




## MODELACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR ESCORRENTÍA EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR USANDO MODELOS LINEALES MIXTOS, PERÍODO II SEMESTRE 2019 – I SEMESTRE 2021

### MODELING SOIL LOSS DUE TO RUNOFF IN SUGARCANE CULTIVATION USING MIXED LINEAR MODELS, PERIOD II SEMESTER 2019 – I SEMESTER 2021

*Ruy Edeymar Vargas Díaz<sup>1</sup>*  
*Viviana Marcela Varón Ramírez<sup>2</sup>*  
*Juan Carlos Lesmes Suárez<sup>3</sup>*  
*Ayda Fernanda Barona Rodríguez<sup>4</sup>*  
*Jhon Mauricio Estupiñan Casallas<sup>5</sup>*  
*Clara Viviana Franco Florez<sup>6</sup>*

*(Recibido/received:28-septiembre-2023; aceptado/accepted: 30-noviembre-2023)*


**RESUMEN:** El uso de modelos lineales mixtos se ha utilizado en diferentes escenarios y puede tener potencial para describir la pérdida de suelos debido al agua de escorrentía. El objetivo del estudio fue utilizar los modelos lineales mixtos para modelar la pérdida de suelo por escorrentía en un cultivo de caña de azúcar en suelos con topografía de pendiente en dos condiciones de labranza. La variable respuesta fue la pérdida de suelo por escorrentía y las explicativas fueron la precipitación cuantificada como lámina total acumulada y semanas de desarrollo vegetativo de un cultivo de caña de azúcar (variedad CC 93 - 7711) para la producción de panela. Estos datos se tomaron de parcelas de escorrentía que se encontraban instaladas en el municipio de Vélez departamento de Santander (Colombia).


<sup>1</sup> Investigador Máster, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia/Centro de Investigación Tibaitatá. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, CP 250047. Mosquera/Cundinamarca, Colombia. [rvargas@agrosavia.co](mailto:rvargas@agrosavia.co).  <https://orcid.org/0000-0003-2609-4087> \_Autor de correspondencia (correo electrónico): Ruy Edeymar Vargas Díaz, [rvargas@agrosavia.co](mailto:rvargas@agrosavia.co).

<sup>2</sup> Investigador Máster, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia/Centro de Investigación Tibaitatá. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, CP

250047. Mosquera/Cundinamarca, Colombia. [vvaron@agrosavia.co](mailto:vvaron@agrosavia.co).  <https://orcid.org/0000-0002-4479-5795>


<sup>3</sup> Profesional de Apoyo a la Investigación, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia/Centro de Investigación Tibaitatá. sede CIMPA Km. 2

vía Antigua Cite, CP 684511, Barbosa/Santander, Colombia. [jlesmes@agrosavia.co](mailto:jlesmes@agrosavia.co).  <https://orcid.org/0000-0002-1322-2783>

<sup>4</sup> Investigador Máster, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia/Centro de Investigación Tibaitatá, sede CIMPA Km. 2 vía Antigua Cite, CP 684511, Barbosa/Santander, Colombia. [abarona@agrosavia.co](mailto:abarona@agrosavia.co).  <https://orcid.org/0000-0001-8487-2727>

<sup>5</sup> Investigador Máster, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia/Centro de Investigación Tibaitatá. Km.14 vía Mosquera - Bogotá, CP

250047. Mosquera/Cundinamarca, Colombia. [jmestupinan@agrosavia.co](mailto:jmestupinan@agrosavia.co).  <https://orcid.org/0000-0002-8782-7291>

<sup>6</sup> Profesional de Apoyo a la Investigación, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia/Centro de Investigación Tibaitatá. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, CP 250047. Mosquera/Cundinamarca, Colombia. [cfranco@agrosavia.co](mailto:cfranco@agrosavia.co).  <https://orcid.org/0000-0002-1311-5419>

Se encontró un modelo que se ajusta a la pérdida de suelos por agua de escorrentía con un coeficiente de determinación condicional para modelos lineales mixtos de 0,84.

