

# Estimación del efecto de la sequía sobre la productividad de frijol variedad AGROSAVIA rojo 43 en el Caribe colombiano

## Estimating the Effects of Drought on AGROSAVIA Rojo 43 Bean Productivity in the Colombian Caribbean Region

Douglas A. Gómez-Latorre<sup>1\*</sup> [orcid.org/0000-0002-6067-7596](https://orcid.org/0000-0002-6067-7596)

Yanine Rozo Leguizamón<sup>2</sup> [orcid.org/0000-0003-4723-478X](https://orcid.org/0000-0003-4723-478X)

Elizabeth Rochel Ortega<sup>3</sup> [orcid.org/0000-0001-7888-6073](https://orcid.org/0000-0001-7888-6073)

Adriana Tofiño Rivera<sup>4</sup> [orcid.org/0000-0001-7115-7169](https://orcid.org/0000-0001-7115-7169)

<sup>1</sup>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA  
Centro de Investigación Tibaitatá, Bogotá,  
Mosquera - Cundinamarca, Colombia.

<sup>2</sup>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA.  
Centro de Investigación Palmira. Palmira - Valle del Cauca, Colombia.

<sup>3</sup>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA.  
Centro de Investigación La Suiza - Sede Cúcuta. Norte de Santander, Colombia.

<sup>4</sup>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA.  
Centro de Investigación Motilonia. Agustín Codazzi, Cesar, Colombia.

\*Autor de correspondencia: [dagomez@agrosavia.co](mailto:dagomez@agrosavia.co)

### Resumen

**Objetivo.** Determinar el efecto de la sequía sobre la productividad del frijol variedad mejorada AGROSAVIA rojo 43, bajo la oferta bioclimática del Caribe colombiano. **Materiales y métodos.** Se utilizó la ecuación descrita por la guía FAO No. 33 para cuantificar la reducción de la productividad-rendimiento en tres municipios con tradición productiva: Cereté (Córdoba), Codazzi y Pueblo Bello (Cesar) para ciclos de siembra consecutivos, cada 10 días, entre enero de 2010 y octubre de 2019; así mismo, se determinó la correlación estadística entre dicha reducción y el índice oceánico El Niño (ONI, por sus siglas en inglés) para establecer su asociación con los ciclos El Niño/La Niña

### Abstract

**Objective.** Determine the effect of drought on the productivity of the AGROSAVIA Rojo 43 improved variety bean, under the bioclimatic offer of the Colombian Caribbean. **Materials and methods.** The formula described by FAO guide No. 33 was used, to quantify the reduction in productivity-yield in three municipalities with a productive tradition: Cereté (Córdoba), Codazzi and Pueblo Bello (Cesar) for consecutive sowing cycles, every ten days, between January 2010 and October 2019; Likewise, the statistical duration between said reduction and the Oceanic El Niño Index-ONI will be prolonged to establish its association with El Niño/La Niña South Oscillation ENSO.

Oscilación del Sur (ENOS). **Resultados.** Se identificó un comportamiento inverso entre la pérdida acumulada de rendimiento-productividad (PARP) y la precipitación acumulada en el ciclo de cultivo (Pa), lo que ocasiona que en periodos de sequía extrema los rendimientos modelados se reduzcan en un 30% para Pueblo Bello, 25% en Codazzi y 20% en Cereté; asimismo, se observó una correlación de 0.25 ( $p=0.006$ ), 0.14 ( $p=0.128$ ) y 0.14 ( $p=0.138$ ) a nivel sincrónico entre el ONI y la PAPR, respectivamente. **Conclusión.** La identificación del efecto de la sequía sobre la variedad sirve como base para la planificación de la siembra y lograr un rendimiento cercano al potencial.

### Palabras clave

Rendimiento, *Phaseolus vulgaris* L., balance hídrico, variabilidad climática.

**Results.** An inverse behavior was identified between the accumulated loss of yield-productivity (PARP) and the accumulated precipitation in the crop cycle (Pa), which causes that in periods of extreme drought the modeled yields are reduced by 30% for Pueblo Bello, 25% in Codazzi and 20% in Cereté; likewise, a correlation of 0.25 ( $p=0.006$ ), 0.14 ( $p=0.128$ ) and 0.14 ( $p=0.138$ ) was observed at the synchronous level between the ONI and the PAPR, respectively. **Conclusion.** The identification of the effect of drought on the variety serves as a basis for planting planning and achieving a yield close to potential.

### Keywords

Yield, *Phaseolus vulgaris* L., water balance; climate variability.

## Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa de grano de mayor importancia en términos de consumo directo en países en desarrollo. Es un alimento con alto contenido proteico, que cubre la necesidad de proteínas de 300 millones de personas (Ilunga Tshibingu *et al.*, 2017), ya que aporta carbohidratos, vitaminas y minerales, principalmente hierro y zinc (Resende *et al.*, 2018). Adicionalmente, el frijol es utilizado como forraje para la alimentación animal y para mejorar la calidad del suelo gracias a su capacidad para establecer asociaciones con bacterias que pueden fijar el nitrógeno atmosférico (Argaw y Akuma, 2015). Según FAOSTAT (FAO, 2020), los países asiáticos cosechan la mayor área de frijol en el mundo con 18 338 599 ha, seguidos de África con 7 893 915 ha y América con 6 544 584 ha. En Colombia, en 2019, el área cultivada de frijol fue de 45 888 ha, con una producción de 53 657 t. La región del Caribe participó con 21% del área con 9 712 ha y 13. 9% de la producción con 7 510 t. Dentro de esta región, las zonas con mayor superficie cultivada son el departamento de Cesar con 3 341.04 ha y una producción de 2 392.25 t, seguido del departamento de Bolívar con 2 472 ha y una producción de 2 178 t (AGRONET, 2022); sin embargo, los rendimientos unitarios en este cultivo no se han incrementado en los últimos años pese al esfuerzo de los programas de mejoramiento (Ríos *et al.*, 2014).

