

# **Análisis de los factores atmosféricos que influyen en la humedad del suelo en zonas de cultivo de la empresa Geoagro en San José de la Montaña, Heredia, Costa Rica.**

Stephanie Vega López<sup>1</sup>, Luis Felipe Montero González<sup>1</sup>, Emanuel Jiménez Cubero<sup>1</sup>

stephanie.vegalopez@ucr.ac.cr, luisfelipe.montero@ucr.ac.cr  
,emanuel.jimenezcubero@ucr.ac.cr

## **RESUMEN**

En economías agrícolas como la de Costa Rica, la humedad del suelo resulta crucial para el éxito de los cultivos, impactando la producción, comercialización y exportación. Este trabajo explora cómo factores atmosféricos como lluvia, velocidad del viento, temperatura ambiente, temperatura del suelo y tensión del suelo afectan el promedio semanal de humedad del suelo. Utilizando un modelo de regresión lineal múltiple con Mínimos Cuadrados Ponderados y coeficientes estandarizados, se identifica la variable de mayor impacto junto a su intervalo de confianza. Se concluye que la tensión del suelo semanal tiene la mayor influencia en el porcentaje promedio semanal de humedad en los cultivos de Geoagro en San José de la Montaña, Heredia, Costa Rica.

**PALABRAS CLAVE:** Modelo de regresión lineal múltiple, nivel de humedad, cultivos

## **INTRODUCCIÓN**

La floricultura permite tener un crecimiento económico en los países ante las exportaciones de la producción, en el caso de Costa Rica este crecimiento le ha posicionado en los primeros puestos a nivel latinoamericano en exportación de plantas, flores y follajes, según la Presidencia de la República de Costa Rica (2020). Es importante para la calidad de los productos exportados conocer los factores asociados de los cuales depende su producción exitosa tal como la humedad presente en el suelo.

Las plantas, al estar en contacto directo con el suelo, se exponen a varios factores ambientales como temperatura, aire y agua. Esta última, al ser transportadora de nutrientes y oxígeno, adquiere una relevancia crucial. Según Cherlinka (2020), mantener niveles óptimos de humedad en el suelo es esencial para el desarrollo adecuado de las plantas y el rendimiento de los cultivos. Además, incide en decisiones, optimización de recursos, ahorro económico, rendimiento mejorado y uso eficiente del agua. Por ello, comprender los factores que influyen en la humedad del suelo es fundamental. Este estudio amplía el entendimiento de los determinantes de la humedad del suelo y busca impactar en la optimización de recursos y técnicas de plantación.

---

<sup>1</sup> Estudiantes de Estadística de la Universidad de Costa Rica

En relación con la humedad del suelo, Cutillas, Barberá y García (2015) la abordan desde una perspectiva geográfica. Utilizan un modelo que estima la humedad del suelo basándose en factores como el relieve, la vegetación, los minerales en el suelo, su tipo, radiación y precipitación, entre otros. Este estudio concluye que las variables predictoras más significativas son el tipo de relieve, la vegetación y la altitud.

A nivel nacional, estudios con modelos lineales han buscado determinar las variables más vinculadas a la humedad del suelo. Palominos, Villatoro, Alvarado, Cortés y Paguada (2021) encontraron que, en Llano Brenes de Costa Rica, las variables predominantes fueron temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad del viento y lluvia acumulada.

Esta investigación busca relacionar factores atmosféricos como la precipitación, temperatura del suelo y velocidad del viento con el porcentaje de humedad en el suelo presente en las áreas de cultivo de Geoagro en San José de la Montaña, Heredia, Costa Rica.

Con base en lo previamente expuesto y en los estudios de otros autores, es plausible que las variables predictoras con una fuerte y positiva asociación a la humedad del suelo sean la intensidad de la precipitación y la velocidad del viento. Esto se apoya en Palominos et al. (2021), donde se destacó su influencia en los niveles de humedad. Asimismo, se anticipa una relación menos marcada entre la temperatura del suelo, la tensión del suelo y la humedad.

Por tanto, el objetivo principal es analizar los factores ambientales que afectan el porcentaje de humedad del suelo. Se busca identificar las variables más influyentes y explicativas, además de reconocer influencias negativas si las hay. El fin es estimar la humedad del suelo con precisión, proporcionando una herramienta para las decisiones en Geoagro en San José de la Montaña, Heredia, Costa Rica.

