



LA FORMACIÓN DE INGENIEROS:
UN COMPROMISO PARA EL
DESARROLLO Y LA SOSTENIBILIDAD

15 al 18
DE SEPTIEMBRE

20
20

www.acofi.edu.co/eiei2020

SISTEMA IoT CON UAV y GPR PARA IDENTIFICAR ZONAS CON AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA - COLOMBIA

Rafael Alberto Daza Plata, Sixto Enrique Campaña Bastidas

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia
Riohacha, Colombia**

Resumen

El agua es el recurso vital de la vida de las personas, en Colombia hay zonas que cuentan con abundancia de este elemento natural, pero, en otras su escasez es evidente y obliga a las personas que habitan en dichos lugares a cambiar sus formas de vida e intentar obtener este líquido de diversas formas. Una de ellas es buscando fuentes hídricas en el subsuelo, en donde no se pueden percibir fácilmente, pero que, ayudados por la tecnología es factible hacerlo. El presente avance de investigación se refiere al diseño de un sistema GPR con UAV para la identificación de aguas subterráneas en el departamento de la Guajira en Colombia, que es un territorio con mucha escasez de este preciado líquido, que vive periodos de sequía extrema, generando pobreza, desnutrición y muchas muertes a causa de esta problemática entre otras causas. El sistema propuesto se basa en el diseño de un prototipo IoT (Internet de las Cosas) que permite explorar el subsuelo, controlado remotamente por una terminal conectada a Internet, ya sea un teléfono móvil, una tablet o un computador, donde se puede visualizar el recorrido que hace el dispositivo y los hallazgos que identifique, este proceso se apoya en el uso de tecnologías GPR (Radar de penetración de tierra) y UAV (vehículo aéreo no tripulado); el primero para hacer análisis del subsuelo que abarque el dispositivo y el segundo para hacer el sobrevuelo de los lugares objetivo y que se ha estimado podrían tener agua subterránea. El objetivo principal del sistema propuesto es contribuir a la identificación de fuentes hídricas en el departamento de la Guajira en Colombia, las cuales pueden contribuir en el desarrollo rural de la región, permitiendo la explotación agrícola y ganadera de manera satisfactoria. La investigación es de tipo exploratoria y conclusiva, dado que se han analizado diseños previos de dispositivos similares y se está proponiendo uno específico y orientado al problema identificado. Este proyecto busca articular estos aspectos para llegar con soluciones que beneficien a una comunidad y se apoyen en la tecnología para propender por un mejor vivir.

Palabras clave: radar de penetración en el suelo (GPR); vehículo aéreo no tripulado (UAV); agua subterránea

Abstract

Water is the vital resource of people's lives, in Colombia there are areas that have an abundance of this natural element, but in others its scarcity is evident and forces people who live in these places to change their ways of life and try to obtain this liquid in various ways. One of them is looking for water sources in the subsoil, where the human eye cannot perceive easily, but with the help of technology it is feasible to do so. Therefore, the present research progress refers to the design of a GPR system with UAV for the identification of groundwater in the department of La Guajira in Colombia, which is a territory with a great shortage of this precious liquid, which lives periods of drought extreme, generating poverty, malnutrition and many deaths due to this problem, among other causes. The proposed system is based on the design of a prototype IoT (Internet of Things) that allows explore the subsoil, remotely controlled by a terminal connected to the Internet, be it a mobile phone, a Tablet or a computer, where it can visualize the route that the device makes and the findings that it identifies, this process is supported by the use of GPR (Ground Penetration Radar) and UAV (Unmanned Aerial Vehicle) technologies. ; the first to make analysis of the subsoil that covers the device and the second to make the overflight of the target places and that it has been estimated could have groundwater. The main objective of the proposed system is to contribute to the identification of water sources in the department of La Guajira in Colombia, which can contribute to the rural development of the region, allowing satisfactory agricultural and livestock exploitation. The research is exploratory and conclusive, given that previous designs of similar devices have been analyzed and one specific and oriented to the identified problem is being proposed. This project seeks to articulate these aspects to arrive with solutions that benefit a community, leaning on technology to promote a better life.