**PALABRAS CLAVE:** Labranza; Lámina acumulada; Desarrollo vegetativo.

**ABSTRAC:** The use of linear mixed models has been used in different scenarios and may have potential to describe soil loss due to runoff water. The objective of the study was to use linear mixed models to model soil loss due to runoff in a sugarcane crop on soils with sloping topography in two tillage conditions. The response variable was the loss of soil due to runoff and the explanatory variables were precipitation quantified as total accumulated depth and weeks of vegetative development of a sugar cane crop (variety CC 93 - 7711) for panela production. These data were taken from runoff plots that were installed in the municipality of Vélez, department of Santander (Colombia). A model was found that fits the loss of soil due to runoff water with a conditional coefficient of determination for linear mixed models of 0.84.

**KEY WORDS:** Tillage; Cumulative sheet; Vegetative development

**ABREVIATURAS:**

AIC: criterio de información de Akaike

BIC: criterio de información bayesiano de Schwarz

LA: lámina total acumulada

MLM: modelos lineales mixtos.

PTS: pérdida total de suelo.

SDV: semanas de desarrollo vegetativo

T1: labranza reducida

T2: labranza convencional

## INTRODUCCIÓN

En diferentes estudios para la estimación de pérdida de suelo (Ghassan & Mohssen, 2018; Deog Park et al., 2012; Mohamadi & Kavian, 2015; Vacca et al., 2000; Jourgholami & Labelle, 2020), usan generalmente modelos de regresión múltiple teniendo en cuenta los efectos fijos. Los modelos mixtos a diferencia de las metodologías mencionadas permiten analizar datos que disponen de diferentes mediciones temporales para los individuos, y se facilita analizar los datos con información faltante, en estos modelos se pueden introducir factores aleatorios que tengan en cuenta las particularidades de cada uno de los individuos sin tener que estimar una gran cantidad de parámetros (Zea et al., 2014). La aplicación de modelos de efectos mixtos ha recibido mucha atención durante muchos años para predecir escenarios en los campos de las ciencias teóricas y aplicadas (Beroho et al., 2020).

El uso de modelos lineales mixtos (MLM) se ha utilizado en diferentes situaciones como para cuantificar nitrógeno y fósforo en agua de escorrentía en campos de arroz (Y. Wu et

al., 2020) y en temas relacionados con pérdida de suelo por lluvias (Lima et al., 2018), predicción del coeficiente de erodabilidad K (Beretta & Carrasco, 2017), efectos de coberturas vegetales en la erosión del suelo (Cerdà et al., 2017; Geissert et al., 2017), entre otros. Estos estudios demuestran el gran potencial que tiene el uso de MLM para modelar la pérdida de suelo debido al agua de escorrentía por eventos de lluvia.

Un modelo lineal mixto (MLM) puede escribirse de forma general matricial como (L. Wu, 2009):

$$y_i = X_i\boldsymbol{\beta} + Z_i\mathbf{b}_i + \mathbf{e}_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\mathbf{b}_i \sim N(0, D), \quad \mathbf{e}_i \sim N(0, R_i),$$

Donde  $\boldsymbol{\beta} = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)^T$  son los efectos fijos,  $\mathbf{b}_i = (b_{i1}, \dots, b_{iq})$  son los efectos aleatorios,  $X_i$  es una matriz  $n_i \times (p + 1)$  que contiene covariables de los individuos  $i$ ,  $Z_i$  es una matriz de diseño de  $n_i \times q$  ( $Z_i$  en ocasiones es una sub matriz de  $X_i$ ),  $\mathbf{e}_i = (e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{in_i})^T$  son errores aleatorios de las medidas dentro de los individuos,  $R_i$  es una matriz de varianza – covarianza de las mediciones dentro de los individuos de  $n_i \times n_i$ , y  $D$  es una matriz de varianza – covarianza de los efectos aleatorios. El cálculo de los parámetros del modelo generalmente se realiza por el método de máxima verosimilitud restringida (Laird & Ware, 1982) con sus siglas en inglés RMLM (restricted maximum likelihood method).

