

# Jornadas de Automática

## Validación del uso de conductancia eléctrica para estimar la humedad en tejidos absorbentes

Romero-Ante, Juan David<sup>a,\*</sup>, Montenegro-Bravo, Juan Sebastián<sup>a</sup>, Rodríguez-López, Daniel Alejandro<sup>a</sup>, Vicente-Samper, José María<sup>b</sup>, De la Casa-Lillo, Miguel Ángel<sup>a</sup>, Rodríguez-Martínez, Alberto<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Unidad de Investigación en Robótica Médica, Universidad Miguel Hernández, Avenida de la Universidad, s/n, 03202, Elche, España.

<sup>b</sup>Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante, Carretera de San Vicente del Raspeig, s/n, 03690, San Vicente del Raspeig, España.

**To cite this article:** Romero-Ante, J.D., Montenegro-Bravo, J.S., Rodríguez-López, D.A., Vicente-Samper, J.M., De la Casa-Lillo, M.A., Rodríguez-Martínez, A. 2025. Validation of the use of electrical conductance to estimate moisture in absorbent tissues. *Jornadas de Automática*, 46. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2025.46.12174>

### Resumen

Este trabajo presenta la validación de una metodología experimental para estimar el contenido de humedad en tejidos biológicos mediante la medición de conductancia eléctrica, con enfoque en aplicaciones clínicas como el monitoreo de hidratación o la detección de disfunciones sudomotoras. Para la validación inicial, se empleó un bloque de papel absorbente como material modelo, al que se aplicaron volúmenes controlados de agua mientras se registraban simultáneamente su masa y conductancia. La variación de masa permitió calcular el contenido de humedad en cada ciclo, y los resultados revelaron una correlación no lineal con la conductancia registrada. Esta relación se ajustó mediante un modelo polinomial de segundo grado, con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,992$ . Los resultados respaldan tanto la solidez de la metodología como la eficacia del dispositivo electrónico para detectar variaciones de humedad de forma continua. Aunque el rango de humedad estuvo limitado por las propiedades del material, el sistema demuestra un alto potencial de aplicación en tejidos reales.

**Palabras clave:** Humedad, conductancia eléctrica, material poroso, tejido biológico, medida fisiológica.

### Validation of the use of electrical conductance to estimate moisture in absorbent tissues

#### Abstract

This work presents the validation of an experimental methodology for estimating moisture content in biological tissues based on electrical conductance measurements, with particular interest in clinical applications such as hydration monitoring and the detection of sudomotor dysfunctions. For initial validation purposes, a block of absorbent paper was used as a model material to which controlled volumes of water were applied, while the mass and electrical conductance were simultaneously recorded. The variation in mass enabled the moisture content to be calculated in each cycle, and the results showed a non-linear correlation with the measured conductance. This relationship was modelled using a second-degree polynomial fit, achieving a coefficient of determination of  $R^2 = 0,992$ . These results support both the validity of the proposed methodology and the effectiveness of the electronic device to detect moisture variations continuously. Although the moisture range was limited by the properties of the material, the system demonstrates strong potential for application in real biological tissues.

**Keywords:** Moisture, electrical conductance, porous material, biological tissue, physiological measurement.

## 1. Introducción

La caracterización de la humedad en materiales secos es una necesidad común en industrias como la alimentaria, farmacéutica, ambiental y de materiales. Para ello, tradicionalmente se utilizan métodos gravimétricos, termogravimétricos y espectroscópicos. Sin embargo, estos presentan ciertas limitaciones, como falta de portabilidad, tiempos de respuesta prolongados, requerimientos de condiciones controladas o altos costos operativos (Suchorab et al., 2014). Ante estas limitaciones, se han desarrollado tecnologías que buscan ofrecer soluciones más prácticas y eficientes. Un ejemplo son los métodos basados en espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés), que permiten estimar el contenido de humedad de manera rápida y sin contacto físico con la muestra. No obstante, su aplicación requiere un proceso de calibración complejo y altamente sensible a la composición química del material estudiado (Sun, 2009). Por su parte, la medición mediante microondas ha demostrado ser eficaz, especialmente en materiales de baja densidad. Aun así, su precisión tiende a disminuir en muestras heterogéneas, lo que limita su aplicabilidad (Trabelsi and Nelson, 2010). Asimismo, tecnologías basadas en sensores capacitivos y resistivos se presentan en sistemas de bajo coste y portabilidad, aunque suelen ser menos precisos y su desempeño depende del tipo de material analizado, lo que puede comprometer la fiabilidad de los resultados en situaciones variables (Kandala et al., 2007).

