultivado bajo sombrío. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 8(1): 92-102.
- Bozkurt, Y. (2019). Effects of irrigation frequency and level on yield and stomatal resistance of eggplant (*Solanum melongena* L.) grown in open field irrigated with surface and subsurface drip methods. *Applied ecology and environmental research*. 17(6): 15585-15604.
- Cabrales, E.; Grandett, G. y García, A. (2008). Dinámica del azufre bajo condiciones de invernadero de un Typic Sulfaquept en el valle medio del Sinú, Colombia. *Revista Temas Agrarios*. 13(2): 25-35.
- Cantero, J.; Espitia, L.; Cardona, C.; Vergara, C. y Araméndiz, H. (2015). Efectos del compost y lombríabono sobre el crecimiento y rendimiento de berenjena *Solanum melongena* L. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 32(2): 56-67.
- Cardona, C.; Araméndiz, H. y Barrera, J. (2009). Modelo para estimación de área foliar en berenjena (*Solanum melongena* L) basado en muestreo no destructivo. *Temas Agrarios*. 14(2): 14-22.
- Casierra-Posada, F. (2007). Fotoinhibición: Respuesta fisiológica de los vegetales al estrés por exceso de luz. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 1(1): 114-123.
- Chaves, N. y Gutiérrez, M. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana*. 28(1): 255-271.
- CORPOICA. (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). (2014). Caracterización de la variabilidad climática y zonificación de la susceptibilidad territorial a eventos climáticos extremos. Departamento de Córdoba. Proyecto MAPA. Producto 1. Pp. 26-33.
- Correa, E.; Aramendiz, H.; Azeredo, L.; Pombo, C. y Cardona, C. (2010). Tipificación de comercializadores de berenjena en zonas productoras del caribe colombiano. *Revista Temas Agrarios*. 15(2): 46-57.
- Correa, E.; Martínez, A.; Orozco, A.; Silva, G.; Tordecilla, L. y Rodríguez, M. (2019). Análisis de un sistema productivo agrícola en el Caribe: tecnología de producción, patrón de costos e indicadores económicos de la producción de ahuyama. *Revista de Economía del Caribe*. 23: 46-69.
- Espinosa, M.; Carvajal, L.; Rojas, J. y Bolaños, M. (2018). Labranza y fertilización, estrategias para enfrentar condiciones restrictivas de humedad del suelo cultivado con ñame. *Suelos Ecuatoriales*. 48 (1 y 2): 23-31.
- Ewusi-Mensah, N.; Mensah, P.W.; Logah, V. y Ofori, P. (2019). Compost inoculated with *Azotobacter* sp: impact assessment on eggplant (*Solanum melongena*) productivity and soil nutrient status in Ghana. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 66 (2): 208-219.
- Ezin, V., Pena, R. D. L. y Ahanchede, A. (2010). Flooding tolerance of tomato genotypes during vegetative and reproductive stages. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 22(2): 131-142.
- Fischer, G.; Ramírez, F. y Almanza-Merchán, P. (2012). *Inducción floral, floración y desarrollo del fruto*. Pp. 120-140. En: Fischer, G. (ed.). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá, Colombia. 140 p.
- García-Ramos, Y.; Galindo-Tovat, M.E.; Murguía-González, J.; Landero-Torres, I. y Leyva-Ovalle, O.R. (2018). Fertilización complementada con sílice en la resistencia del tomate a *Fusarium oxysporum* Shtdl. *Agronomía Mesoamericana*. 29(1): 42-55.
- ICONTEC. (2004). Requisitos que debe cumplir la berenjena destinada a ser consumida en estado fresco. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Norma técnica NTC 1220. 4 p.
- IDEAM-UNAL. (2018). *la variabilidad climática y el cambio climático en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM); Universidad Nacional de Colombia (UNAL). Primera edición, Grupo de Comunicaciones IDEAM, Bogotá, Colombia. 28 p.
- Jarma, A.; Cardona, H. y Aramendiz, H. (2012). Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión. *Revista Actualidad y Divulgación Científica*. 15(1): 63-76.

