



CAPÍTULO

---

# AGRICULTURA DIGITAL URBANA EN COLOMBIA: TENDENCIAS Y DESAFÍOS

---



*Yulian Adalberto Sepúlveda Casadiego*

*Ramón Antonio Mosquera*

Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente.

**Correos electrónicos:**

yulian.casadiego@unad.edu.co

ramon.mosquera@unad.edu.co

## 4.1 INTRODUCCIÓN

---

La humanidad ha estado vinculada a la tierra desde su origen, inicialmente a manera de alimentación de sus frutos naturales, seguida de su producción controlada a través de la agricultura desde sus primeros asentamientos, la información más antigua que al día de hoy se tiene, data de Mesopotamia y Egipto con las primeras técnicas agrícolas y de riego, seguida de la ciudad de Empúries, Roma en el 575 A.C, donde tenían jardines utilizados para cultivos de plantas medicinales, aromáticas, flores y árboles frutales, dentro de espacios amurallados de castillos, monasterios y ciudades, conocidos como huertos (Rodríguez, 2017). La agricultura entonces ha tenido lugar dentro de la ciudad (urbana) y sus periferias (periurbana), la primera haciendo referencia a pequeñas superficies dentro de una ciudad y la segunda a unidades agrícolas cercanas a la ciudad con fines principalmente comerciales o semicomerciales (Clavijo y Cuvi, 2017).

Observando la dinámica actual de las ciudades y regiones urbanas, existe una tendencia a la expansión urbana, hacia el paisaje rural circundante, causando desafíos y conflictos que mediante la planificación se pueden manejar de manera estratégica, en diferentes contextos de desarrollo y regulación (Nilsson et al., 2014).

Los huertos urbanos han empezado a tener mucho peso e importancia en relación con la soberanía alimentaria, mejora la calidad de vida, educación ambiental, transformación y regeneración urbana, el término “Agricultura Urbana y Periurbana” o AUP, fue propuesto por la FAO, precisamente como esas prácticas que contribuyen a mejorar la calidad de vida, concientización y seguridad alimentaria (Zaar, 2011).

Conforme a la definición de la FAO (2011), se entiende por seguridad alimentaria al “acceso físico, social y económico permanente a alimentos seguros, nutritivos y en cantidad suficiente para satisfacer sus requerimientos nutricionales y preferencias alimentarias, y así poder llevar una vida activa y saludable”. Los cultivos urbanos sostenibles son considerados entonces una alternativa para la seguridad alimentaria, en América Latina y el Caribe, se han venido impulsando distintas estrategias para la erradicación del hambre y la pobreza a través de esta perspectiva, recuperando los saberes ancestrales en términos de cultivos sostenibles.

Según Ávila (2019), la consideración de la AUP es muy variable, en sociedades de mayor desarrollo ha sido impulsada por grupos sociales o ciudadanos que fomentan su práctica por medio de espacios vacíos o subutilizados, los cuales se han mantenido como ámbitos de resistencia a la continua pérdida de áreas verdes y a la producción de alimentos sanos, generando un fuerte impacto para la reconstitución y reforzamiento del tejido

social, y a pesar de su poco alentador escenario en la planificación territorial, en países latinoamericanos existen grandes esfuerzos para que sean consideradas como uno de los actores centrales en el contexto actual de las dinámicas territoriales. Según Valoyes y Castillo (2016), la garantía del derecho a la Seguridad Alimentaria y Nutricional (SAN), implica no solo el logro de un derecho, sino de un conjunto de derechos, por lo cual es necesario intervenir en esferas del desarrollo económico, social y humano.

Los principales sistemas de cultivo utilizados en la agricultura urbana y periurbana varían un poco según su finalidad específica y área disponible, los agricultores urbanos en su mayoría buscan mejorar la alimentación de la familia, los agricultores periurbanos que cuentan con extensiones más amplias, con una finalidad, además de subsistencia y de posible comercialización (Zaar, 2011). Aun así, los sistemas de cultivo utilizados son generalmente bajo prácticas ecológicas, con bajo porcentaje de sustancias químicas. En América Latina y el Caribe los sistemas utilizados se sintetizan en la Tabla 4.1.