## **METODOLOGÍA**

La investigación se desarrolla con 66 datos recolectados mediante la plataforma Smart Data System (ver figura 1 en Anexos) la cual permite almacenar en la nube la información que proviene de diferentes sensores del dispositivo marca Libelium modelo Waspmote Plug & Sense (ver figura 1 en Anexos) . El dispositivo se encuentra ubicado en las fincas productoras de flores Geoagro en San José de la Montaña, en Barva de Heredia Costa Rica, perteneciente a la región del Valle Central de Costa Rica.

Para este estudio se toman en cuenta los datos almacenados de la semana 32 del 2021 a la semana 44 del 2022, los cuales son utilizados en su totalidad, la unidad de observación es la semana, ya que se toma el promedio semanal.

Los factores por considerar en el análisis son: humedad del suelo, intensidad de la lluvia, velocidad del viento, temperatura del suelo, tensión del agua en el suelo, temperatura y humedad ambientales las cuales se toman como el promedio semanal, la información de cada variable se detalla en la Tabla 1.

**Tabla 1***Información sobre variables (en promedios semanales) del estudio.*

Variable	Medida	Simbología	Rango de variación
Cantidad de lluvia	Milímetros	mm/día	Promedio anual: 2820 mm, 120 días lluviosos.
velocidad del viento	Kilómetros	Km/hora	3.0 km/h en días tranquilos, 6.4 km/h en días ventosos.
Temperatura del suelo	Grados centígrados.	C°	No posee un rango específico.
Tensión del suelo.	Bares.	cBar	No posee un rango específico.
Temperatura ambiental	Grados centígrados.	C°	De 10 a 21 grados centígrados.
Humedad del ambiente.	Porcentaje	%	Entre 0% y 100% (mayor a 100% inclusive).
Humedad del suelo.	Porcentaje	%	Entre 0% y 100% (mayor a 100% inclusive).

Los rangos de variación utilizados en el estudio son establecidos de acuerdo con la información de Solano y Villalobos (2001) al ser un estudio sobre una zona específica los rangos se encuentran relacionados a un punto geográfico específico ubicado en las coordenadas de GPS: latitud 10.0431688 y longitud -84.1212215 donde se encuentran los cultivos de la empresa Geoagro.

Se crea un modelo de regresión lineal múltiple que cuenta con las seis variables predictoras mencionadas en la Tabla 1 con el fin de analizar el porcentaje de humedad en el suelo presente en las zonas de cultivo de la empresa Geoagro en San José de la Montaña, Heredia. El modelo de regresión teórico inicial con variables en promedios semanales para utilizar es el siguiente:

$$\mu_{Y|X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6;$$

donde:

$Y$  = Porcentaje de humedad en el suelo;  $X_1$ : Intensidad de la lluvia;  $X_2$ : Temperatura del suelo;

$X_3$ : Velocidad del viento;  $X_4$ : Tensión del agua en el suelo;  $X_5$ : Temperatura ambiental;

$X_6$ : Humedad ambiental.

Primeramente, se analiza si existen correlaciones entre la variable respuesta y cada una de las variables predictoras de manera gráfica con un correlograma. Ante la presencia de multicolinealidad se analiza el factor de inflación de la varianza de un modelo inicial que incluye todas las variables del estudio y se elimina la variable en la cual su factor se encuentre por encima de 10 tomando en cuenta la recomendación de Kleinbaum, Kupper, Muller y Nizam (2013).

Posteriormente, se evalúan los supuestos de normalidad mediante un gráfico de residuales del modelo, esto permite comparar la distribución del conjunto de datos, como lo indican Castillo y Aguilera (2007) y el supuesto de homocedasticidad mediante el gráfico de la distribución de los

errores, además de la prueba formal Breusch Pagan  $x^2 = \frac{SCReg}{2} \div \left(\frac{SCE}{n}\right)^2$ , este gráfico se analiza bajo la hipótesis nula de que la varianza condicional de la humedad del suelo (porcentaje promedio semanal) es la misma para cada valor de las variables explicativas del modelo (Zaman, 2000).