Keywords: ground penetration radar (GPR; unmanned aerial vehicle (UAV); groundwater

1. Introducción

Colombia posee un amplio territorio con vocación para ejercer la agricultura, la cual se ve privilegiada por las singularidades geográficas, biológicas y principalmente por las condiciones climáticas que posee, asimismo, posee destreza de cultivar una amplia diversidad de productos agrícolas, por tanto, el agua se constituye como un recurso vital en las actividades productivas de este sector, en este sentido, el agua no es solo fundamental para apoyar las actividades agrícolas que mejoren la calidad de vida de la población campesina, sino que, también es un elemento primordial para la producción de la economía. De esta manera, se puede afirmar que el agua es un bien público fundamental para los seres humanos y un elemento natural imprescindible en la configuración de los sistemas medioambientales, por consiguiente, es deber del Estado velar y garantizar el acceso de este recurso a toda la población colombiana, no obstante, se evidencian fallas en la cobertura, calidad y posibilidades de acceso para el sector agrícola. Esta problemática motiva el desarrollo de la presente investigación, planteando como objetivo

principal, el de ayudar a los agricultores del departamento de La Guajira en la identificación de aguas subterráneas viables para la agricultura, mediante el desarrollo de un prototipo IoT que utilice tecnologías UAV y GPR, el cual mitigue el riesgo de pérdidas por sequías extremas y eventos asociados.

Para combatir la problemática identificada se debe tener en cuenta que la Guajira es una de las regiones más vulnerables al cambio climático y está sujeta a fenómenos hidrometeorológicos cada vez más intensos, que, ocasionan sequías afectando la disponibilidad de agua para los distintos usos [1]. Principalmente para el sector agropecuario, el cual es uno de los más afectados con dicha situación, puesto que, en la región entre el 80 y 98% de los rubros agrícolas dependen de la lluvia. De acuerdo con la Unidad de Planificación Rural Agraria (UPRA) del Ministerio de Agricultura, únicamente el 5% del suelo en La Guajira tiene vocación agrícola y el 2% pecuaria [2]. Si se comparan estos valores con la vocación de todo el suelo nacional, 19% y 13% respectivamente, se observa la dificultad que tienen los habitantes en La Guajira, en especial, las comunidades en las zonas rurales para asegurar su sostenibilidad alimentaria. En caso de no cubrir esta necesidad puede traer consecuencias terribles, como lo es la desnutrición crónica, tal como lo manifiesta [3]. Además de la baja vocación agropecuaria del suelo, la seguridad alimentaria de las comunidades se reduce durante las épocas de sequía. En este sentido, podría pensarse que la variabilidad climática genera consecuencias negativas sobre los indicadores de desnutrición y mortalidad de la población. El cambio climático y la variabilidad climática han alterado los patrones de precipitación en la región, lo que afecta en general al sector agrícola, que es altamente dependiente de la lluvia. Por lo tanto, se hace necesario la búsqueda de opciones tecnológicas y prácticas que permitan hacer frente a los retos que impone el cambio climático y la variabilidad climática en la región.

Acorde a lo anterior, se evidencia que no existe la suficiente capacidad técnica regional, limitando la utilización de paquetes tecnológicos que se pueden aplicar con un margen de confianza en la zona más baja de La Guajira, lo que repercute en la existencia de un diferencial productivo o brecha tecnológica frente a estándares determinados. Otra deficiencia del sector agrícola está en el uso de los factores de producción, particularmente, en la tierra y el agua, el bajo nivel de innovación en los sistemas productivos, la baja formalización de la propiedad rural, la escasa productividad de la mano de obra rural y los altos costos de producción. A causa de lo expuesto anteriormente y conscientes de la importancia de abordar el vínculo entre la seguridad alimentaria y seguridad hídrica en el contexto del cambio climático, se propone utilizar la prospección de agua subterránea mediante el uso de GPR a bordo de un UAV; una tecnología que va a permitir una gestión adecuada de las aguas que se encuentran bajo tierra a un menor costo para beneficio del sector agrícola del departamento de La Guajira.

2. Aplicaciones de GPR (Radar de penetración de tierra) y UAV (vehículo aéreo no tripulado).

En este apartado se nombran algunas aplicaciones con GPR y UAV, partiendo de los retos que plantea la integración de estas dos tecnologías, por ejemplo, los GPR se montan en carros o carriolas y se usan en contacto muy cerca del suelo, con un gran tamaño y peso [4], lo que

significa una dificultad para ser incorporados en un UAV. Recientemente, se han llevado a cabo investigaciones y experimentos para integrar el sistema de radar en un mini UAV. Este uso relevante permite la detección sin contacto de objetos enterrados tales como minas [5], [6]; imágenes de grandes áreas que son difíciles de alcanzar [7], y explorar las aguas subterráneas [8].