Por otro lado, el mayor porcentaje del frijol en el mundo se produce en áreas con sequía y, al ocurrir este evento climático extremo, en la etapa reproductiva, se puede ocasionar disminuciones en el rendimiento entre 60 a 99% (Darkwa *et al.*, 2016); de hecho, se proyecta que en diferentes regiones de América Latina se reducirán las áreas de cultivo

debido a diversos factores bióticos y abióticos asociados a la variabilidad y cambio climático (Heinemann *et al.*, 2017). Estos factores limitantes conllevan a procesos de estrés en las plantas que limitan su desarrollo, lo cual se refleja en rendimientos de frijol por debajo de 1 t/ha en la mayoría de los países tropicales, incluido Colombia (Beebe, 2012).

En cuanto a los requerimientos hídricos, el frijol demanda al menos 350 a 500 mm de precipitación entre 60 y 120 días del ciclo de desarrollo, por lo que la escasez de agua representa una de las limitantes más importantes para el cultivo (Rios *et al.*, 2017). Los períodos de precipitaciones fluctuantes pueden ocasionar pérdidas importantes por la presencia de lluvias fuera de temporada que crean condiciones idóneas para la ocurrencia de infecciones fúngicas y bacterianas (Sofi *et al.*, 2021); por ello, el conocimiento sobre la ocurrencia de fenómenos relacionados con la variabilidad climática proyectada para las próximas décadas es fundamental para diseñar estrategias de resiliencia en el cultivo, ya que estos son una amenaza para el desarrollo usual del frijol (Botero y Barnes, 2022), más aún cuando son evidentes las secuelas del cambio climático, manifestándose como mayor intensidad, frecuencia y duración de los eventos climáticos extremos (IPCC, 2012), como son los períodos de sequía o de lluvias intensas, usuales durante la fase cálida (El Niño) y la fase fría (La Niña) de El Niño Oscilación del Sur (ENOS), respectivamente (Zebiak *et al.*, 2015), siendo necesaria la búsqueda de alternativas a través de herramientas como la mejora genética, junto con la adopción de nuevas prácticas de gestión, las cuales serán vitales para mejorar la productividad adaptada a la oferta bioclimática cambiante (Darkwa *et al.*, 2016; Rios *et al.*, 2017; Ríos *et al.*, 2014).

En años recientes, se evaluaron líneas derivadas de cruces interespecíficos de *P. vulgaris* con *P. acutifolius* y *P. coccineus* en zonas planas del Caribe con alturas menores a 300 msnm y temperaturas mínimas promedio de 24 °C. Estas zonas de vida se consideraban no aptas para el frijol común; sin embargo, esas líneas mostraron una adaptación. No obstante, la sequía estacional se suma al estrés por calor, restándole productividad a los nuevos cultivos y limita la posibilidad de escalar los genotipos interespecíficos élite a los sistemas agricultura campesina, familiar y comunitaria del Caribe colombiano (Sierra-Monroy *et al.*, 2021).

Ante tal panorama, AGROSAVIA en conjunto con el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), desarrolló la variedad de frijol biofortificado AGROSAVIA rojo 43 como una alternativa de gran capacidad nutricional, enriquecido en hierro y zinc; esta variedad mejorada posee una tolerancia moderada a la sequía (Cordero *et al.*, 2018; Rozo *et al.*, 2018); es por ello que el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la sequía para el frijol variedad AGROSAVIA rojo 43 en el Caribe seco colombiano, mediante la estimación de la reducción de la productividad-rendimiento, adaptando para ello parámetros de modelación del frijol común, en fechas de siembra consecutivas cada 10 días, entre enero de 2010 a octubre de 2019. Con la información anterior se logró definir en qué periodos es más tolerante la variedad a la sequía y se generaron algunas bases para el desarrollo de éstas a partir de las poblaciones interespecíficas mencionadas.