Para el análisis de linealidad se realiza el gráfico de residuales parciales  $\varepsilon_{ij} = \varepsilon_i + \beta_j x_{ij}$ . Al no encontrar linealidad se realizan las transformaciones necesarias para asegurar el cumplimiento del supuesto (Rodríguez y Mora, 2001). En cuanto a la homocedasticidad se observa el gráfico de residuales parciales y al no existir varianzas iguales se procede a aplicar mínimos cuadrados ponderados (MCP) en el cual se establece un valor de pesos calculados como  $w = \frac{1}{s^2}$  donde s= los valores ajustados del modelo de residuales absolutos contra los predictores que poseen forma de megáfono, este método se utiliza siguiendo la recomendación de Valverde y Valverde (2006).

Al trabajar con datos de tiempo como son las semanas, se procede a analizar la presencia de independencia de los errores, mediante la prueba de Breusch Godfrey, la cual nos permite analizar la correlación serial de orden mayor a 1 (Rois, Basak, Rahman y Majumder, 2012). Seguidamente, se procede mediante el criterio de información (AKAIKE) a seleccionar el modelo final del estudio. De esta forma se obtiene un modelo que explique mejor los datos con el mínimo número de parámetros, lo cual ayuda a tratar el incumplimiento del supuesto de independencia de los errores (Gómez, Verena, García, y Navarro, 2012).

Finalmente, se realiza la validación del modelo de regresión mediante la técnica de Bootstrap, debido a que esta técnica proporciona estimaciones del error (Solanas y Olivera, 1992).

Para llevar a cabo las técnicas estadísticas necesarias en el análisis planteado se utiliza el programa informático R versión 4.2.0, además de los paquetes car (Fox y Weisberg, 2019) y ggcorrplot (Kassambra, 2019). Para la creación del modelo y estimaciones pertinentes se utilizan lmtest (Zeileis y Hothorn, 2002) y MASS (Venables y Ripley, 2002), por último, para la verificación del modelo se usa el paquete boot (Canty y Ripley, 2021).

Para la investigación se cuenta con el apoyo del ingeniero agrónomo Geovanni Ruiz Blanco experto en el tema del cultivo de la empresa Geoagro.

## RESULTADOS

Inicialmente, se observa una correlación significativa entre las variables climatológicas, con valores en su mayoría por encima de 0.50, tanto con la variable respuesta como entre las variables explicativas (ver figura 2 en Anexos). Se evalúa el Factor de Inflación de la Varianza (VIF) y se encuentra que la variable "humedad del ambiente" posee un VIF de 12.11, excediendo el límite aceptable de 10. Dado que comparte una medición similar de contenido de agua con la variable humedad del suelo, siguiendo la recomendación de Kleinbaum et al. (1994) se decide eliminar esta variable.

En cuanto a los valores extremos y de influencia no superan los límites establecidos, por lo tanto, no son considerados en el modelo, seguidamente se verifican los supuestos necesarios a cumplir por el modelo de regresión inicial:

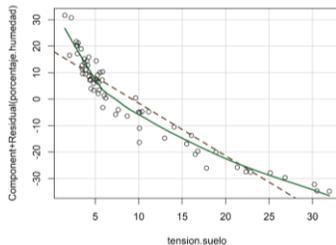
**Normalidad:** Al realizar el gráfico de residuales (ver figura 3 en Anexos) se sugiere el cumplimiento del supuesto, ya que la mayoría de los puntos se encuentran cercanos a la línea de regresión teórica (Kleinbaum et al. ,1994) .

**Linealidad:** Tras analizar el gráfico de residuales parciales del modelo, se nota la presencia de no linealidad en la variable "tensión del suelo", claramente visible en la figura 1. En consecuencia, se opta por aplicar una transformación logarítmica a dicha variable, siguiendo el patrón presentado en la figura. Una vez incorporada la nueva variable "logten", se recalcula el modelo. La revisión del gráfico de residuales parciales para el modelo transformado confirma que la transformación logra efectivamente corregir la no linealidad en la variable tensión del suelo, tal como se evidencia en la figura 1.

