

# RAYOS CÓSMICOS Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN: ESTIMACIÓN DE LA HUMEDAD EN EL SUELO

LUIGUI JOEL MIRANDA LEURO <sup>1a</sup>, ADRIANA VÁSQUEZ RAMÍREZ <sup>1b</sup>,

CHRISTIAN SARMIENTO CANO <sup>1c</sup>, LUIS ALBERTO NUÑEZ <sup>1d</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Física, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

<sup>a</sup> [luigui2248385@correo.uis.edu.co](mailto:luigui2248385@correo.uis.edu.co), <sup>b</sup> [adrianacvr67@gmail.com](mailto:adrianacvr67@gmail.com),

<sup>c</sup> [christian.sarmiento@correo.uis.edu.co](mailto:christian.sarmiento@correo.uis.edu.co), <sup>d</sup> [lnunez@uis.edu.co](mailto:lnunez@uis.edu.co)

## Ponencia

El agua es un recurso vital, especialmente en la agricultura, que utiliza el 70% del agua dulce [Banco Mundial, 2023]. Para mejorar la gestión del riego, es esencial medir con precisión la humedad del suelo. En este contexto, los Sensores de Neutrones de Rayos Cósmicos (CRNS) han emergido como una herramienta prometedora [Zreda et al., 2008]. Estos sensores utilizan neutrones cosmogénicos, subproductos del choque de rayos cósmicos, partículas de alta energía de origen extraterrestre con la atmósfera. Los neutrones generados penetran en el suelo e interactúan con los núcleos de hidrógeno [Anderson, 1961].

Dado que los neutrones tienen mayor probabilidad de interactuar con los núcleos de hidrógeno que con otros átomos, y estas interacciones presentan la mayor tasa de pérdida de energía [Köhli et al., 2021], se realizaron simulaciones con el software Geant4. Estas simulaciones modelan la interacción de neutrones con suelos en los que se variaron los niveles de humedad, desde 0% hasta 30%. Los resultados mostraron una disminución del 39,8% en el flujo de neutrones en suelos con 30% de humedad en comparación con suelos secos. Además, se encontró que los neutrones con energías menores a MeV generan 66% más neutrones secundarios, y se determinó que la energía mínima con la que emergen es del orden de los meV.

Las simulaciones estimaron que el área efectiva de detección del método es de 1,68 hectáreas, con una partícula detectada por metro cuadrado. Además, se sugirió que el área de cobertura de los CRNS podría alcanzar 2,83 hectáreas, permitiendo distinguir entre suelos secos y húmedos. Estos resultados representan un paso para lograr una correcta gestión del riego, lo que no solo beneficia la eficiencia de la producción agrícola sino también la sostenibilidad ambiental.

[Anderson, 1961] Anderson, C. D. (1961). Early work on the positron and muon. American journal of Physics, 29(12):825–830.

[Banco Mundial, 2023] Banco Mundial (2023). AG.LND.AGRI.ZS - porcentaje de tierras agrícolas. <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.AGRI.ZS?end=2021&start=1990>

[Köhli et al., 2021] Köhli, M., Weimar, J., Schrön, M., Baatz, R., and Schmidt, U. (2021). Soil moisture and air humidity dependence of the above-ground cosmic-ray neutron intensity. *Frontiers in Water*, 2:544–847.

[Zreda et al., 2008] Zreda, M., Desilets, D., Ferré, T., and Scott, R. L. (2008). Measuring soil moisture content non-invasively at intermediate spatial scale using cosmic-ray neutrons. *Geophysical research letters*, 35(21).

El agua es un recurso vital, y su manejo eficiente es esencial a nivel mundial, especialmente en la agricultura, que utiliza el 70% del agua dulce disponible [Banco Mundial, 2023]. Una clave para mejorar la gestión del riego es la medición precisa de la humedad del suelo. En este contexto, los Sensores de Neutrones de Rayos Cósmicos (CRNS, por sus siglas en inglés Cosmic Ray Neutron Sensor) han emergido como una herramienta prometedora [Zreda et al., 2008]. Estos sensores se basan en los neutrones cosmogénicos, que se originan cuando los rayos cósmicos, partículas de alta energía de origen extraterrestre, chocan con la atmósfera terrestre, generando lluvias de partículas secundarias. Los neutrones resultantes tienen la capacidad de penetrar en el suelo e interactuar con los núcleos de hidrógeno ahí presentes [Anderson, 1961].

Los neutrones presentan una mayor probabilidad de interactuar con los núcleos de hidrógeno que con la mayoría de los átomos. Además, estas interacciones se caracterizan por tener la tasa más alta de pérdida de energía [Köhli et al., 2021]. Lo anterior, genera un interés creciente en los CRNS, debido a que existe una relación entre la disminución de la energía en los neutrones y la humedad. Para estudiar el uso de estos dispositivos, se realizaron simulaciones utilizando el software Geant4. Estas simulaciones modelan la interacción de neutrones con suelos en los que se variaron los niveles de humedad, desde 0% hasta 30%.

Los resultados indicaron una disminución del 39,8% en el flujo de neutrones emergentes en suelos con 30% de humedad en comparación con suelos secos. Además, se encontró que los neutrones con energías inferiores a los MeV generan 66% más neutrones secundarios que aquellos con energías superiores. Junto a lo anterior se determinó que la energía mínima con la que emergen los neutrones es del orden de los meV. Lo que nos indica el rango de energías a las que deben ser sensibles los detectores que se quieran diseñar.

Las simulaciones permitieron estimar un área preliminar de funcionamiento del método en 1,68 hectáreas, donde se contaría una partícula por metro cuadrado. Además, sugieren que el área de cobertura efectiva de los CRNS podría extenderse hasta 2,83 hectáreas, permitiendo diferenciar suelos secos de suelos húmedos. Estos resultados representan un paso para lograr una correcta gestión del riego, lo que no solo beneficia la eficiencia de la producción agrícola sino también la sostenibilidad ambiental.