El propósito del presente estudio fue utilizar los modelos lineales mixtos, para modelar la pérdida de suelo por escorrentía en un cultivo de caña de azúcar en suelos con topografía de pendiente en dos condiciones de labranza.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el modelo se tendrá como variable respuesta la pérdida de suelo por escorrentía (PTS) en kilogramos por hectárea (kg/ha) y las variables explicativas serán la precipitación cuantificada como lámina total acumulada (LA) en mm y semanas de desarrollo vegetativo (SDV) del cultivo de caña de azúcar (variedad CC 93 - 7711) para la producción de panela. Estos datos se tomaron de parcelas de escorrentía que se encontraban instaladas en un terreno con una pendiente topográfica que corresponde a 12 %, siguiendo un modelo de efectos fijos de un factor con dos tratamientos donde se evaluó el método de labranza del suelo; T1 (labranza reducida donde se prepara el suelo únicamente con un pase de cincel rígido) y T2 (preparación convencional realizada por el agricultor que consiste en un pase de cincel rígido y dos pases de un arado de discos lisos). La información se tomó en un período de 77 SDV en el municipio de Vélez, departamento de Santander (Colombia).

Para el modelo de pérdida de suelo por escorrentía (PTS) se usaron modelos lineales mixtos (Ecuación 1). Los criterios de información de Akaike (AIC) y bayesiano de Schwarz (BIC) no son una prueba de hipótesis sobre el ajuste de un modelo sino un criterio paramétrico comparativo entre modelos y representa una herramienta para selección de modelos (Correa & Salazar, 2016). Se definen como:

*El Higo Revista Científica / Volumen 13. No. 02, pp. 27-37/ diciembre 2023*

$$AIC = -2\log Lik + 2k \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$BIC = -2\log Lik + k\log n, \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde  $\log Lik$  es el logaritmo de la máxima verosimilitud, que permite determinar los valores de los parámetros libres de un modelo estadístico,  $k$  es el número de parámetros estimados y  $n$  el número de observaciones que no son “missing” y que fueron usadas en el proceso de estimación. El modelo asociado al menor AIC (Ecuación 2) y BIC (Ecuación 3) se considera mejor entre aquellos que se ajustan. El AIC y BIC dice cuál de los dos modelos comparados es el mejor, pero no puede decir cuál es el mejor modelo para explicar los datos. La estimación de los criterios de información se hace en función de los datos experimentales, esta distancia es siempre relativa y dependiente del conjunto de datos. Por tanto, un valor individual de AIC y BIC no es interpretable por sí solo, y los valores AIC y BIC sólo tienen sentido cuando se realizan comparaciones utilizando los mismos datos experimentales (Martínez et al., 2009). Además, se calculó el coeficiente de determinación condicional para modelos lineales mixtos, que se interpreta como la varianza explicada por todo el modelo, incluido tanto efectos fijos y aleatorios y se calcula mediante (Barton & Barton, 2020):

$$R_{MLM}^2 = \frac{\sigma_f^2 + \sigma_\alpha^2}{\sigma_f^2 + \sigma_\alpha^2 + \sigma_\varepsilon^2} \quad (\text{Ecuación 4})$$

donde,  $\sigma_f^2$  es la varianza por los componentes de los efectos fijos,  $\sigma_\alpha^2$  es la varianza de los efectos aleatorios y  $\sigma_\varepsilon^2$  es la varianza del nivel de observación.

El análisis de los modelos lineales mixtos se realizó en el software estadístico R (Team, 2021), usando la función *lme* de la librería *nlme* (Pinheiro & Bates, 2000). Para los criterios de información se usará la función *AIC* y *BIC* de la librería *stats* (Team, 2021) y *flexmix* (Leisch, 2004). El coeficiente de determinación condicional se calculó con la función *r.squaredGLMM* de la librería *MuMIn* (Barton & Barton, 2020).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observa (figura 1) que la mayoría de los datos de PTS con respecto a LA, se encuentran concentrados en valores por debajo de 250 kg/ha de suelo con una tendencia no lineal. Para linealizar los datos se tomaron los logaritmos naturales de PTS, mostrando una mejor tendencia de los datos con respecto a LA (figura 2).