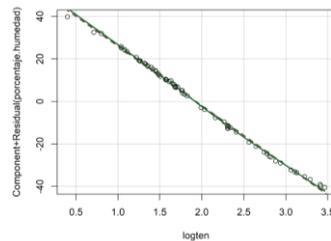
**Figura 1**

*Comparación de la linealidad antes y después de la transformación logarítmica a la variable tensión del suelo.*

*Linealidad de la variable tensión suelo en el modelo inicial.*



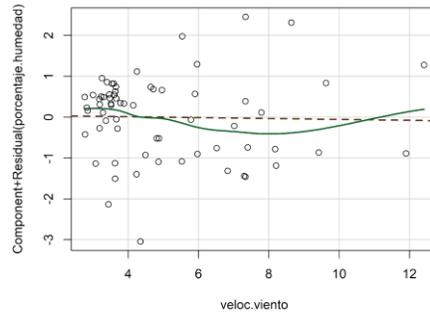
*Linealidad de la variable tensión suelo en el modelo con la transformación.*



Se observa también una curvatura en la variable velocidad del viento como se puede observar en la figura 2 por lo tanto se procede a realizar una transformación de polinomio grado dos y al analizar su efectividad se observa que la variable transformada tiene una probabilidad asociada de 0.19 en el modelo por lo que no resulta significativa ante el cambio, por lo tanto, se mantiene la variable original sin transformar.

**Figura 2**

*Linealidad de la variable velocidad del viento.*



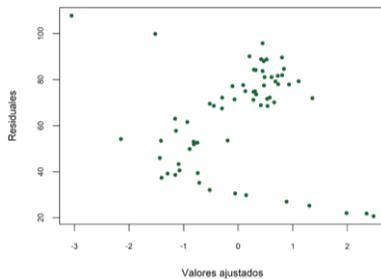
**Homocedasticidad:** Se observa que la probabilidad asociada en la prueba Breusch Pagan es de un 0.03 por lo que existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de varianzas iguales, es decir que se presenta heterocedasticidad.

Al identificar diferencias en al menos una de las varianzas, se reexaminan los valores extremos y de influencia del modelo transformado, dentro de límites aceptables. Para abordar la falta de homocedasticidad, se aplica el método de Mínimos Cuadrados Ponderados (MCP). Se analiza la relación entre los residuales y cada variable explicativa (ver Figura 4 en Anexos). Se elige utilizar la temperatura ambiente para generar pesos basados en las desviaciones, debido a su patrón distintivo de megáfono (ver Figura 3).

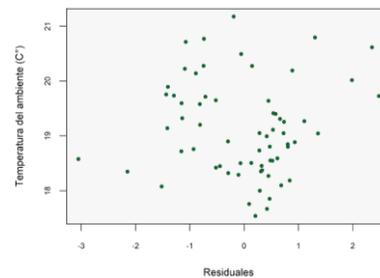
### Figura 3

*Residuales de los modelos realizados*

*Gráfico de residuales parciales del modelo de regresión transformado (Supuesto de homocedasticidad).*



*Distribución de los residuales del modelo transformado contra la variable temperatura ambiente.*



Tras la comparación del error estándar de las variables del modelo transformado y del modelo con la aplicación de mínimos cuadrados se acepta su utilización ante la disminución de la mayoría de estos (ver Tabla 2 en Anexos).

En cuanto a los supuestos del modelo (ver figura 5 en Anexos) la normalidad es aceptada ya que los puntos de observación se encuentran cercanos a la recta, la linealidad del modelo se mantiene, la independencia se cumple ante el valor de probabilidad asociado de la prueba Breusch

Godfrey de 0.37 y el factor de inflación es inferior al límite establecido, por lo tanto, se cumple con la no multicolinealidad.

Se procede a la selección del modelo con las variables que tienen mayor peso en el porcentaje de humedad del suelo, mediante el criterio de información (AKAIKE).

El modelo de regresión teórico final es el siguiente:

$$\mu_{Y|X_1, X_2, X_3} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3;$$

donde:  $Y =$  Porcentaje de humedad en el suelo (%);  $X_1:$  Velocidad del viento (km/hora).  
 $X_2:$  Tensión del agua en el suelo (log);  $X_3:$  Temperatura ambiental (C°).