**TABLA 4.1** Cuadro adaptado de agricultura urbana: algunas reflexiones sobre su origen e importancia actual

Sistema utilizado	Localización	Base tecnológica	Usuarios	Orientación potencial
Huertos intensivos	Periurbano	Manejo orgánico e inorgánico	Familias en trabajo colectivo	Comercial
Huertos organopónicos	Periurbano	Manejo y sustrato orgánico	Individual o colectivo	Autoconsumo/comercial
Microhuertos hidropónicos	Urbano	Soluciones nutritivas, control y reciclaje de materiales	Familiar	Autoconsumo
Huertos caseros y comunitarios	Urbano	Manejo agronómico convencional	Escuelas o colectivos familiares	Autoconsumo/comercial
Huertos integrales	Periurbano	Según modelo productivo, generalmente convencional que incluye especies animales	Granjas escolares o colectivos familiares	Autoconsumo/comercial
Empresa hidropónica de mediana escala	Periurbano	Solución nutritiva recirculante	Empresa familiar	Comercial

Nota. <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-944.htm>

De acuerdo con la Sociedad de Agricultores de Colombia, el país no cuenta con suficiente conocimiento y aplicación de tecnologías digitales útiles para monitoreo de cultivos, lo cual a nivel global está siendo de gran utilidad en el sector agropecuario, desde el punto de vista preventivo y productivo (Erasso, 2019).

## 4.2 AGROECOLOGÍA Y AGROBIODIVERSIDAD

---

La inserción de la naturaleza en las ciudades ayuda en el ciclo del metabolismo urbano con factores como el agua, la energía y la materia, y ayudar a recuperar variedades locales, aumenta la biodiversidad (Zaar, 2011). La agrobiodiversidad comprende los recursos genéticos de organismos como plantas, animales y microorganismos para la producción de alimentos, teniendo entonces que entre más diversos sean los sistemas productivos, habrá mayor estabilidad, mayores mecanismos de autorregulación, por ende, mayor será el equilibrio de los sistemas (Hernández, 2006).

Por esto entonces, es necesaria la inclusión en la planificación y en la práctica de la agroecología, según la FAO, puede ser entendida como una disciplina, ciencia, práctica y movimiento social que estudia cómo los diferentes componentes del agroecosistema interactúan, busca sistemas agrícolas sostenibles que optimicen y estabilicen la producción, persiguiendo papeles multifuncionales para la agricultura, promoviendo la justicia social, nutriendo la identidad y la cultura, y reforzando la viabilidad económica de zonas rurales. De acuerdo con la FAO (2014) Simposio Internacional en Agroecología para la Seguridad Alimentaria y Nutrición, celebrado en septiembre en Roma, se define la agroecología como “el estudio integrador de la ecología de todo el sistema alimentario, que abarca dimensiones ecológicas, económicas y sociales. Se centra en trabajar y comprender las interacciones entre plantas, animales, humanos y el medio ambiente dentro de los sistemas agrícolas. Al aplicar los principios ecológicos en los agroecosistemas, a través de la intensificación ecológica, se pueden identificar enfoques de gestión novedosos, basándose en interacciones clave y fortaleciendo ciclos virtuosos en la producción agrícola que de otro modo no se consideran” (p.1). Las principales interacciones para tener en cuenta en la agroecología son: la polinización, el control natural de plagas, la integración de los cultivos y animales, la biodiversidad del suelo, la fijación de nitrógeno, la resistencia a la sequía, la agrosilvicultura, el manejo del agua, acuicultura, los cultivos de superficie y rotación, los cultivos perennes, la energía y la construcción de comunidades (FAO, 2013).

## 4.2.1 PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICA PERIURBANA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA: COLOMBIA