La humedad en tejidos biológicos representa un área de alto interés desde el punto de vista clínico. En tejidos como la piel, la mucosa y estructuras vegetales, este tipo de estudios se relaciona con parámetros fisiológicos, la propia salud del tejido y su respuesta a tratamientos o cambios en las condiciones ambientales (Tahar et al., 2024). En el caso específico de la piel, la medición de la humedad superficial y subcutánea se ha vinculado con estudios dermatológicos, control de hidratación, diagnóstico de enfermedades cutáneas, y evaluación de la barrera epidérmica (Pinnagoda et al., 1990). Estas aplicaciones suelen requerir dispositivos de medición no invasivos, portátiles y de respuesta rápida, lo cual motiva el desarrollo de herramientas basadas en propiedades eléctricas (Boucein, 2012). En este sentido, la medición de la actividad electrodérmica (EDA, por sus siglas en inglés) adquiere especial relevancia, ya que está directamente relacionada con la actividad de las glándulas sudoríparas, cuya función es primordial en la regulación del contenido de humedad en la piel. Los cambios en esta función pueden indicar problemas que afectan la transpiración, comprometiendo la capacidad de la piel para mantenerse hidratada y protegida. Este desequilibrio puede derivar en la formación de heridas crónicas, úlceras o infecciones cutáneas, especialmente en pacientes con diabetes mellitus (DM), donde estas complicaciones pueden evolucionar hacia consecuencias graves como amputaciones (Lee et al., 2019).

En este trabajo se propone una metodología experimental para establecer una correlación entre la variación del contenido de humedad en un material y su respuesta en términos de conductancia eléctrica, de modo que un aumento en la humedad se refleje en un incremento de dicha conductancia. La conductancia eléctrica se define como la capacidad de un cuerpo para conducir corriente, siendo el inverso de la resis-

tencia eléctrica, y se expresa comúnmente en microsiemens ( $\mu\text{S}$ ) (Radtko et al., 2005). La medición se realizó mediante un dispositivo desarrollado para evaluar la EDA. La propuesta se basa en los principios del análisis gravimétrico, en el cual el contenido de humedad de una muestra se determina a partir de la medición de su masa antes y después de un proceso de secado o adición de agua (Martínez-López et al., 2024). Para esta fase inicial, se empleó un bloque de papel absorbente como material de referencia, debido a su estructura homogénea y alta capacidad de absorción, que permiten detectar con precisión las variaciones de humedad y su efecto sobre la conductancia. Aunque esta validación se llevó a cabo en un entorno controlado con un material de laboratorio, como línea futura de trabajo se plantea extender la correlación a materiales biológicos, con el fin de evaluar la viabilidad del uso del dispositivo de medición de EDA en tejidos reales.

## 2. Materiales y métodos

Esta sección describe el enfoque experimental seguido para evaluar la correlación entre el contenido de humedad en un material seco y su conductancia eléctrica. En primer lugar, se detalla el material absorbente. Posteriormente, se presenta el dispositivo electrónico utilizado para registrar las señales de conductancia, junto con el protocolo general de medición, adquisición y tratamiento de los datos.