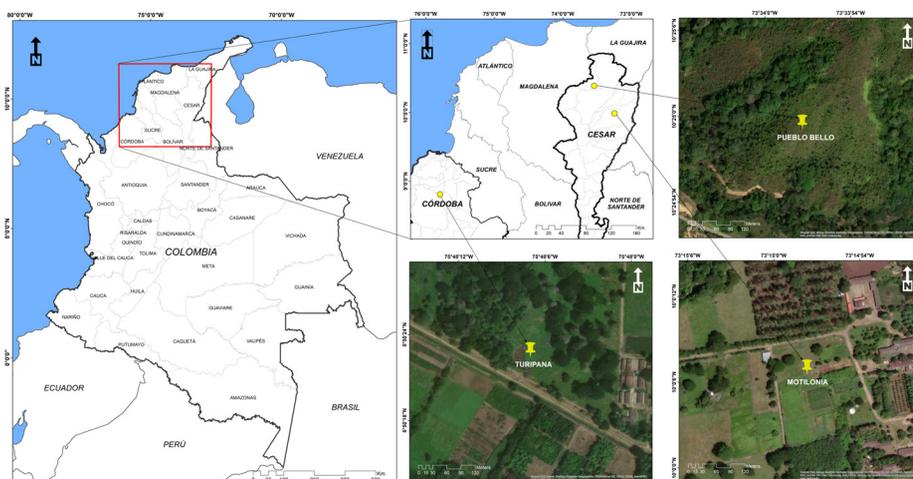
## Materiales y métodos

### Área de estudio

La zona de estudio se localiza en la región Caribe de Colombia, comprende las áreas de influencia de las estaciones meteorológicas Turipaná y Motilonia, del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), y Pueblo Bello de la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), localizadas en los municipios de Cereté (Córdoba) en el Caribe húmedo, Codazzi y Pueblo Bello (Cesar) en el Caribe seco (figura 1). Estos municipios se caracterizan por la influencia directa del mar Caribe en el territorio, determinando la distribución de la vegetación entre matorrales y bosques secos para el Caribe seco, y bosques húmedos y semihúmedos para el Caribe húmedo (Tofiño *et al.*, 2018).

Figura 1

Área de estudio con la localización de las estaciones meteorológicas



### Aproximación metodológica

Se adaptaron los parámetros de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) al cultivar biofortificado agrosavia rojo 43 (Tofiño *et al.*, 2018), en 354 ciclos de cultivo, con 10 días de diferencia cada uno (5, 15 y 25 de cada mes), entre 2010-2019. Es importante precisar que la variedad agrosavia rojo 43, de raza Mesoamericana, está registrada para la subregión Caribe seco de Colombia con condiciones óptimas de cultivo 700-1 300 msnm. La estimación del efecto de la sequía se realizó a través del análisis de productividad-rendimiento mediante la ecuación descrita en la guía FAO No. 33 (Doorenbos y Kassam, 1979), para cuantificar la reducción de la productividad de los cultivos, cuando se presenta estrés hídrico debido a la falta de agua en el suelo (Allen *et al.*, 2006).

Posteriormente, se calculó el coeficiente correlación de Pearson (Wilks, 2019), de forma sincrónica hasta con rezago de seis meses, entre el Índice Oceánico El Niño (ONI, por sus siglas en inglés), tomado de la base de datos de la National Ocean and Atmosphere Administration (NOAA), que es el indicador de los periodos donde se presentan los fenómenos de El Niño/La Niña (activación del ENOS) (CPC-NOAA, 2022), y la pérdida acumulada de productividad-rendimiento (PAPR) promedio mensual, para determinar si existe influencia directa con la reducción del rendimiento del cultivo.

### Información climática

Se utilizaron series climáticas diarias de las variables: precipitación ( $P$ ), temperatura máxima ( $T_x$ ) y temperatura mínima ( $T_n$ ) brillo solar ( $Br$ ) y humedad relativa ( $H_{rel}$ ), de la red hidrometeorológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y de la red agroclimática de la Federación Nacional de Cafeteros (FNC) de Colombia, para el periodo 2010-2019 (cuadro 1).

A las series de  $P$ ,  $T_x$  y  $T_n$ , se les verificó su coherencia física y estadística, se revisó la secuencia lógica y confrontando los registros atípicos con ocurrencia de fenómenos climáticos a gran escala tipo El Niño o La Niña. El llenado de datos se realizó a través del método de las proporciones (Paulhus y Kohler, 1952) teniendo en cuenta la correlación de las series climáticas con las provenientes de las estaciones meteorológicas vecinas.

Cuadro 1

Localización geográfica de las estaciones meteorológicas en tres municipios del Caribe colombiano

Localización	Estación		
	Motilonia	Pueblo Bello	Turipaná
Municipio (Dpto.)	Codazzi (Cesar)	Pueblo Bello (Cesar)	Cereté (Córdoba)
Latitud [GG°mm'ss"]	10° 00' 06.5" N	10° 25' 00.0" N	8° 50' 22.3" N
Longitud [GG°mm'ss"]	73° 14' 57.8" O	73° 34' 00.0" O	75° 48' 06.8" O
Elevación [msnm]	180	1 130	20

### Información de suelos y cultivo

Los valores de capacidad de campo ( $\theta_{FC}$ ), punto de marchitez permanente ( $\theta_{WP}$ ) y densidad aparente ( $Da$ ) del suelo, se determinaron a partir de análisis del suelo en cada área de influencia de las estaciones meteorológicas; los resultados obtenidos fueron corroborados con los valores propuestos por Israelsen y Hansen (2010). La  $Da$  fue determinada a partir del método de anillo con volumen conocido, mientras que para la determinación de la  $\theta_{FC}$  y la  $\theta_{WP}$  fue utilizado el método de olla de presión. Los parámetros de efecto sobre el rendimiento ( $K_y$ ) se adaptaron de la guía FAO No. 33 (1979), mientras que los de evapotranspiración de cultivo ( $ET$ ) y coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) se ajustaron de la guía FAO No. 56 (Allen et al., 2006) de acuerdo con las características de AGROSAVIA rojo 43 (cuadro 2).