- Maglianesi, M.A. (2016). Efecto del cambio climático sobre la polinización y la producción agrícola en América tropical. *Ingeniería*. 25(1): 11-20.
- MAPA (Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática). (2014). *Taller Validación de resultados del producto 1 y 2 del Proyecto MAPA*, mayo-junio de 2014, Córdoba, Colombia. (C. -C. Unidad de Agroclimatología, Entrevistador). 100 p.
- Martínez, A.; Tordecilla, L.; Grandett, L.; Rodríguez, M.; Cordero, C.; Silva, G. y Orozco, A. (2019). Análisis económico de la producción de berenjena (*Solanum melongena* L.) en dos zonas productoras del Caribe colombiano: Sabanas de Sucre y Valle del Sinú en Córdoba. *Ciencia y Agricultura*. 16(3): 17-34.
- Melgar, J.; Rivera, J.; Brown, J. y Weller, S. (2012). *Marchitez bacteriana en Solanaceas: su reconocimiento y manejo integrado*. 1a. ed. La Lima, Cortés (Honduras), editorial Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 19 p.
- Moreno, A. y Fischer, G. (2014). Efectos del anegamiento en los frutales. Una revisión. *Revista Temas Agrarios*. 19(1): 106-123.
- Munévar, F. (2004). Relación entre la nutrición y las enfermedades de las plantas. *Palmas*. 25: 171-178.
- Plazas, M.; Nguyen, H.T.; González-Orenga, S.; Fita, A.; Vicente, O.; Prohens, J. y Boscaiu, M. (2019). Comparative analysis of the responses to water stress in eggplant (*Solanum melongena*) cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*. 143: 72-82.
- Prieto, B.; Peroza, J. y Grandett, G. (2010). Efecto de labranza y manejo de materiales orgánicos sobre algunas propiedades físicas y químicas de un Vertic Endoaquept del valle del Sinú, Córdoba Colombia. *Revista Temas Agrarios*. 15(2): 27-36.
- Ribeiro, C., Brune, S. y Reifschneider, F. (1998). *Cultivo da berinjela (Solanum melongena L.)*. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças. (Embrapa Hortaliças. Instruções técnicas 15). Brasília, Brasil. 23 p.
- Statistical Analysis System Institute. (2018). *SAS/STAT User's guide, version 8 (Vol. 2)*. SAS Institute.
- Sánchez, C.; Arrieta, A.; Florez, S.; Mercado, T.; Martínez, J. y Martínez, A. (2004). Requerimiento hídrico de la berenjena (*Solanum melongena* L.) bajo riego por goteo en el Valle del Sinú. *Agronomía Colombiana*. 22(2): 170-176.
- Sandoz, M.A.M. (2016). Efectos del cambio climático sobre la polinización y la producción agrícola en América Tropical. *Revista Ingeniería*. 26(1): 11-20.
- Semiz, G.D. y Suarez, D.L. (2019). impact of Grafting, Salinity and irrigation Water composition on eggplant fruit Yield and ion Relations. *Scientific Reports*. 9(1): 1-9.
- Setiawan, S. (2019). The Effect of Lamtoro as Green Fertilizer on Growth and Results of Eggplant on Soil Red Yellow Podsolc. *International Journal of Agronomy and Tropical Plants (IJ-ATP)*. 1(2): 37-49.
- Támara, R. (2011). Influencia de la profundidad del nivel freático del suelo, en la productividad de cuatro genotipos de maíz (*Zea mays*) en la región del Sinú medio, Córdoba – Colombia. Tesis de maestría, Universidad de Córdoba (Colombia). 89 p.
- Tani, E.; Kizis, D.; Markellou, E.; Papadakis, I.; Tsamadia, D.; Leventis, G.; Makrogianni, D. y Karapanos, I. (2018). Cultivar-dependent responses of eggplant (*Solanum melongena* L.) to simultaneous *Verticillium dahliae* infection and drought. *Frontiers in plant science*. 9: 1181.
- Thingujam, U.; Bhattacharyya, K.; Ray, K.; Phonglosa, A.; Pari, A.; Banerjee, H.; Dutta, S. y Majumdar, K. (2020). Integrated nutrient management for eggplant: Yield and quality models through artificial neural network. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 51(1): 70-85.
- Velasco, V. (1999). Papel de la nutrición mineral en la tolerancia a las enfermedades de las plantas. *Terra*. 17(3): 193-200.
- Waraich, E.A.; Ahmad, R.; Halim, A. y Aziz, T. (2012). Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: a review. *Journal of soil science and plant nutrition*. 12(2): 221-244.

Recepción: 5 de agosto 2020

Arbitraje: 19 de agosto 2020

Dictamen: 4 de septiembre 2020

Aceptado: 2 de diciembre 2020