### 2.1. Diseño experimental

El material seco utilizado fue un bloque de papel absorbente de uso común en entornos de laboratorio, generalmente empleado para la limpieza y protección de superficies. Su estructura porosa y alta capacidad de absorción de líquidos lo convierten en un modelo adecuado para simular la dinámica de retención de humedad en materiales secos. La elección de este material se fundamentó en su composición homogénea y destacada capacidad de absorción de agua (Dutt et al., 2012), características que permiten obtener mediciones reproducibles con baja variabilidad, minimizando el riesgo de derrames o retención superficial excesiva. El bloque de papel, con forma de prisma rectangular, fue definido con un área de  $56\text{cm}^2$  en sus caras superior e inferior, lo que proporciona una superficie adecuada para el depósito de agua en la parte superior del material, así como para la colocación de los electrodos utilizados en la medición de conductancia. La altura del bloque es de 2cm, resultando en un volumen total aproximado de  $112\text{cm}^3$ .

Para evaluar la relación entre la cantidad de agua absorbida por el material y su conductancia eléctrica, se estableció un procedimiento sistemático de hidratación y medición. Se propuso aplicar muestras de agua de 0,5mL por ciclo, lo que equivale a 0,5g de masa adicional, permitiendo así un control preciso y cuantificable sobre la humedad contenida en el bloque de papel. Esta cantidad fue elegida por su facilidad de manipulación y su efecto en la masa del material. La adición de agua se realizó utilizando una pipeta automática calibrada de laboratorio, con el objetivo de asegurar la precisión en el volumen dispensado en cada ciclo. El registro del peso del material se realizó con una balanza digital con una resolución de 1mg y una capacidad máxima de 720 gramos.

## 2.2. Sistema de medida de conductancia eléctrica

El sistema utilizado para medir la conductancia eléctrica en esta experimentación se basa en el circuito descrito en la sección 5 del trabajo presentado en (Romero-Ante et al., 2024), diseñado específicamente para aplicaciones portátiles orientadas al monitoreo ambulatorio. Su arquitectura se fundamenta en un divisor de tensión aplicado sobre la resistencia de la piel, seguido de una etapa de amplificación y un filtro pasa bajo para limpieza de la señal obtenida. En este caso, la resistencia medida corresponde al material absorbente utilizado como muestra, y el valor de conductancia se obtiene como la inversa de dicha resistencia.

Una de sus principales ventajas es su capacidad para operar en un amplio rango de resistencias, permitiendo registrar conductancias entre 0,2 y 100  $\mu\text{S}$ , al igual que las especificaciones del equipo comercial Shimmer3 GSR+ (Sensing, 2025). El sistema emplea una frecuencia de muestreo de 20 Hz, adecuada para capturar con precisión las variaciones propias de la señal de conductancia.

Para la adquisición y transmisión de datos, el sistema integra un microcontrolador nRF52840 montado sobre la placa de desarrollo Seeed Studio XIAO BLE, lo que permite la comunicación inalámbrica mediante Bluetooth Low Energy (BLE). Esta funcionalidad facilita el desarrollo de sistemas portátiles autónomos y compatibles con dispositivos móviles, ampliando su potencial de aplicación en contextos clínicos o experimentales sin necesidad de cableado físico. La medición de la conductancia se realiza a través de un par de electrodos de Ag/AgCl, recubiertos con hidrogel y con un área activa aproximada de 2  $\text{cm}^2$ .

## 2.3. Protocolo de medición

El procedimiento experimental se desarrolló en un ambiente controlado, dentro de un espacio cerrado con una temperatura ambiente constante de 20°C, con el fin de evitar que las variaciones térmicas influyeran en el comportamiento del material o en la medición eléctrica. El protocolo permitió registrar la variación de la conductancia eléctrica del material en función del contenido de humedad añadido progresivamente.

El proceso comenzaba con el pesado inicial de la muestra seca del bloque de papel absorbente, utilizando la balanza digital descrita en la sección anterior. Este valor se registraba como punto de referencia. A continuación, se procedía a la aplicación de una muestra de 0,5mL de agua sobre la superficie superior del bloque, dispuesto directamente sobre la balanza, utilizando la pipeta calibrada. El agua se depositaba cuidadosamente en la zona central del bloque, procurando una distribución homogénea.

Una vez absorbida el agua, se registraba nuevamente el peso de la muestra. A continuación, se colocaban los electrodos de medición de conductancia sobre la superficie humedecida, posicionados alrededor del área central de la superficie superior. Los electrodos se disponían con una separación aproximada de 1cm entre sus zonas activas.