Cuadro 2

Información general de suelo de tres municipios del Caribe colombiano y parámetros de la variedad utilizada

Información general	Estación		
	Motilonia	Pueblo Bello	Turipaná
pH	7.8	4.7	6.4
MO [g/100 g]	1.67	2.3	2.20
Textura	Franco	Arcillo-arenoso	Franco-arcilloso
$\theta_{FC}$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.26	0.31	0.27
$\theta_{WP}$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.10	0.15	0.13
$D_a$ [gr/cm <sup>3</sup> ]	1.40	1.30	1.33
Fecha inst. parcela	12 abril 2021	28 abril 2017	10 julio 2020
Rendimiento [t/ha] AGROSAVIA rojo 43	0.45	1.20	0.80
$K_y$	Inicial: 0.2; Desarrollo: 0.6; Medio: 1.0; Final: 0.2		
$K_c$	Inicial: 0.45; Medio: 1.28; Final: 0.7		

Fuente: Cordero *et al.* (2018).

### Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_0$ )

Se utilizó el software  $ET_0$ -Calculator V3.1 que implementa el método combinado de FAO Penman-Monteith. El método determina la evapotranspiración para un cultivo hipotético que representa la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto de altura uniforme, creciendo activamente y con riego adecuado (Allen *et al.*, 2006), la ecuación se da por:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

Donde:  $R_n$  es la radiación neta en la superficie del suelo [MJ/m<sup>2</sup> día],  $T$  corresponde a la temperatura media del aire [°C],  $G$  al flujo de calor desde el suelo [MJ/m<sup>2</sup> día],  $u_2$  velocidad del viento a 2 metros de altura [m/s],  $(e_s - e_a)$  déficit de presión de vapor [kPa],  $\Delta$  pendiente de la curva de presión de vapor y  $\gamma$  constante psicrométrica [kPa/°C].

### Balance hídrico diario

El balance hídrico se realizó en condiciones no estándar, donde se tuvieron en cuenta factores ambientales y de manejo que influyen directamente en la determinación de la evapotranspiración del cultivo ajustada ( $ET_{c_{aj}}$ ) (Allen *et al.*, 2006; Doorenbos y Kassam, 1979). La determinación de la  $ET_{c_{aj}}$  está dada por la siguiente expresión matemática, que no tiene en cuenta la evaporación del suelo como un componente importante:

$$ET_{c,aj,i} = K_{s,i} K_{c,i} ET_o$$

Donde  $K_c$  corresponde al coeficiente de cultivo y  $K_s$  al coeficiente de estrés hídrico;  $K_s = 1$ , cuando no hay estrés por falta de humedad en el suelo, mientras  $K_s < 1$ , cuando se producen limitaciones debido a la disponibilidad de agua en el suelo:

$$K_s = \frac{ADT - D_r}{ADT - AFA}$$

Donde  $ADT$  y  $AFA$  indican el agua disponible total y el agua fácilmente aprovechable, respectivamente expresada en [mm/m];  $D_r$  el agotamiento al final del día, donde se debe cumplir que  $D_r > AFA$  para el cálculo de  $K_s$ , de lo contrario será igual a 1. Finalmente, el cálculo de  $D_r$  —como resultado del balance hídrico diario— se determinó a través de la expresión:

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P - RO)_i - l_i - CR_i - ET_{c,i} + DP_i$$

Donde  $D_{r,i-1}$  indica el agotamiento al final del día anterior [mm];  $P_i$  la precipitación [mm];  $RO_i$  el escurrimiento [mm], calculado sólo cuando se presenta  $P_i (RO_i = P_i - D_{r,i}, D_{r,i} > P_i)$ ;  $l_i$  como lámina media de riego infiltrada, que para este caso es  $l_i = 0$ , dado que el manejo cultural del cultivo es realizado en su mayoría en seco;  $CR_i$  el ascenso capilla que es igual a 0, dado que la capa freática en los tres sitios está por debajo de 1 m; y  $DP_i$  que es percolación profunda, asumiendo que la expresión  $DP_i (P - RO)_i - ET_{c,i} + D_{r,i-1} \geq 0$ .

Se considera que el suelo se encuentra a capacidad de campo al inicio del balance. No se considera el riego, ya que el objetivo es inducir el estrés hídrico y su impacto en la pérdida acumulada en la productividad por efecto del déficit hídrico, similar al manejo realizado localmente.

### Determinación de la productividad-rendimiento

A continuación, se describe la función de productividad (Allen *et al.*, 2006; Doorenbos y Kassam, 1979):

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left[ 1 - K_{y,i} \left( 1 - \frac{ET_{c,aj,i}}{ET_{c,i}} \right) \right]$$

Donde:  $K_y$  se refiere al factor del efecto sobre el rendimiento;  $Y_a$  y  $Y_m$  a la productividad real y máxima del cultivo;  $ET_c$  a la evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar, o sea sin estrés hídrico;  $ET_{c,aj}$  a la evapotranspiración real (ajustada) del cultivo;  $i = 1 \dots n$ , etapa del cultivo en día.

## Resultados

En el cuadro 3 se presentan los valores promedio mensuales correspondientes a las variables de precipitación  $P$ , evapotranspiración del cultivo de referencia  $ET_o$ , temperatura máxima  $T_x$  y temperatura  $T_n$  en el periodo comprendido de 2010 a 2019; De la misma

forma, la figura 2 resume las condiciones climáticas, mes a mes a partir de enero de 2010 a diciembre de 2019 en las áreas de análisis de las estaciones meteorológicas: Motilonia (Codazzi, Cesar), Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar) y Turipaná (Cereté, Córdoba).