Al revisar los valores extremos y de influencia del modelo final, se constata que se mantienen dentro de los límites, descartándose su relevancia. Los supuestos del modelo final se cumplen. A pesar de la curva en la variable "velocidad del viento", la transformación polinómica de grado 2 resulta insignificante, llevando a la decisión de mantener el modelo sin cambios. La ecuación estimada del modelo final obtenido es:

$$\hat{y} = 127.65 - 0.10 X_1 - 28.30 X_2 - 0.43 X_3;$$

donde:  $Y =$  Porcentaje de humedad en el suelo (%);  $X_1:$  Velocidad del viento (km/hora).  
 $X_2:$  Tensión del agua en el suelo (log);  $X_3:$  Temperatura ambiental (C°).

Este modelo resultante posee un coeficiente de determinación de un 0.9977 lo cual nos indica que el modelo nos explica conjuntamente por las variables velocidad del viento, tensión del suelo y temperatura ambiente un 99.7% de la variabilidad total del porcentaje de humedad del suelo promedio semanal que es 29930.9.

Con el modelo resultante se procede a la estandarización del modelo para poder realizar las comparaciones pertinentes, esto ante las diferentes escalas de las variables utilizadas.

Ecuación estimada estandarizada:

$$\hat{y}^s = 0.01 X_1 - 0.98 X_2 - 0.02 X_3;$$

donde:  $Y =$  Porcentaje de humedad en el suelo (%);  $X_1:$  Velocidad del viento (km/hora).  
 $X_2:$  Tensión del agua en el suelo (log);  $X_3:$  Temperatura ambiental (C°).

Al analizar cuál es la variable que posee mayor impacto sobre el porcentaje de humedad presente en el suelo, se observa en la Tabla 2 que la variable tensión del suelo (log) posee un impacto de un 0.98, mientras que las variables velocidad del viento y temperatura ambiente poseen un impacto de 0.01 y 0.02 respectivamente.

**Tabla 2**

*Impacto de las variables en el porcentaje de humedad del suelo*

Velocidad del viento	Tensión del suelo (log)	Temperatura del ambiente
----------------------	-------------------------	--------------------------

0.01

-0.98

-0.02

Esto implica que un incremento del 1% en la tensión del suelo ocasiona una variación de 0.01 en el porcentaje semanal promedio de humedad del suelo. Para ilustrar, si la tensión del suelo se incrementa en un 30%, el porcentaje promedio semanal de humedad del suelo experimentaría un cambio de 0.29.

Al calcular los intervalos de confianza para el modelo final, se establece que la tensión del suelo se encuentra entre 0.37 y 0.38. Esto indica que un ajuste del 1% en la tensión del suelo resulta en un cambio de 0.004 a 0.003 en el porcentaje semanal promedio de humedad del suelo. Un aumento del 30% en la tensión del suelo equivale a un cambio de 0.11 a 0.12 en el porcentaje semanal promedio de humedad del suelo.

En cuanto a las variables velocidad del viento y temperatura ambiente al contener el valor cero, no es factible demostrar el posible aumento o disminución en el porcentaje semanal promedio de humedad en el suelo, en la Tabla 4 se puede observar el valor de los intervalos.

Mediante la aplicación de la técnica de remuestreo Bootstrap se valida el modelo y se encuentra que el mismo resulta ser un modelo acertado al observar en la Tabla 3 los errores estándar de Bootstrap ya que no difieren drásticamente del modelo original, de igual manera sucede en los intervalos de confianza calculados presentes en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Comparación de los intervalos de confianza.*

Intervalos de confianza del modelo mediante Bootstrap			Intervalos de confianza del modelo final estandarizado		
Variable	2.50 %	97.50 %	Variable	2.50 %	97.50 %
Velocidad del viento	0.027	0.006	Velocidad del viento	0.026	0.004
Tensión del suelo (log)	0.360	0.384	Tensión del suelo (log)	0.367	0.382
Temperatura del ambiente	0.035	0.009	Temperatura del ambiente	0.035	0.002

**Tabla 4**

*Comparación del error estándar de las variables en el modelo final y en Bootstrap.*

Error estándar de Bootstrap		Error estándar del modelo final	
Variable	Error estándar	Variable	Error estándar
Velocidad del viento	0.008	Velocidad del viento	0.007
Tensión del suelo (log)	0.016	Tensión del suelo (log)	0.009

Temperatura del  
ambiente

0.011

Temperatura del  
ambiente

0.009

## CONCLUSIONES

Inicialmente, se esperaba que la temperatura del suelo fuera altamente significativa, pero su valor de probabilidad asociado de 0.98 reveló su falta de significancia en el modelo. Esto podría ser debido a su dependencia de factores externos como la temperatura ambiente y el viento.