En esta configuración, se iniciaba un registro continuo de la señal de conductancia durante 1 minuto, con el objetivo de permitir la estabilización de la señal y capturar las posibles fluctuaciones iniciales debidas al proceso de absorción. Finalizado el registro, se retiraban los electrodos, y se procedía

a una nueva adición de 0,5mL de agua, repitiendo el proceso completo de registro del peso, colocación de electrodos y medida de conductancia.

La señal de conductancia se procesó en una etapa posterior a su adquisición, aplicando un filtro de media móvil con una ventana de 20 muestras, equivalente a 1 segundo de datos, dada la frecuencia de muestreo de 20Hz. Al tratarse de un filtrado realizado en una etapa de post-procesado, se empleó una ventana centrada, lo que permite mantener la alineación temporal de la señal sin introducir retrasos ni distorsiones. Este procedimiento suaviza la señal, reduce el ruido de alta frecuencia y mejora la estabilidad de la medición. Finalmente, el valor de conductancia asociado a cada ciclo se obtuvo como el promedio de la señal filtrada durante el minuto completo de registro.

El porcentaje de humedad en cada ciclo se calculó a partir de la relación estándar que define el contenido de humedad respecto a la masa total, presentada en la ecuación (1):

$$\%H = \left( \frac{M_h - M_s}{M_h} \right) \times 100 \quad (1)$$

Donde  $M_h$  representa la masa del material húmedo y  $M_s$  la masa del material seco. Esta fórmula permitió obtener una medida relativa del contenido de humedad progresivo a medida que se realizaban las adiciones de agua, sirviendo como base para establecer la correlación con los valores de conductancia eléctrica obtenidos.

El procedimiento completo se repitió de manera secuencial hasta que el material comenzó a mostrar signos de deterioro debido a la acumulación de agua. En esta etapa, el bloque de papel perdió su estructura superficial homogénea y presentó deformaciones físicas que comprometieron el contacto adecuado de los electrodos y, por ende, la fiabilidad de la medición eléctrica.

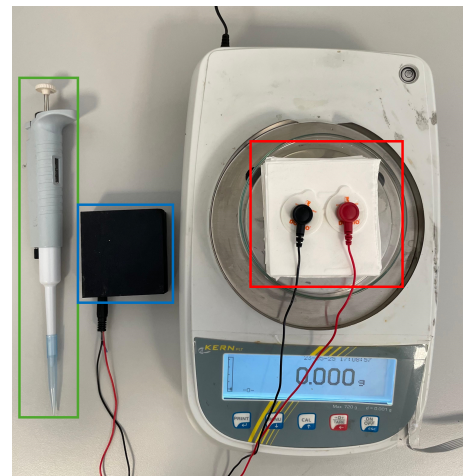


Figura 1: Montaje experimental utilizado para la medición simultánea de masa y conductancia eléctrica. En color verde se resalta la pipeta calibrada. En azul, se muestra el dispositivo electrónico encargado del registro de la conductancia. En rojo, se observa el bloque de papel absorbente dispuesto sobre la balanza, con los electrodos conectados para la adquisición de la señal eléctrica.

La Figura 1 presenta el montaje experimental empleado para el registro simultáneo de la masa y la conductancia eléctrica del material. Todo el conjunto se dispone sobre una

balanza digital, utilizada para medir el peso del bloque de papel en cada etapa de hidratación. En rojo se resalta el bloque de papel absorbente, sobre el cual se han colocado dos electrodos conectados al sistema de medición de conductancia eléctrica. En azul se indica el dispositivo electrónico encargado de la adquisición de datos, responsable de registrar la señal de conductancia. Por último, en verde se muestra la pipeta automática calibrada, utilizada para aplicar volúmenes de agua (0,5mL) sobre la muestra.