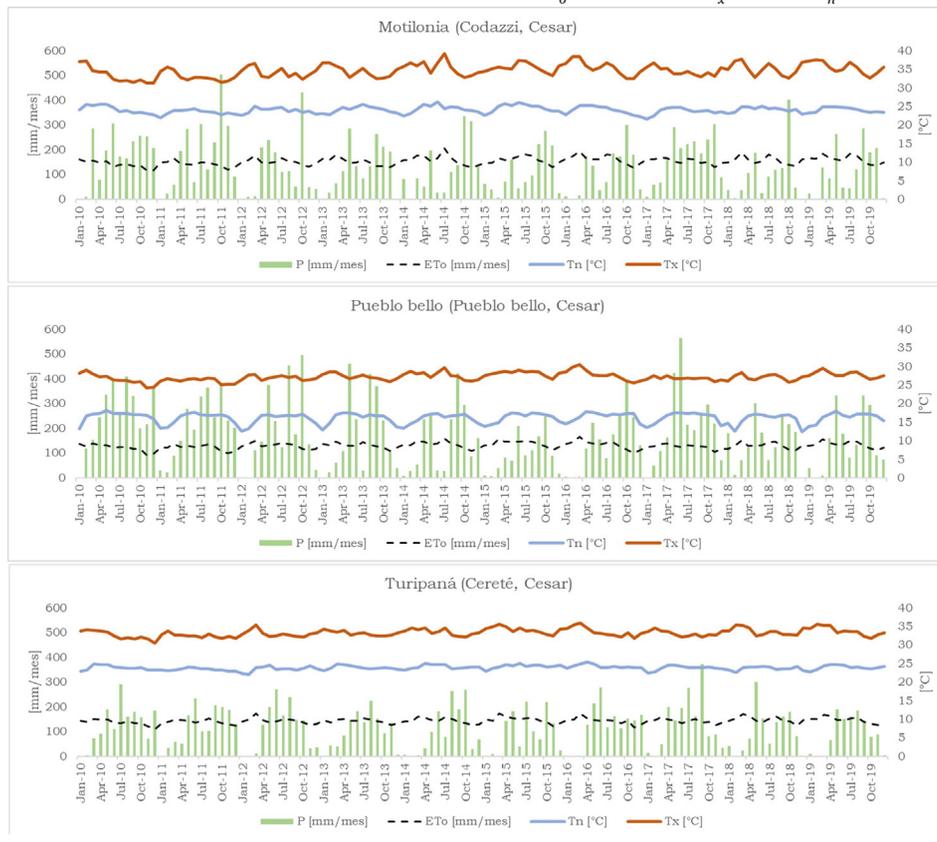
Cuadro 3

Valores promedio mensuales de las variables precipitación  $P$ , evapotranspiración del cultivo de referencia  $ET_o$ , temperatura máxima  $T_x$  y temperatura  $T_n$  en el periodo 2010-2019

Promedio (2010-2019)	Estación meteorológica		
	Motilonia	Pueblo Bello	Turipaná
$P$ [mm]	134.5 ± 108.8	172.6 ± 133.6	111.5 ± 86.0
$ET_o$ [mm]	154.5 ± 16.3	130.4 ± 13.1	143.9 ± 11.6
$T_x$ [°C]	34.7 ± 1.8	27.2 ± 1.1	33.3 ± 1.0
$T_n$ [°C]	24.1 ± 0.9	16.2 ± 1.4	23.9 ± 0.6

Figura 2

Condiciones meteorológicas para las estaciones Motilonia, Pueblo Bello y Turipaná, periodo 2010-2019, para la  $P$  [mm/mes],  $ET_o$  [mm/mes],  $T_x$  [°C] y  $T_n$  [°C]



Por otra parte, el resultado del análisis se expresa en función del porcentaje de la PAPR, que indica el descenso la productividad-rendimiento del cultivo por efecto del estrés hídrico a lo largo del ciclo productivo, esto se observa en la figura 3 para las áreas de influencia de las estaciones meteorológicas: Motilonia, Pueblo Bello y Turipaná. Asimismo, se incluye la precipitación acumulada a lo largo del ciclo del cultivo (Pa), utilizada para comparar la PAPR con el volumen de agua utilizado por la planta.

Figura 3

Pérdida acumulada de productividad-rendimiento [PAPR%] y precipitación acumulada [Pa mm/ciclo] para los ciclos de cultivo entre 2010-2019 de frijol variedad AGROSAVIA rojo 43



Finalmente, en el cuadro 4 se observa el resultado de la correlación entre el promedio mensual de la PAPR y el ONI a nivel sincrónico hasta el rezago 6, que equivale a un periodo de seis meses. El valor más alto de correlación se presentó a nivel sincrónico en Pueblo Bello con 0.25 (p-valor = 0.006). Sin embargo, estos valores disminuyen a medida que aumenta el rezago, hasta el periodo 5, donde ya no es estadísticamente significativa la correlación, lo que indica un evidente debilitamiento de la asociación entre la PAPR y el ONI. De la misma forma, Motilonia y Turipaná presentan los mayores valores

de correlación a nivel sincrónico, pero menores en comparación a los presentados por Pueblo Bello (0.14 en ambos casos). No obstante, estos valores no son estadísticamente significativos.