Similarmente, la variable de lluvia también se esperaba que fuera significativa, pero fue excluida del modelo final, lo cual coincide con Shaxson y Barber (2005) de la FAO, que señalan que si bien las precipitaciones son vitales para la agricultura, es crucial mantener un equilibrio, ya que pueden afectar la humedad del suelo de forma negativa dependiendo del tipo de cultivo y la calidad del suelo.

Es comprensible que variables como la tensión del suelo tengan un mayor impacto que la cantidad de lluvia, ya que más agua no garantiza una mayor humedad en el suelo debido a las propiedades de infiltración del suelo.

En este contexto, la variable más influyente en la humedad del suelo resultó ser la tensión del suelo, respaldando lo señalado por Cutillas et al. (2015) sobre el efecto directo de factores como el relieve en la humedad presente. Esto subraya la importancia de conocer la tipología del suelo específica de la zona para estimaciones precisas.

La temperatura ambiente y la velocidad del viento, aunque tuvieron una significancia de 0.08 y 0.17 respectivamente en el modelo final, no tuvieron el peso esperado (0.05) en la explicación de la humedad, lo cual contrasta con el estudio de Palominos et al. (2021) y podría deberse a las diferencias geográficas de ambos estudios.

En cuanto a esto, Solano y Villalobos (2001) enfatizan que en Costa Rica se presentan diversas zonas climáticas) lo cual afecta la influencia de factores climáticos en diferentes regiones como en Cartago versus la zona montañosa de Heredia, como en el caso de la temperatura en ambos estudios.

En resumen, el modelo satisface los supuestos y es válido, demostrando que la tensión del suelo impacta la humedad semanal promedio en San José de la Montaña, Heredia. Para futuras investigaciones, se podría explorar cómo el tipo de siembra de flores influye en la humedad y considerar el riego constante en días secos. Se enfatiza que el modelo es específico a la ubicación de Geoagro en Heredia y no es generalizable.

## BIBLIOGRAFÍA

Angelo Canty and Brian Ripley (2021). boot: Bootstrap R (S-Plus) Functions. R package version 1.3-28.

- Castillo-Gutiérrez, S., & Aguilera, E. D. L. (2007). QQ Plot Normal. Los puntos de posición gráfica. *Iniciación a la Investigación*, (2), 8.
- Cherlinka, V. (9 de septiembre de 2020). Controlar la humedad del suelo: un factor clave. *Eos Data Analytics*. <https://eos.com/es/blog/humedad-del-suelo/#:~:text=La%20humedad%20del%20suelo%20depende,del%20aire%2C%20entre%20otros%20factores>
- Cutillas, P. P., Barberá, G. G., & García, C. C. (2015). Estimación de la humedad del suelo a niveles de capacidad de campo y punto de marchitez mediante modelos predictivos a escala regional. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 22.
- Fox, J & Weisberg, S (2019). *An {R} Companion to Applied Regression*, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- Gómez, S., Torres, V., García, Y., & Navarro, J. A. (2012). Procedimientos estadísticos más utilizados en el análisis de medidas repetidas en el tiempo en el sector agropecuario. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(1), 1-7.
- Kassambara, A (2019). *ggcorrplot: Visualization of a Correlation Matrix using 'ggplot2'*. R package version 0.1.3. <https://CRAN.R-project.org/package=ggcorrplot>
- Kleinbaum, D. G., Kupper, L. L., Nizam, A., Rosenberg, E. S. (2013). *Applied regression analysis and other multivariable methods*. Cengage Learning.
- Palominos, T., Villatoro, M., Alvarado, A., Cortés, V. y Paguada, D. (2021). Estimación de la humedad del suelo mediante regresiones lineales múltiples en Llano Brenes, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2). doi:10.15517/am.v33i2.47872
- Presidencia de la República de Costa Rica (13 de julio de 2021). Exportación de plantas ornamentales crece en un 31% en este año.). <https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2021/07/exportacion-de-plantas-ornamentales-crece-en-un-31-este-ano/>
- R Core Team (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rodríguez-Jaume, M. J., & Mora Catalá, R. (2001). *Análisis de regresión múltiple*.
- RStudio Team (2022). *RStudio: Integrated Development Environment for R*. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Shaxson, F., y Barber, R. (2005). Optimización de la Humedad Del Suelo Para la Produccion Vegetal: El Significado de la Porosidad Del Suelo (Boletines de Suelos de la Fao) (Vol. 79). Food & Agriculture Organization of the United Nations.
- Solanas, A., & Olivera, V. (1992). Bootstrap: fundamentos e introducción a sus aplicaciones. *Anuario de psicología/The UB Journal of psychology*, 143-154.