Detección de minas terrestres: El simple hecho de integrar un GPR a bordo de un UAV ha contribuido significativamente en acelerar el proceso de liberación de tierras en el desminado humanitario. Este proceso consiste en que el UAV vuele a baja altitud para detectar la presencia y ubicación aproximada de minas terrestres, la detección de estas minas se hace gracias al módulo de GPR permitiendo la detección hasta una profundidad de 20cm [9], y el procesamiento de la imagen se realiza sin conexión utilizando un algoritmo de retroproyección. De igual manera posee otros sensores que contribuyen en la optimización del proceso los cuales son: un LIDAR altímetro y un sistema satelital de navegación global cinemático en tiempo real (RTK GNSS).

Obtención de imágenes de grandes áreas: La exploración de grandes áreas para detectar y generar imágenes subterráneas utilizando técnicas SAR como motor de procesamiento, es posible gracias a la implementación del sistema FMCW GPR montado en un mini UAV [7]. Los primeros resultados de este sistema muestran la detección de un objeto metálico enterrado a 0,4 m bajo tierra, gracias a su capacidad para adquirir, digitalizar y almacenar datos por medio de un modelo Raspberry Pi 2, estos datos son procesados posteriormente. El sistema GPR se compone de un radar FMCW portátil y dos antenas LPDA.

Explorar las aguas subterráneas: La utilización de agua subterránea para la agricultura de riego es aproximadamente del 43% del agua utilizada en todo el mundo [10], y la necesidad de agua potable se espera que aumente en un 50% en las próximas décadas [11]. De allí radica la importancia de identificar agua subterránea y garantizar la sostenibilidad futura de los recursos hídricos. De esta manera se presenta una investigación inicial que permita las observaciones de la dinámica de los sistemas hidrológicos, revisando de manera específica los desafíos técnicos y las capacidades de los conceptos de GPR en el aire con aplicaciones para la detección de acuíferos, más exactamente la parte superior de nivel freático. De igual manera, también se analizan las capacidades y los requisitos tecnológicos asociados (y las limitaciones) para lograr el sondeo del radar a profundidades suficientes para detectar el agua en las regiones áridas del desierto [8].

En vista de la versatilidad al unir las tecnologías GPR y UAV, se confirma la viabilidad para ser implementadas en este proyecto con el único propósito de apoyar al sector agrícola del departamento de la Guajira, para mitigar el riesgo de pérdida de los cultivos por eventos de sequías extremas. Puesto que, para el caso de La Guajira, el simple hecho de tener un mayor acceso al agua garantizaría reducción de la pobreza urbana y rural, favoreciendo el desarrollo departamental. Al mismo tiempo, un mayor desarrollo socioeconómico genera la disminución en los índices multidimensional de la pobreza y de las necesidades básicas, y consecuentemente, un mayor acceso al recurso vital.

3. Diseño del prototipo IoT con tecnologías GPR (Radar de penetración de tierra) y UAV (vehículo aéreo no tripulado).

Con base al problema planteado que afronta el sector agrícola del departamento de La Guajira, debido a la escasez de agua y al desaprovechamiento del agua subterránea por falta de información de su ubicación para explotar dicho recurso, se plantea un análisis a los distintos métodos de prospección geofísicas que se adapte a las necesidades planteadas, que se refiere a los siguientes.

- El sistema de detección de agua subterránea no sólo debe estar enfocado en medir la profundidad, sino que, permita la posibilidad de reconfigurarse para adaptarse a las distintas condiciones que presente el terreno analizado.
- La elección del método de prospección geofísica se debe orientar directamente en que el sistema de detección de agua subterránea se acople a un vehículo aéreo no tripulado (UAV), el cual presenta unas especificaciones limitantes como lo son la cantidad de peso, dimensiones, velocidad de movimiento y autonomía.
- Debe poseer un sistema de extracción de los resultados de una forma precisa, fácil y rápida mediante una computadora.