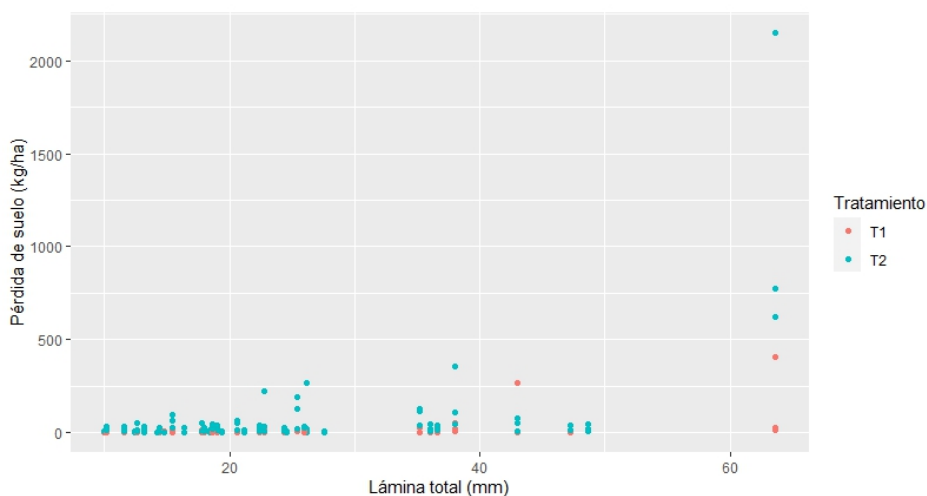


Figura 1. Dispersión de datos de pérdida del suelo con respecto a lámina total acumulada por precipitaciones. Tratamiento de labranza reducida (T1) y labranza convencional realizada por el agricultor (T2).

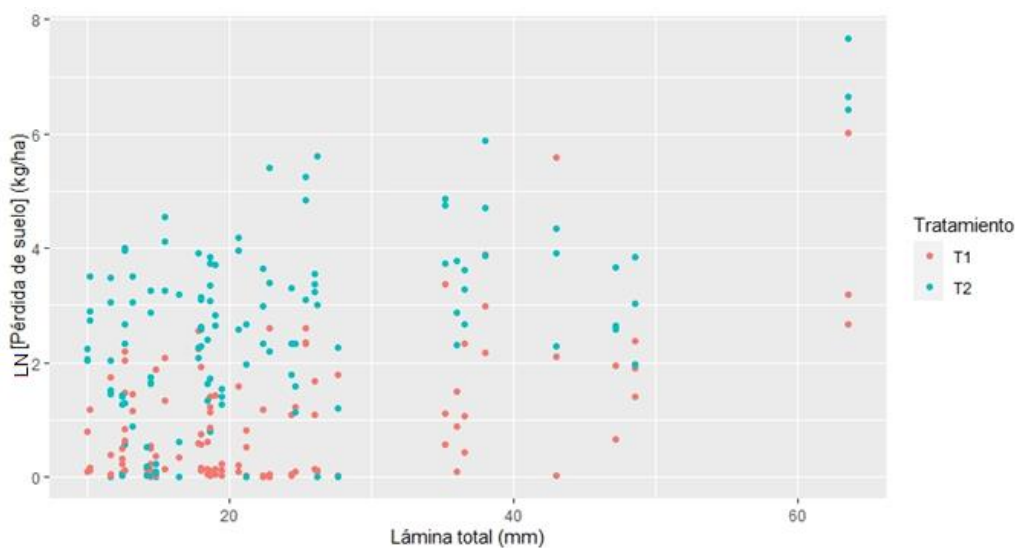


Figura 2. Dispersión de datos de logaritmo natural de la pérdida del suelo con respecto a lámina total acumulada por precipitaciones. Tratamiento de labranza reducida (T1) y labranza convencional realizada por el agricultor (T2).

Para los modelos lineales mixtos generados la variable semanas de desarrollo vegetativo (SDV) del cultivo de caña de azúcar para la producción de panela será aleatoria. Debido a que en el crecimiento de las plantas influyen factores que no se pueden controlar como la temperatura del ambiente, la humedad relativa, características químicas y físicas del suelo, etc. La edad del cultivo representada en SDV tiene un efecto sobre la pérdida del suelo en eventos de escorrentía por lluvias.