Solano, J. & Villalobos, R. (2001). Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica. [Archivo PDF] <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>

Valverde, G. R., & Valverde, B. R. (2006). Colinealidad y mínimos cuadrados ponderados. Revista venezolana de análisis de coyuntura, 12(1), 283-296.

Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002) Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0

Zaman, A. (2000). Inconsistency of the Breusch-Pagan test. Journal of Economic and Social Research, 2(1), 1-11.

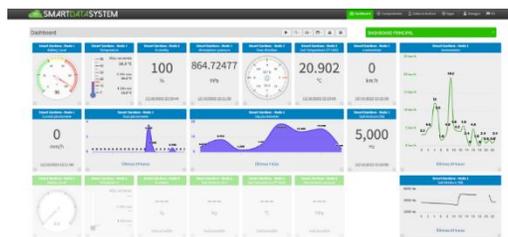
## ANEXOS

### Figura 1

*Instrumento de medición y recolección de datos utilizado.*

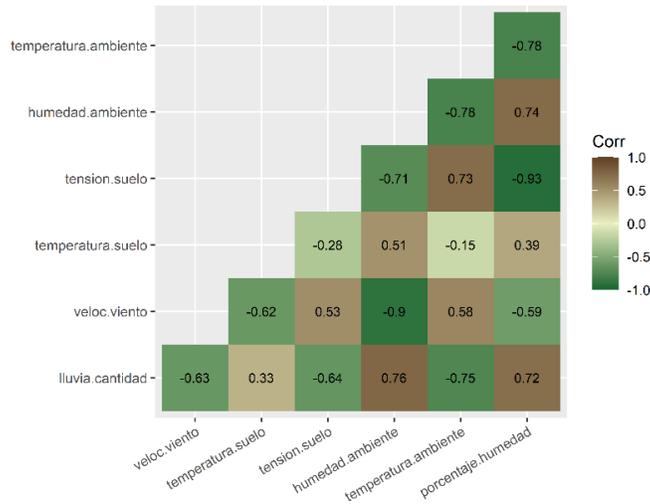
*Interfaz de la plataforma smart data system*

*Fotografía y certificaciones del dispositivo Libelium modelo Waspmote Plug & Sense*



### Figura 2

*Correlograma de las variables del estudio*



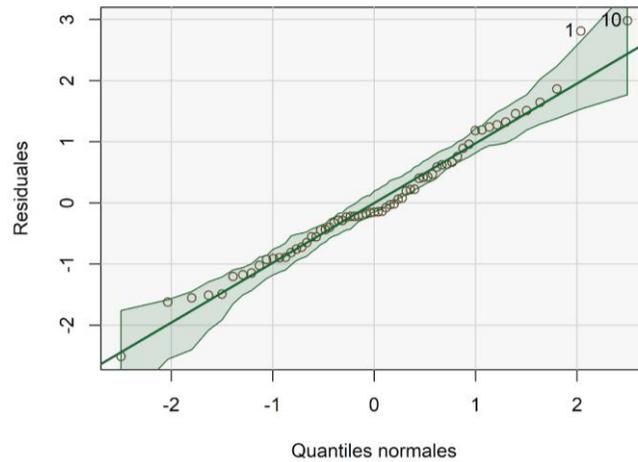
**Tabla 1**

*Factor de Inflación de la varianza (VIF) del modelo de regresión inicial.*

Intensidad de la lluvia	Temperatura del suelo	Velocidad del viento	Tensión del suelo	Humedad del ambiente	Temperatura del ambiente
2.83	1.90	7.12	2.51	12.11	4.38