### 3. Resultados

Esta sección presenta los resultados obtenidos de la experimentación, con el fin de analizar la relación entre el contenido de humedad del material y su conductancia eléctrica. Se incluye una tabla con los valores de masa húmeda, porcentaje de humedad calculado y conductancia promedio para cada ciclo de hidratación. Además, se muestra un gráfico de dispersión que relaciona la conductancia con el porcentaje de humedad, lo que permite visualizar la tendencia entre ambas variables y ajustar un modelo de regresión que describe su relación matemática.

La Tabla 1 presenta los valores obtenidos en cada ciclo del experimento, donde se indican el volumen acumulado de agua añadido a la muestra, la masa resultante del material tras la hidratación, el porcentaje de humedad calculado según la ecuación (1), y la conductancia eléctrica media registrada para cada punto. La primera fila corresponde al peso del bloque de papel completamente seco, el cual se toma como referencia para el cálculo de la variación porcentual de humedad a lo largo de las etapas de hidratación.

A partir de los datos experimentales obtenidos, se construyó un gráfico de dispersión que muestra la relación entre la conductancia y el porcentaje de humedad del bloque de papel. En la Figura 2 se aprecia una tendencia creciente que, si bien no sugiere un patrón lineal, revela una correlación directa entre el aumento de humedad en el material y la conductancia registrada. Para modelar esta relación, se ajustó una curva polinomial de segundo grado a los puntos experimentales (representados en color azul), ilustrada por la línea roja en la gráfica. Este tipo de ajuste permite describir con mayor precisión la evolución de la conductancia conforme se incrementan los niveles de hidratación. El ajuste polinomial realizado sobre los datos experimentales se definió mediante un comportamiento cuadrático, cuyo modelo se expresa en la ecuación (2):

$$\%H = 0,004025 \cdot C^2 + 0,1761 \cdot C + 0,8324 \quad (2)$$

Donde  $\%H$  representa el porcentaje de humedad estimado y  $C$  la conductancia eléctrica medida en  $\mu S$ . El ajuste mostró una alta concordancia con los datos observados, con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,992$ , lo que indica que el modelo representa adecuadamente el 99,2 % de la variabilidad en los datos. Además, el error cuadrático medio (RMSE) obtenido fue de 1,008, lo que confirma la alta precisión del modelo. Estos resultados validan la utilidad del modelo polinomial como herramienta predictiva para estimar el contenido de humedad en función de la conductancia.

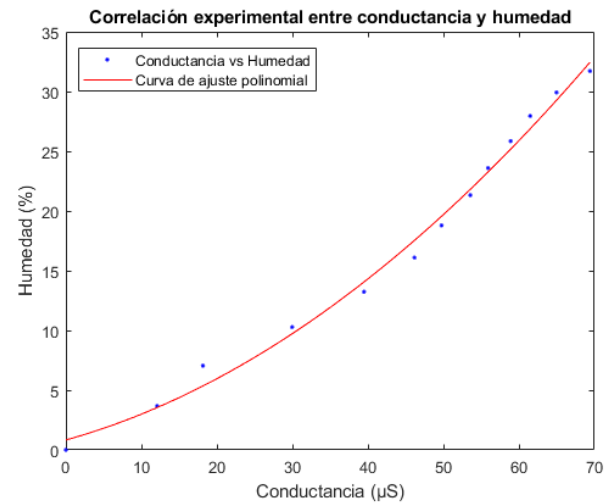


Figura 2: Relación entre la conductancia eléctrica y el porcentaje de humedad en el bloque de papel absorbente. Los puntos azules representan los datos experimentales, mientras que la línea roja corresponde al ajuste polinomial de segundo grado aplicado a los datos.

### 4. Discusión

Los resultados obtenidos en esta fase experimental respaldan la viabilidad del uso de la medida de conductancia eléctrica para la estimación del contenido de humedad en tejidos biológicos. Aunque la validación inicial se realizó sobre un material absorbente homogéneo como el papel, los principios eléctricos aplicados y la respuesta observada permiten proyectar su aplicación en contextos clínicos. La tendencia creciente observada en la curva de regresión polinomial sugiere una relación consistente entre ambas variables, con un alto grado de correlación. Sin embargo, cabe destacar que el contenido máximo de humedad registrado en esta prueba se situó en 31,7 %, debido a que la estructura del material absorbente comenzó a deteriorarse a partir de ese punto. Este daño físico, manifestado en la pérdida de homogeneidad en la superficie del bloque de papel, afectó la estabilidad del contacto entre los electrodos y el material, lo que impidió continuar con las mediciones.