### Cuadro 4

Coefficiente de correlación ( $r$ ) entre la pérdida acumulada de productividad-rendimiento [PAPR] promedio mensual y el índice oceánico El Niño [ONI]

Rezago (Mes)	Estación meteorológica					
	Motilonia		Pueblo Bello		Turipaná	
	( $r$ )	(p-valor)	( $r$ )	(p-valor)	( $r$ )	(p-valor)
Sincrónico	0.14	(0.138)	0.25	(0.006)	0.14	(0.128)
Rezago 1	0.12	(0.190)	0.25	(0.006)	0.13	(0.159)
Rezago 2	0.10	(0.293)	0.23	(0.011)	0.11	(0.227)
Rezago 3	0.07	(0.463)	0.20	(0.032)	0.09	(0.346)
Rezago 4	0.05	(0.627)	0.16	(0.084)	0.06	(0.502)
Rezago 5	0.04	(0.699)	0.13	(0.162)	0.04	(0.659)
Rezago 6	0.04	(0.706)	0.11	(0.261)	0.02	(0.808)

## Discusión

### Condiciones meteorológicas

El volumen de  $P$  reveló en promedio ser más alto en Pueblo Bello ( $172.6 \pm 136.6$  mm/mes), comparado con Motilonia ( $134.5 \pm 108.0$  mm/mes) y Turipaná ( $111.5 \pm 86.0$  mm/mes). Por el contrario, la  $ET_o$  fue menor en Pueblo Bello ( $130.4 \pm 13.1$  mm/mes), que en Motilonia ( $154.5 \pm 16.3$  mm/mes) y Turipaná ( $143.9 \pm 11.6$  mm/mes). En cuanto a la temperatura del aire, Motilonia y Turipaná presentaron mayores valores de  $T_x$  (Motilonia:  $34.7 \text{ °C} \pm 1.8$  y Turipaná:  $33.3 \text{ °C} \pm 1.0$ ) y  $T_n$  (Motilonia:  $24.1 \text{ °C} \pm 0.9$  y Turipaná:  $23.9 \text{ °C} \pm 0.6$ ). Los tres sitios del área de estudio se caracterizan por contar con lluvias en nueve de los 12 meses del año, con excepción del periodo entre enero a marzo, donde la escasez de nubosidad genera un aumento de la amplitud térmica (diferencia entre  $T_x$  y  $T_n$ ); por lo tanto, mayor evapotranspiración (Allen *et al.*, 2006; Núñez-González *et al.*, 2019). Los tres lugares presentan el mayor volumen de lluvias en los meses de abril y octubre, cuando la  $ET_o$  se reduce. Si bien estas zonas presentan una similar distribución anual de lluvias, el piso térmico, la cercanía al mar y la pertenencia de Motilonia y Pueblo Bello a la subregión del Caribe seco, y Turipaná al Caribe húmedo implican diferencias en las condiciones de adaptación y en la productividad-rendimiento de la variedad AGROSAVIA rojo 43.

### Análisis de productividad-rendimiento

Cómo se observa en la figura 3, existe un comportamiento inverso entre la *PAPR* y la *Pa*. En promedio, la *PAPR* en Turipaná ( $10.3 \pm 10.1$  %) es más alta que en Motilonia ( $9.5 \pm 8.9$  %) y Pueblo Bello ( $7.4 \pm 8.8$  %), mientras la *Pa* en promedio es mayor en Pueblo Bello ( $390.4 \pm 245.7$  mm/ciclo) que en Motilonia ( $305.1 \pm 184.9$  mm/ciclo) y Turipaná ( $253.4 \pm 155.8$  mm/ciclo). Los mayores valores de *PAPR* se observaron en 2010, 2011 y 2017, donde alcanzan 25% (2010), 30% (2011) y 20% (2017), para Motilonia, Pueblo Bello y Turipaná, respectivamente, años donde se presentaron eventos de El Niño de categoría moderada y débil (CPC-NOAA, 2022).

Una de las ventajas importantes de la variedad AGROSAVIA rojo 43 es la capacidad adaptativa a condiciones de fuerte estrés hídrico imperantes en el Caribe seco colombiano (Cordero *et al.*, 2018). Por ello, reducciones de rendimiento de 30% se consideran aceptables, ya que para el frijol común se pueden esperar hasta de 40% (Darkwa *et al.*, 2016), sobre todo en suelos con deficiencias nutricionales y temperaturas diurnas y nocturnas altas a lo largo del ciclo del cultivo (Sofi *et al.*, 2021), como ocurre en Motilonia y en menor medida en Turipaná. En Motilonia y Turipaná con un rendimiento observado de 0.45 y 0.8 t/ha, respectivamente, por debajo de la media que reporta FAO (2020) para Latinoamérica [1.02 t/ha]; las condiciones ambientales inciden en el rendimiento, caso contrario en Pueblo Bello con un rendimiento de 1.4 t/ha, valor superior a la media para las américas. Sin embargo, tal como lo señala Tofiño *et al.* (2016), los suelos de estas zonas (Motilonia y Turipaná) presentan problemas de desertificación, lo que hace necesario el desarrollo de variedades que sean resistentes a la mayor recurrencia de déficits hídricos prolongados.