Los modelos de pérdida de suelo en función de la lámina total acumulada (LA) en mm y semanas de desarrollo vegetativo (SDV) que presentaron mejor ajuste en su forma general se expresan como:

$$\text{LN}(PTS)_{ij} = \alpha_i + \beta_i La + \tau_i T2 + b_j SDV + \epsilon_{ij} \quad \text{Modelo 1.}$$

$$\text{LN}(PTS)_{ij} = \alpha_i + \beta_i La + \tau_i T2 + b_j \text{LN}(SDV) + \epsilon_{ij} \quad \text{Modelo 2.}$$

$$\text{LN}(PTS)_{ij} = \alpha_i + \beta_i \text{LN}(La) + \tau_i T2 + b_j SDV + \epsilon_{ij} \quad \text{Modelo 3.}$$

Donde,  $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ ,  $b_j \sim N(0, \sigma_b^2)$

Los parámetros de los efectos fijos son  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\tau$ , mientras que para los efectos mixtos fueron  $b$  y  $\epsilon$ . En la tabla 3, se presenta el modelo con mejor ajuste y mejores valores de los criterios de información evaluados, es el modelo 2. En la figura 3, se observa la validez de modelo 2, comprobando el comportamiento lineal de los residuos (figura 3A) y no se visualiza una tendencia de los valores ajustados y residuos estandarizados (figura 3B).

Tabla 1. Valores de criterios de información de Akaike (AIC), bayesiano de Schwarz (BIC) y coeficiente de determinación condicional para modelos lineales mixtos ( $R^2_{MLM}$ ) para los tres modelos evaluados.

MODELO	AIC	BIC	$R^2_{MLM}$
1	813,22	837,84	0,65
2	810,31	834,94	0,84
3	816,61	841,23	0,63

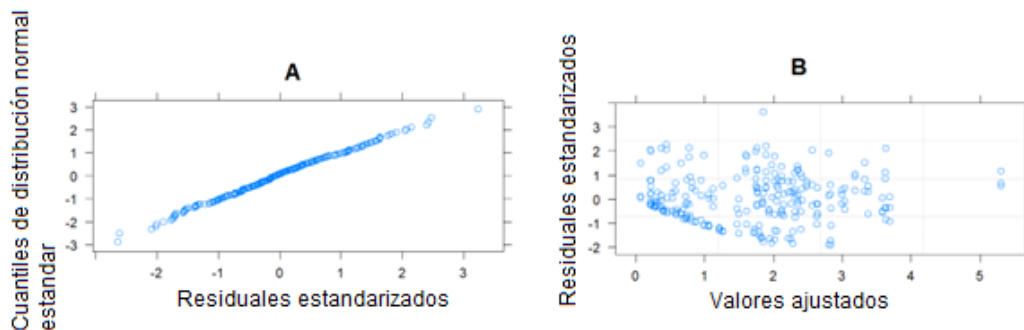


Figura 3. Gráficos de residuos estandarizados de cuantil-cuantil (A) y valores ajustados (B) para el modelo 2.

El modelo 2, de pérdida total de suelo (PTS) para los dos tratamientos evaluados, se expresa como:

$$\text{LN}(PTS) = 1,12 + 0,06La + 2,54\text{Tratamiento} + b_j\text{LN}(SDV), \quad \text{donde, } \epsilon_{ij} \sim N(0, 1,11^2), \\ b_j \sim N(0, 0,59^2).$$

Los valores predichos de  $b_j$  son:  $\widehat{b}_{T1} = -1,01 * 10^{-15}$  y  $\widehat{b}_{T2} = -1,61 * 10^{-15}$ , y para Tratamiento 1 es 0 (T1=0) y 1 para T2.

La PTS está influenciada en gran medida por el tipo de preparación del suelo, si se realiza en forma convencional (T2: un pase de cincel rígido y dos pases de arado de disco), esto aumenta en más de 2,5 la pérdida del suelo en comparación con el T1. Esto indica que si realiza la preparación del suelo usando sistemas de conservación como el propuesto (T1: labranza reducida con un pase de cincel rígido), es posible disminuir considerablemente la pérdida del suelo por efecto del agua de escorrentía generado por lluvias en terrenos con pendientes (12%).