Con base a las necesidades planteadas, se han definido las variables que permiten el diseño del proyecto, se parte de la variable de profundidad máxima de penetración, que hace referencia a la longitud que debe recorrer la señal enviada por el sistema GPR para detectar el agua subterránea, teniendo en cuenta las distintas pérdidas que sufre la señal en su camino de propagación hasta llegar al receptor. Con base a esta información recolectada se ha procedido a realizar las especificaciones del desarrollo, análisis y estudio del sistema GPR, que se hace mediante un sistema SDR. De este modo la investigación se ha orientado en la revisión de manuales y datasheet de las tarjetas HackRF ONE y las antenas para su correcta selección y posterior adquisición. Para poder comprender de qué se trata el **radar de penetración en el suelo (GPR)** es importante revisar su definición, la cual, según David J. Daniels [12], es una técnica de medición no destructiva, cuyo funcionamiento se basa en ondas electromagnéticas que le permiten la localización de objetivos o elementos ubicados dentro de una sustancia opaca o material de tierra. Por otra parte, un GPR también hace referencia al sondeo de tierra, penetración superficial (SPR) o radar subsuperficial. Acorde a lo anterior un GPR funciona mediante la transmisión de una secuencia regular de paquetes de energía electromagnética de baja potencia al material o suelo donde se aplique, recibiendo y detectando una señal reflejada débil del objetivo ubicada en el lugar donde se hace la exploración.

Por otra parte, el objetivo o elemento enterrado puede ser un conductor, un dieléctrico o combinaciones de ambos. Actualmente existen varios equipos disponibles en el mercado dependiendo de su alcance y su capacidad, los cuales se pueden usar con éxito para: proporcionar información forense en el curso de investigaciones criminales; detectar minas enterradas; inspeccionar carreteras; detectar servicios públicos; medir estratos geofísicos y en otras aplicaciones [13], [14] Y [15].

Para que el GPR pueda visualizar los objetos, utiliza señales de altas frecuencias [5], donde el rango del GPR se encuentra limitado por la conductividad eléctrica del suelo, al igual que la

potencia radiada y por el centro de la frecuencia transmitida. Por lo tanto, existe una relación directamente proporcional debido a que cuando la conductividad va aumentando, la profundidad de penetración disminuye. Esto se debe principalmente al calor disipado por la energía electromagnética, ocasionando que la potencia de la señal disminuya, evitando su propagación por el medio.

Al mismo tiempo, se debe abordar la otra tecnología fundamental para el desarrollo del proyecto, la cual es **UAV (vehículo aéreo no tripulado)**. Según la definición internacional del sistema de vehículos no tripulados (UVS), un vehículo aéreo no tripulado (UAV) es un diseño de avión genérico para operar sin piloto humano a bordo [16]. El término simple UAV se usa comúnmente en la comunidad de geomática, pero, también existen otros términos como: "Dron", vehículo pilotado a distancia (RPV), aeronave operada a distancia, sistemas de aeronave piloteada a distancia (RPAS).

Gracias a las investigaciones mencionadas y avances, hoy en día existe una variedad de UAV que se puede clasificar según: el tamaño, el peso, la resistencia, el alcance y la altitud de vuelo. UVS International [28] define tres categorías principales de UAV de la siguiente manera:

- UAV tácticos: la masa varía desde unos pocos kilogramos hasta 1.000 kg, el rango desde unos pocos kilómetros hasta 500 km, la altitud de vuelo desde unos pocos cientos de metros hasta 5 km, y la resistencia desde unos minutos hasta 2-3 días.
- UAV estratégicos: que incluyen sistemas de resistencia a larga altitud, estratosféricos y exoestratosféricos a gran altitud que vuelan a más de 20,000 m de altitud y tienen una resistencia de 2 a 4 días.
- Tareas especiales UAV: clasificados como vehículos autónomos de combate no tripulados, sistemas letales y señuelos.

La finalidad de las tecnologías del Radar de penetración en el suelo (GPR) y el Vehículos aéreos no tripulados (UAV) a implementar en este proyecto son: primero, permitirá la exploración de grandes áreas para detectar y generar imágenes sobre la presencia de agua subterráneas; utilizando un tipo de GPR para el dominio de la frecuencia llamado FMCW GPR, que básicamente lo que hace es transmitir continuamente la señal para cambiar la frecuencia de la portadora por medio de un VCO, en un rango de frecuencia elegido. El registro de los datos generados por el GPR se inicia automáticamente después del despegue del UAV y se detiene al aterrizar.