### Relación con ENOS

La manifestación de ENOS (El Niño/La Niña), como un fenómeno a escala global con impactos diferenciados a nivel local (Trenberth, 1997), se acentúan en el sector agrícola, debido a la sensibilidad inherente a los efectos adversos o eventos extremos. Como consecuencia directa, el déficit o el exceso hídrico en el suelo, provoca pérdidas en la productividad del cultivo (IICA, 2015), lo que implica una búsqueda de alternativas manejo tecnológico que atenúen los efectos negativos.

En tal sentido, para el caso de Motilonia, Pueblo Bello y Turipaná, la evaluación de la asociación entre el ONI y la *PAPR* arrojó como resultado que la correlación más alta se presenta a nivel sincrónico, siendo estadísticamente significativa sólo para Pueblo Bello (0.25, p-valor = 0.006). Así mismo, los valores de correlación descienden de forma progresiva, corroborando que el efecto se va diluyendo con el tiempo.

No hay duda de los impactos del ENOS sobre el Caribe colombiano: disminución de la precipitación y la humedad del suelo, y reducción de la actividad vegetal expresada en el proceso de fotosíntesis durante El Niño, mientras en La Niña ocurre lo contrario (Poveda, 2004). De igual modo, ENOS afecta de forma fuerte sobre el primer y último trimestre del año (IDEAM y UNAL, 2018). No obstante, a pesar de dicha relación, el resultado obtenido del proceso de correlación entre el ONI (indicador de ENOS) y la *PAPR* señala una asociación débil, por lo cual es posible que sea más fuerte con la

temporada estacional de lluvias; por ello, es importante que se mejore la capacidad de los agricultores para determinar las mejores fechas de siembra y así lograr rendimientos cercanos al potencial de la variedad, una adecuada poscosecha y una sobresaliente calidad del grano con características nutricionales relevantes que aporten a la seguridad alimentaria de las comunidades.

## Conclusiones

Las tres zonas que comprenden el área de estudio presentan características biofísicas y climáticas que conllevan diferencias notables en la productividad-rendimiento de la variedad de frijol AGROSAVIA rojo 43. El mayor rendimiento se da en Pueblo Bello, debido a que las características agroclimáticas en esta zona son óptimas para el ciclo de cultivo. Los valores obtenidos de las modelaciones muestran un bajo rendimiento de la variedad AGROSAVIA rojo 43 en Motilonia y Turipaná, lo que es compensado por la tolerancia condiciones de estrés hídrico.

Al término de los análisis realizados, se logró determinar que existe una débil asociación entre PAPR y el ONI, lo cual se encuentra estrechamente relacionado con la variable correspondiente a la localidad objeto de este estudio. Cabe resaltar que este análisis permitió contar con herramientas tecnológicas para ajustar los periodos de siembra de modo que se logre mayor productividad-rendimiento en zonas donde se presentan condiciones agroclimáticas adversas, garantizando así la producción del frijol.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA por el apoyo técnico, a KoLFACI por la cofinanciación del proyecto *Estrategia: Implementación del frijol biofortificado para los programas de seguridad alimentaria del Cesar*.

## Literatura citada

- AGRONET. (2022). Estadísticas Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx>. (Consultada el 2 de octubre de 2022)
- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de agua de los cultivos*. Estudio FAO de riego y drenaje No. 56. En FAO. <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>. (Consultada el 11 de mayo de 2021)
- Argaw, A. y Akuma, A. (2015). Rhizobium leguminosarum bv. viciae sp. inoculation improves the agronomic efficiency of N of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Environmental Systems Research*. 4(1): 1-13. <https://doi.org/10.1186/S40068-015-0036-Z>
- Beebe, S. (2012). Common Bean Breeding in the Tropics. *Plant Breeding Reviews*. 36(1): 357-426. <https://doi.org/10.1002/9781118358566.CH5>
- Botero, H. y Barnes, A.P. (2022). The effect of ENSO on common bean production in Colombia: a time series approach. *Food Security*. 14(6): 1417-1430. <https://doi.org/10.1007/S12571-022-01290-Z/TABLES/4>
- Cordero, C.C.; Rozo, Y.; Tamayo, P.J.; de Oro, R.; Salgado, G. y Tofiño, A.P. (2018). *Características varietales y desempeño agronómico de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 43 en el Caribe seco colombiano*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34645>. (Consultada el 20 de septiembre de 2022)