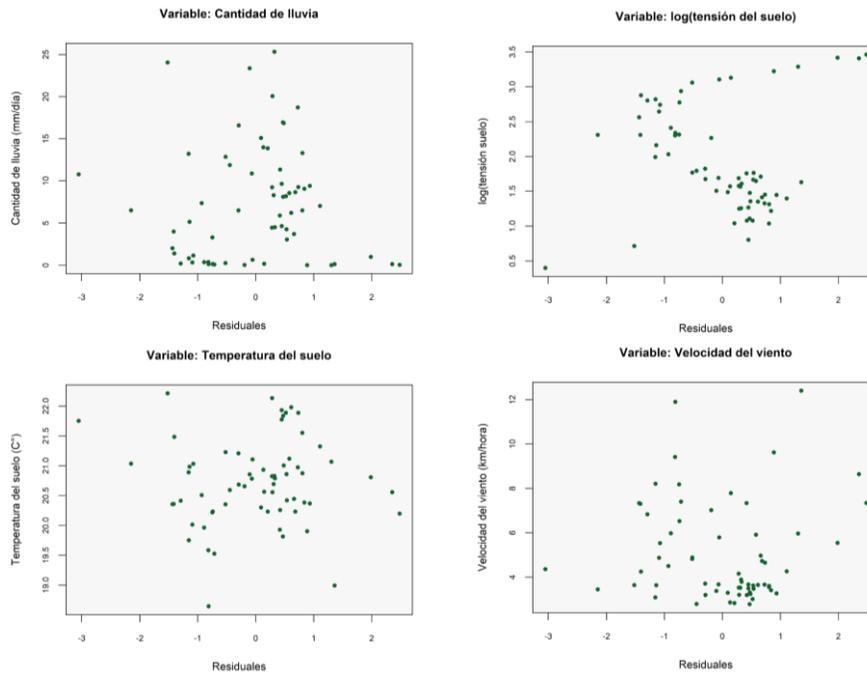
**Figura 3**

*Gráfico de residuales parciales del modelo inicial (Supuesto de normalidad).*



**Figura 4**

*Gráficos de residuales del modelo transformado contra las variables explicativas.*



**Tabla 2**

*Comparación del error estándar antes y después de la aplicación de MCP.*

	Antes de MCP	Después de MCP
Variable	error estándar	error estándar
Intercepto	6.04	5.33
Cantidad de lluvia	0.03	0.02
Temperatura del suelo	0.26	0.23
Velocidad del viento	0.1	0.09
Tensión del suelo (log)	0.31	0.31
Temperatura ambiente	0.3	0.3

**Figura 5**

*Supuestos del modelo con Mínimos Cuadrados Ponderados*

Gráfico de residuales del modelo con mínimos cuadrados ponderados (Supuesto de Normalidad).

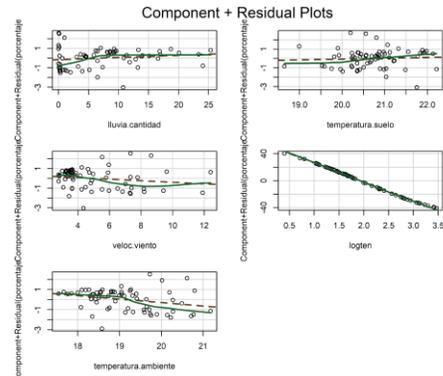
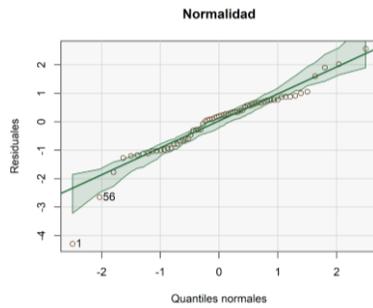


Gráfico de residuales parciales del modelo con mínimos cuadrados ponderados (Supuesto de linealidad).

Factor de inflación (VIF) del modelo con mínimos cuadrados ponderados

Cantidad de lluvia	Velocidad del viento	Temperatura del suelo	Tensión del suelo (log)	Temperatura del ambiente
2.43	1.92	2.61	3.05	3.99