Los UAV son la tecnología encargada de realizar el sobrevuelo de los lugares objetivo y que se ha estimado podrían tener agua subterránea, este proceso se realiza de forma independiente y con velocidad constante con base a unas rutas preprogramadas; lo que mejora diez veces la productividad del trabajo de campo. Para los vuelos es importante contar con una precisión de altura extrema, ya que es crucial para garantizar las sesiones continuas de grabación de datos por parte del GPR.

El operador de UAV debe monitorizar el funcionamiento del GPR o al menos ver los datos de rastreos. Gracias al IoT, se puede controlar el GPR desde la estación terrestre: iniciar / detener la

grabación de datos, cambiar el modo y la configuración de GPR, etc. Todas estas funciones se apoyan en la interfaz de piloto automático que se usa para facilitar la comunicación entre la estación terrestre y el sistema IoT.

El sistema propuesto se compone de 5 subsistemas, los cuales son:

- Subsistema de control de vuelo, que consiste en un microcomputador (Raspberry Pi), un controlador de vuelo UAV y sensores de posicionamiento comunes (IMU, barómetro).
- Subsistema de comunicación.
- Subsistema de posicionamiento preciso para proporcionar una precisión.
- Subsistema de radar, el cual se compone de HackRF One y de las antenas RX y TX.
- Una estación terrestre (por ejemplo, una computadora portátil), que recibe mediciones de radar e información de posicionamiento y georreferenciación, y la procesa para mapear mediciones de radar con precisión de nivel centimétrico. Las mediciones georreferenciadas se procesan junto con el algoritmo de imágenes subterráneas para crear imágenes de radar del suelo y los objetos enterrados en él.

Estos subsistemas deben operar de manera sincronizada para garantizar la correcta operación y funcionamiento del prototipo en el campo de prueba, el cual deberá ejecutar los siguientes pasos:

1. El operador selecciona las coordenadas GPS del punto de inicio de la misión (a través de Google Earth). Al usar la GUI de la estación terrestre, el operador define el camino para cubrir un área deseada.
2. Antes de proceder a experimentos reales, el operador debe iniciar el simulador para verificar que el dron pueda operar a la altitud y velocidad deseadas.
3. Una vez que se valida la misión, el operador debe enviar los parámetros de la misión al dron (haciendo clic en enviar en la GUI), incluida la lista de puntos de ruta de trayectoria, altura y velocidad de mando y parámetros de configuración de GPR.
4. Al hacer clic en Inicio, el dron espera hasta que el operador despegue manualmente hasta aproximadamente 1 m sobre el suelo. Usando el controlador RC, el operador cambia al modo autónomo. El control de altitud del dron posiciona el dron a unos 50 cm para garantizar el rendimiento adecuado de GPR. El control de posición del piloto automático utiliza la retroalimentación GPS para rastrear los puntos de ruta, mientras que un control de actitud de retroceso + DAF permite un vuelo estable. El operador puede abortar la misión moviendo cualquier palanca del controlador RC.
5. Una vez que el dron finaliza la misión, el dron envía todos los datos a la estación base y espera el aterrizaje manual.
6. Dentro de la estación base, el operador puede visualizar los resultados de GPR y el terreno geo-mapeado.

4. Resultados y Conclusiones

Los resultados que se esperan obtener con la prueba final en el Sistema IoT son: lograr la correcta integración de las tecnologías propuestas, lograr que el funcionamiento del sistema GPR y UAV

estén bajo los parámetros aceptables para ejecutar la prueba, poder identificar la presencia de agua subterránea a una distancia aproximadamente de 5 Mt. Además, el presente proyecto de investigación aplicada se realiza con la finalidad de demostrar que la implementación de un prototipo un sistema IoT con base en la tecnología GPR a bordo de un UAV es la mejor alternativa para solucionar los problemas de obtención de agua en el sector agrícola del departamento de La Guajira. Lo que significaría el desarrollo de una nueva opción para la identificación de agua subterránea en la región, que redundaría en un mejoramiento de la calidad de vida y la producción del sector agrícola en el departamento y a su vez facilitaría el acceso del agua a los habitantes que trabajan y viven de las actividades agrícolas del departamento.

Las tecnologías IoT se han convertido en opciones de desarrollo, en soluciones a problemas comunes que viven las personas, su aplicación como el sistema propuesto son una respuesta a la investigación e identificación de retos y oportunidades que propendan por un mejor vivir, con el apoyo de los nuevos avances de la ciencia.