Es importante señalar que esta limitación es propia del tipo de material empleado, y que en el caso de materiales biológicos, como tejidos humanos o vegetales, el rango de humedad es naturalmente más amplio. Estos materiales poseen estructuras que permiten una mayor retención de agua sin comprometer de inmediato su integridad física, lo cual ampliaría significativamente el rango operativo del sistema de medición. Por tanto, se plantea que la metodología propuesta no solo es válida en entornos controlados con materiales homogéneos, sino que también podría adaptarse a contextos biomédicos o fisiológicos, donde el contenido de humedad puede superar el 50 % o más, dependiendo del tipo de tejido.

Una de las principales ventajas de la metodología propuesta es la simplicidad del procedimiento experimental y la portabilidad del sistema electrónico de medición, lo que representa una mejora significativa frente a técnicas tradicionales como el análisis gravimétrico o espectroscópico, que suelen requerir equipos voluminosos, tiempos de preparación prolongados y condiciones de laboratorio controladas (Kaur et al., 2016).

Tabla 1: Resultados experimentales de masa, porcentaje de humedad y conductancia eléctrica en función del volumen de agua añadido al material.

Agua (mL)	Peso (g)	Humedad (%)	Conductancia ( $\mu$ S)
0	13,03	0	0
0,5	13,52	3,67	12,08
1	14,01	7,05	18,16
1,5	14,52	10,28	29,96
2	15,01	13,23	39,48
2,5	15,53	16,09	46,17
3	16,04	18,79	49,75
3,5	16,56	21,32	53,56
4	17,05	23,59	55,91
4,5	17,57	25,84	58,90
5	18,08	27,95	61,46
5,5	18,59	29,92	64,98
6	19,08	31,71	69,41

Además, la incorporación de un sistema inalámbrico para el registro de la señal de conductancia amplía su aplicabilidad a distintos entornos, sin necesidad de cableado.

No obstante, es importante considerar ciertas limitaciones que podrían afectar la precisión del modelo en condiciones reales. Por ejemplo, el diseño geométrico y la colocación de los electrodos pueden influir en la linealidad de la respuesta, especialmente cuando se trabaja con materiales no homogéneos o con superficies irregulares. Asimismo, factores como la temperatura ambiental o la distribución no uniforme de la humedad pueden alterar los valores de conductancia registrados, por lo que deberán ser considerados en futuras investigaciones.

Por otra parte, aunque los resultados de este estudio respaldan la correlación entre la conductancia eléctrica y el contenido de humedad en un material homogéneo y poroso como el papel, es importante tener en cuenta las limitaciones al extrapolar estos hallazgos a tejidos biológicos reales. A diferencia del papel, los tejidos vivos presentan una estructura heterogénea, una distribución no uniforme de fluidos y una composición compleja con presencia de sales y compuestos orgánicos, factores que influyen directamente en la conductancia eléctrica y pueden afectar la precisión de la estimación de humedad. Por ello, se considera necesario llevar a cabo una fase experimental adicional con muestras biológicas, como tejidos animales, que permita evaluar el desempeño del sistema en un entorno fisiológico más representativo. Esta etapa resultará clave para determinar la sensibilidad del dispositivo frente a la variabilidad biológica y avanzar hacia su posible aplicación clínica.

## 5. Conclusiones

Este trabajo ha demostrado la viabilidad de un método para la estimación del contenido de humedad en materiales con características de absorción, mediante la medición de su conductancia eléctrica. La correlación obtenida, con un ajuste polinomial, valida el potencial del dispositivo electrónico como herramienta de medición simple y económica.