- Climate Prediction Center (CPC) - National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2022). *Oceanic Niño Index (ONI) - Cold & Warm Episodes by Season*. [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php) (Consultado el 2 de septiembre de 2022)
- Darkwa, K.; Ambachew, D.; Mohammed, H.; Asfaw, A. y Blair, M.W. (2016). Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for drought stress adaptation in Ethiopia. *The Crop Journal*. 4(5): 367-376. <https://doi.org/10.1016/J.CJ.2016.06.007>
- Doorenbos, J. y Kassam, A.H. (1979). Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 33*.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *FAOSTAT*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize> (Consultado el 10 de noviembre de 2022)
- Heinemann, A.B.; Ramirez-Villegas, J.; Stone, L.F. y Didonet, A.D. (2017). Climate change determined drought stress profiles in rainfed common bean production systems in Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*. 246: 64-77. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2017.06.005>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y Universidad (UNAL). (2018). *La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia*. (Consultada el 10 de enero de 2023) <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2015). *Aportes técnicos. El fenómeno de El Niño y la agricultura latinoamericana 1*. <http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/2992/BVE17068910e.pdf;jsessionid=D6E80E1841F1FB8A75EB99C64E2F36E6?sequence=1>. (Consultada el 10 de noviembre de 2022)
- Ilunga, M.; Assani, M.; Ilunga, M. y Kanyenga, A. (2017). Responses of some genotypes of bio-fortified climbing common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to the climatic conditions of three agro-ecological zones, southern DR Congo. *Net Journal of Agricultural Science*. 5(2): 79-84.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2012). *Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático Publicado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático Edición a cargo de Resumen par* (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ed.). IPCC. [https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/IPCC\\_SREX\\_ES\\_web.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/IPCC_SREX_ES_web.pdf) (Consultado el 10 de noviembre de 2022).
- Israelsen, O.W. y Hansen, V.E. (2010). *Principios y aplicaciones del riego* (3a ed.). España: Editorial Reverte. 354 pp.
- Núñez-González, G.; Velázquez-Pérez, D.; Pelayo-Cortés, F.J.; Barboza-Jiménez, P. (2019). Análisis del comportamiento de la evapotranspiración de referencia durante el periodo de lluvias en cinco estaciones meteorológicas de la cuenca Lerma-Chapala. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*. 11(2): 147-159. <https://doi.org/10.5154/R.INAGBI.2018.06.014>
- Paulhus, J.L.H. y Kohler, M.A. (1952). Interpolation of missing precipitation records. *Monthly Weather Review*. 80(8): 129-133. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1952\)080<0129:IOMPR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1952)080<0129:IOMPR>2.0.CO;2)
- Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diaria. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 28(107): 201-222. [http://www.accefyn.com/revista/Vol\\_28/107/201-222.pdf](http://www.accefyn.com/revista/Vol_28/107/201-222.pdf)
- Resende, R.T.; de Resende, M.D.V.; Azevedo, C.F.; Silva, F.F.E.; Melo, L.C.; Pereira, H.S.; Souza, T.L.P.O.; Valdissier, P.A.M.R.; Brondani, C. y Vianello, R.P. (2018). Genome-Wide Association and Regional Heritability Mapping of Plant Architecture, Lodging and Productivity in *Phaseolus vulgaris*. *G3 Genes | Genomes | Genetics*. 8(8): 2841-2854. <https://doi.org/10.1534/G3.118.200493>
- Ríos, J.L.; Torres, M.; Torres, M.A. y Cantú, J.E. (2017). Eficiencia y productividad del cultivo de frijol en un sistema de riego por bombeo en Zacatecas, México. *Ciencia Ergo Sum*. 24(2): 152-163. <https://www.redalyc.org/journal/104/10450491007/html/>
- Ríos, D.K.; Viteri R., S.E. y Delgado H., H. (2014). Evaluación agronómica de líneas avanzadas de frijol voluble *Phaseolus vulgaris* L. en Paipa, Boyacá. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 31(1): 42-54. <https://doi.org/10.22267/RCIA.143101.39>
- Rozo, Y.; Tofiño, A.P.; Gómez-Latorre, D.A.; Gómez, L.F. y Tamayo, P.J. (2018). *Modelo productivo de frijol para el Caribe seco colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGRO-SAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.modelo.7402643>

- Sierra-Monroy, J.A.; Burbano-Figueroa, O.; Grandett-Martinez, L.M.; Rodríguez-Pinto, M. del V.; Tordecilla-Zumaque, L. y Rubiano-Rodríguez, J.A. (2021). Resistencia de cultivares de berenjena (*Solanum melongena* L.) a *Tetranychus ludeni* (Acari: Tetranychidae). *Agronomía Mesoamericana*. 32(2): 452-465. <https://doi.org/10.15517/am.v32i2.42079>
- Sofi, P.A.; Rehman, K.; Gull, M.; Kumari, J.; Djanaguiraman, M. y Prasad, P.V.V. (2021). Integrating root architecture and physiological approaches for improving drought tolerance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Physiology Reports*. 26(1): 4-22. <https://doi.org/10.1007/S40502-021-00570-8/TABLES/2>
- Tofiño, A.P.; Rozo, Y.; Gómez-Latorre, D.A.; Gómez, L.F. y Tamayo, P.J. (2018). *Modelo productivo de frijoles para el Caribe húmedo colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7402650>
- Tofiño, A.P.; Velásquez, A.D. y Zapata, M.A. (2016). *Indicadores edafológicos del cultivo de frijol en el caribe seco colombiano: Una estrategia in situ*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/1983>
- Trenberth, K.E. (1997). The Definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 78(12): 2771-2777. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<2771:TDOENO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<2771:TDOENO>2.0.CO;2)
- Wilks, D.S. (2019). Chapter 3. Empirical Distributions and Exploratory Data Analysis. En D.S. Wilks, *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences* (pp. 23-75). UK: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815823-4.00003-1>
- Zebiak, S.E.; Orlove, B.; Muñoz, Á.G.; Vaughan, C.; Hansen, J.; Troy, T.; Thomson, M.C.; Lustig, A. y Garvin, S. (2015). Investigating El Niño-Southern Oscillation and society relationships. *Climate Change*. 6(1): 17-34. <https://doi.org/10.1002/wcc.294>

Recepción: 07 de octubre de 2022

Arbitraje: 23 de octubre de 2022

Dictamen: 21 de diciembre 2022

Aceptado: 25 de febrero 2023