5. Referencias

Artículos de Revistas

- [1] L. Sofía, B. López, V. G. Chirino, D. C. Lozano Espitia, and A. Páez Rodríguez, "Estudio para la implementación de una planta desalinizadora y distribución del agua potable en la Alta Guajira," Pontificia Universidad Javeriana, 2017.
- [2] U. de P. R. A. UPRA, "Gestión de información agropecuaria y planificación del desarrollo agropecuario La Guajira," UPRA, 2019. [Online]. Available: <https://sites.google.com/a/upra.gov.co/presentaciones-upra/departamental/la-guajira>. [Accessed: 08-Apr-2020].
- [3] E. León, C. M. Acosta, and A. M. González, "Análisis de vulnerabilidad del territorio por sequía en el departamento de La Guajira, Colombia, a partir de una visión basada en necesidades básicas insatisfechas," ACA. Pregr. Civ., p. 63, 2015.
- [4] M. L. and B. L. M. Schutz, C. Decroze, "Design Study for UAV-Mounted GPR - IEEE Conference Publication," IEEE Access, 2019. [Online]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/document/8904664>. [Accessed: 24-Nov-2019].
- [5] T. W. and C. W. R. Burr, M. Schartel, P. Schmidt, W. Mayer, "Design and Implementation of a FMCW GPR for UAV-based Mine Detection," ieeexplore.ieee.org, 2018.
- [6] A. A.-A. and F. L. H. M. Garcia-Fernandez, Y. Alvarez-Lopez, B. Gonzalez-Valdes, Y. Rodriguez-Vaqueiro, "Recent advances in high-resolution Ground Penetrating Radar on board an Unmanned Aerial Vehicle - IEEE Conference Publication," IEEE Access, 2019. [Online]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/document/8739354>. [Accessed: 26-Oct-2019].
- [7] M. A. Yarleque, S. Alvarez, and H. J. Martinez, "FMCW GPR radar mounted in a mini-UAV for archaeological applications: First analytical and measurement results," in Proceedings of the 2017 19th International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications, ICEAA 2017, 2017, pp. 1646–1648.

- [8] R. M. Beauchamp et al., "Can Airborne Ground Penetrating Radars Explore Groundwater in Hyper-Arid Regions?," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 27736–27759, May 2018.
- [9] M. Schartel, R. Burr, W. Mayer, N. Docci, and C. Waldschmidt, "UAV-Based Ground Penetrating Synthetic Aperture Radar," in *2018 IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility, ICMIM 2018*, 2018.
- [10] S. Siebert et al., "Hydrology and Earth System Sciences Groundwater use for irrigation-a global inventory," *Hydrol. Earth Syst. Sci*, vol. 14, pp. 1863–1880, 2010.
- [11] W. V. Reid et al., "Earth system science for global sustainability: Grand challenges," *Science*, vol. 330, no. 6006, pp. 916–917, 12-Nov-2010.
- [12] J. J. Daniels, "Fundamentals of Ground Penetrating Radar," 1989, pp. 62–142.
- [13] E. R. Almeida, J. L. Porsani, A. Booth, A. T. Brunello, and T. Säkinen, "Analysis of GPR field parameters for root mapping in Brazil's caatinga environment," in *2018 17th International Conference on Ground Penetrating Radar, GPR 2018*, 2018.
- [14] C. Bristow, H. J.- Society, undefined London, S. Publications, and undefined 2003, "An introduction to ground penetrating radar (GPR) in sediments," sp.lyellcollection.org.
- [15] F. Soldovieri, O. Lopera, and S. Lambot, "Combination of advanced inversion techniques for an accurate target localization via GPR for demining applications," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 49, no. 1 PART 2, pp. 451–461, Jan. 2011.
- [16] "UVS International – Remotely Piloted Systems: Promoting International Cooperation & Coordination." [Online]. Available: <https://uvs-international.org/>. [Accessed: 24-Nov-2019].

Sobre autores

- **Rafael Alberto Daza Plata:** Ingeniero de sistemas. Docente Ocasional. radazap@unad.edu.co.
- **Sixto Enrique Campaña Bastidas:** Ingeniero de Sistemas, Especialista en redes y servicios telemáticos, Magister en Software libre, Doctor en Ingeniería. Docente Investigador Asociado. - UNAD sixto.campana@unad.edu.co.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)