El sistema destaca por su portabilidad, facilidad de implementación y capacidad para integrarse en entornos de medición en tiempo real, lo que le otorga ventajas frente a métodos

convencionales que requieren equipamiento más complejo y condiciones controladas. Aunque el experimento fue limitado por el deterioro físico del papel a partir de cierto nivel de humedad, esto no representa una barrera para su aplicación en materiales biológicos, donde la estructura celular permite una mayor retención de humedad sin comprometer su integridad.

Como línea futura de trabajo, se plantea adaptar el sistema para su uso en contextos biomédicos y fisiológicos, donde el monitoreo de la humedad en la piel o en tejidos internos podría ofrecer información útil para el diagnóstico y seguimiento de afecciones como la deshidratación, las úlceras o las neuropatías. Para avanzar hacia su implementación en escenarios reales, será necesario validar el funcionamiento del sistema en tejidos biológicos, cuyos niveles de heterogeneidad estructural y composición química pueden influir significativamente en la respuesta eléctrica y, por tanto, en la precisión de la estimación de humedad. Asimismo, se plantea continuar con la optimización del diseño de los electrodos, mejorar la robustez del sistema frente a interferencias externas y extender la validación experimental a una mayor diversidad de materiales y condiciones ambientales.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Consejería d'innovació, Universitat a través del proyecto CIPRO-M/ 2022/16, y por el Instituto Valenciano de Competitividad e Innovación a través del proyecto INNVA1/2024/59.

## Referencias

- Boucsein, W., 2012. *Electrodermal activity*. Springer Science & Business Media.
- Dutt, D., Mishra, A., Kumar, A., Mishra, N. C., 2012. Cost reduction and up-grading of basic properties of absorbent-grade paper. *BioResources* 7 (3).
- Kandala, C. V., Butts, C. L., Nelson, S. O., 2007. Capacitance sensor for nondestructive measurement of moisture content in nuts and grain. *IEEE Transactions on instrumentation and measurement* 56 (5), 1809–1813.
- Kaur, K., Mahajan, R., Deepak, B., 2016. A review of various soil moisture measurement techniques. *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol* 5, 5774–5778.
- Lee, T.-Y., Kim, K.-B., Han, S.-K., Jeong, S.-H., Dhong, E.-S., 2019. Skin hydration level as a predictor for diabetic wound healing: a retrospective study. *Plastic and reconstructive surgery* 143 (4), 848e–856e.

- Martínez-López, E., Cárdenas-García, D., Cywiak-Córdova, D., 2024. Measuring model for the gravimetric method by drying in n-stages applied to materials with high moisture content. *MAPAN* 39 (2), 439–443.
- Pinnagoda, J., Tupkek, R., Agner, T., Serup, J., 1990. Guidelines for transepidermal water loss (tewl) measurement: a report from the standardization group of the european society of contact dermatitis. *Contact dermatitis* 22 (3), 164–178.
- Radtke, D., Davis, J. V., Wilde, F., 2005. Specific electrical conductance. Tech. rep., US Geological Survey.
- Romero-Ante, J. D., Vicente-Samper, J. M., Manrique-Cordoba, J., Esteve-Sala, V., Casa Lillo, M. Á. d. l., Sabater Navarro, J. M., 2024. Actividad electrodérmica como indicador preventivo de complicaciones por neuropatía periférica.
- Sensing, S., 2025. Shimmer3 gsr+ unit. Available online: <https://www.shimmersensing.com/product/shimmer3-gsr-unit/> (accessed on May 23, 2025).
- Suchorab, Z., Widomski, M. K., Łagód, G., Barnat-Hunek, D., Smarzewski, P., 2014. Methodology of moisture measurement in porous materials using time domain reflectometry. *Chemistry-Didactics-Ecology-Metrology* 19.
- Sun, D.-W., 2009. Infrared spectroscopy for food quality analysis and control. Academic press.
- Tahar, A., Zrour, H., Dupont, S., Pozdzik, A., 2024. Non-invasive approaches to hydration assessment: A literature review. *Urolithiasis* 52 (1), 132.
- Trabelsi, S., Nelson, S. O., 2010. Microwave sensor for simultaneous and non-destructive determination of moisture content and bulk density of granular materials, 493–496.