Los valores negativos de  $b_j$  sugieren que entre más desarrollo tiene el cultivo, (mayor crecimiento de las plantas), la pérdida del suelo que se puede generar por agua de escorrentía se disminuye.

## CONCLUSIONES

El modelo  $\text{LN}(PTS) = 1,12 + 0,06La + 2,54\text{Tratamiento} + b_j\text{LN}(SDV)$ , donde,  $\epsilon_{ij} \sim N(0, 1,11^2)$ ,  $b_j \sim N(0, 0,59^2)$ , establece la pérdida de suelo en un cultivo de caña de azúcar desde su establecimiento hasta 77 semanas después de siembra, utilizando la información de precipitación (en lámina total acumulada).

Aunque el tiempo en que se tomaron los datos fue baja (77 semanas), se obtuvo un ajuste mayor a 0,8 (coeficiente de determinación condicional para modelos lineales mixtos).

Se recomienda que, en este tipo de estudios, se puedan tener ventanas de tiempo de medición más grandes y así poder obtener un modelo que tenga ajustes mayores a los encontrados en este estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR), por la financiación y a la Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (Agrosavia), por la ejecución del proyecto “Ajuste de tecnologías para el manejo de suelos, transporte aéreo de caña y extracción de jugo de caña para la industria panelera”, el cual pertenece al macroproyecto “Competitividad y sostenibilidad en la Producción de panela en Colombia” de la red de innovación de transitorios.

## REFERENCIAS

- Barton, K., & Barton, M. K. (2020). MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.43.17. *Version*, 1(1).
- Beretta-Blanco, A., & Carrasco-Letelier, L. (2017). USLE/RUSLE K-factors allocated through a linear mixed model for Uruguayan soils. *Ciencia e Investigación Agraria*, 44(1), 100–112. <https://doi.org/10.7764/rcia.v44i1.1622>
- Beroho, M., Briak, H., El Halimi, R., Ouallali, A., Boulahfa, I., Mrabet, R., Kebede, F., & Aboumaria, K. (2020). Analysis and prediction of climate forecasts in Northern Morocco: application of multilevel linear mixed effects models using R software. *Heliyon*, 6(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05094>
- Cerdà, A., Lucas Borja, M. E., Úbeda, X., Martínez-Murillo, J. F., & Keesstra, S. (2017). Pinus halepensis M. versus Quercus ilex subsp. Rotundifolia L. runoff and soil erosion at pedon scale under natural rainfall in Eastern Spain three decades after a forest fire. *Forest Ecology and Management*, 400. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.038>
- Correa Morales, J. C., & Salazar Uribe, J. C. (2016). *INTRODUCCIÓN A LOS MODELOS MIXTOS*. Universidad Nacional de Colombia.
- Deog Park, S., Song Lee, K., & Sook Shin, S. (2012). Statistical Soil Erosion Model for Burnt Mountain Areas in Korea—RUSLE Approach. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000441](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000441)
- Geissert, D., Mólgora-Tapia, A., Negrete-Yankelevich, S., & Hunter Manson, R. (2017). Effect of vegetation cover management on water erosion in shade coffee plantations. *Agrociencia*, 51(2).
- Ghassan Abdo, H., & Mohssen Hassan, R. (2018). A statistical spatial modeling of soil erosion: case study of Al-Sen basin, Tartous, Syria. *Environmental Geology*, 2(2), 68–74. <https://doi.org/10.14303/2591-7641.1000018>
- Jourgholami, M., & Labelle, E. R. (2020). Effects of plot length and soil texture on runoff and sediment yield occurring on machine-trafficked soils in a mixed deciduous forest. *Annals of Forest Science*, 77(1). <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00938-0>
- Laird, N. M., & Ware, J. H. (1982). Random-Effects Models for Longitudinal Data. *Biometrics*, 38(4). <https://doi.org/10.2307/2529876>
- Leisch, F. (2004). FlexMix: A general framework for finite mixture models and latent class regression in R. *Journal of Statistical Software*, 11. <https://doi.org/10.18637/jss.v011.i08>
- El Higo Revista Científica / Volumen 13. No. 02, pp. 27-37/ diciembre 2023*



- Lima, P. L. T., Silva, M. L. N., Quinton, J. N., Batista, P. V. G., Cândido, B. M., & Curi, N. (2018). Relationship among crop systems, soil cover, and water erosion on a typic Hapludox. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 42. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20170081>
- Martínez, D., Albín, J., Cabaleiro, J., Pena, T., Rivera, F., & Blanco, V. (2009). El Criterio de Información de Akaike en la Obtención de Modelos Estadísticos de Rendimiento. *Jornadas de Paralelismo*, 1(1), 439–444. <https://www.researchgate.net/publication/236279245>
- Mohamadi, M. A., & Kavian, A. (2015). Effects of rainfall patterns on runoff and soil erosion in field plots. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(4). <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.10.001>
- Pinheiro, J. C., & Bates, D. M. (2000). Mixed-Effects Models in S and S-Plus: Statistics and Computing. In *Mixed-Effects Models in S and S-PLUS*.
- Team, R. C. (2021). R: A Language and Environment for Statistical Computing. In *R Foundation for Statistical Computing*.
- Vacca, A., Loddo, S., Ollesch, G., Puddu, R., Serra, G., Tomasi, D., & Aru, A. (2000). Measurement of runoff and soil erosion in three areas under different land use in Sardinia (Italy). *Catena*, 40(1). [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00088-6](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00088-6)
- Wu, L. (2009). *Mixed Effects Models for Complex Data* (1st ed., Vol. 1). Chapman and Hall/CRC.
- Wu, Y., Huang, W., Zhou, F., Fu, J., Wang, S., Cui, X., Wang, Q., Bo, Y., Yang, S., Wang, N., Gu, X., Chen, J., & Zhu, J. (2020). Raindrop-induced ejection at soil-water interface contributes substantially to nutrient runoff losses from rice paddies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 304. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107135>
- Zea, J. F., Murcia, M. A., & Poveda, F. E. (2014). Modelos mixtos aplicados a la productividad de hojarasca. *Comunicaciones En Estadística*, 7(2). <https://doi.org/10.15332/s2027-3355.2014.0002.04>

## **SEMBLANZA DE LOS AUTORES**



*Ruy Vargas Díaz:* Ingeniero Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, con maestría en Bioestadística de la facultad de ciencias de la misma Universidad. Investigador Máster en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA sede Tibaitatá.

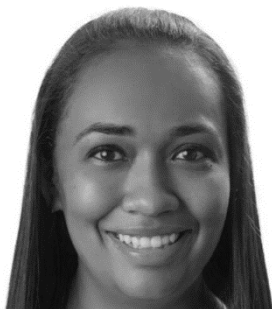


*Viviana Marcela Varón Ramírez:* Ingeniera Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia, con maestría en Ingeniera Agrícola. Investigadora Máster en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA sede Tibaitatá.



*Juan Carlos Lesmes Suárez:* Ingeniero Agrónomo, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Profesional de apoyo a la investigación en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA sede Cimpa.

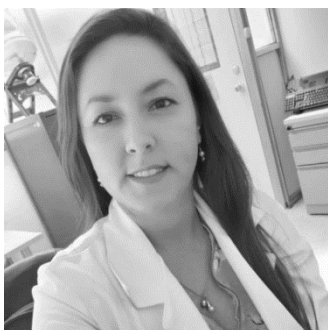
*Ruy E. Vargas D.; Viviana M. Varón R.; Juan C. Lesmes S.; Ayda F. Barona R.; Jhon M. Estupiñan C.; Clara V. Franco F.*



*Ayda Fernanda Barona Rodríguez:* Ingeniera Agrónoma con maestría en Ciencias Agrarias. Investigadora Máster en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA sede Cimpa.



*Jhon Mauricio Estupiñan Casallas:* Ingeniero agrícola y magíster en Ingeniería de recursos hidráulicos. Investigador Máster en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA sede Tibaitatá.



*Clara Viviana Franco Florez:* Ingeniera Biotecnóloga de la Universidad Francisco de Paula Santander. Profesional de apoyo a la investigación en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA sede Tibaitatá.