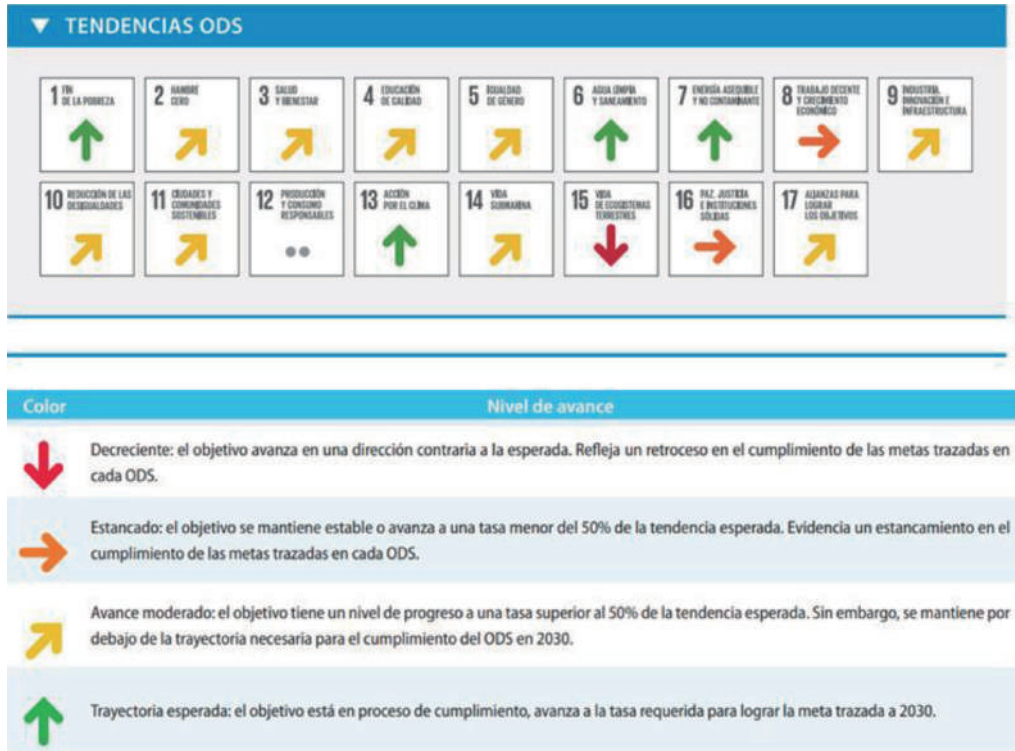
Actualmente la población latinoamericana ha sido marcada por un alto crecimiento poblacional, una acentuada migración del campo y un acelerado proceso de urbanización. En Colombia esto ha venido acompañado de un establecimiento de miseria en los alrededores de las ciudades, motivados por la pobreza y la violencia, combinadas con emergencias climáticas y macroeconómicas, que repercuten en la accesibilidad a suministros alimentarios adecuados y buenas condiciones de crecimiento (Marulanda, s.f.). Por esto, las prácticas agrícolas urbanas y periurbanas han tomado una fuerte importancia como estrategias socioeconómicas y ecológicas de economía sostenible (Gil y Ricardo, 2019).

La capacidad de transformar la ruralidad en Colombia, es incidida por acontecimientos internacionales como es la agenda 2030 con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el Foro Rural Mundial y movimientos sociales como la Vía Campesina (Acevedo y Jiménez, 2019), y nacionales como es el posconflicto y la Política de Seguridad Alimentaria y Nutricional (PSAN), de la cual surge el Plan de Seguridad Alimentaria y Nutricional (PNAN), que abarca un conjunto de objetivos, metas y estrategias desde el Estado y la sociedad civil para asegurar el acceso a los alimentos y así proteger a la población del hambre y la mala alimentación (Monroy, 2016).

La situación de Colombia frente a los ODS, que influyen como un todo en la seguridad alimentaria, es presentada en la Figura 4.1, extraída del índice ODS 2019 para América Latina y el Caribe, realizado por el Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina y el Caribe (CODS, 2020), Colombia se encuentra entre los casos más críticos de desigualdad en la región.

Según Torres-Vivas (2018), la agricultura urbana en la actualidad permite las prácticas para la seguridad alimentaria, la biodiversidad, minimiza los efectos del cambio climático y da las herramientas para el desarrollo sostenible de una comunidad. Aumentar la disponibilidad y producción de alimentos en áreas urbanas y periurbanas a través de la agricultura, así como su acceso físico, permite un mayor consumo y comercialización de hortalizas, frutas, tubérculos, cereales y leguminosas, lo cual contribuye a la calidad de vida por medio del proceso alimentario (Monroy, 2016).

**FIGURA 4.1** Tendencia de los ODS para Colombia. Cuadro inferior presenta las convenciones para el nivel de avance.



Fuente: <https://cods.uniandes.edu.co/wp-content/uploads/2020/06/%C3%A9ndice-ODS-2019-para-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-2.pdf>

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), viene trabajando la temática de la AUP, con el objetivo de dar soluciones tecnológicas al campo colombiano, promoviendo la innovación y desarrollo, para así contribuir a la seguridad alimentaria (Arce y Forero, s.f.). Cifuentes (2015), resalta la importancia del capital humano y la promoción del acceso a la información y a la capacitación, siendo fundamental que niños, jóvenes y adultos empiecen a practicar la agricultura urbana como estrategia de seguridad alimentaria, la necesidad de implementar huertas de aprendizaje, huertas familiares productivas e implementar talleres de cocina para conocer la información nutricional de los alimentos producidos y maximizar sus beneficios.

Para alcanzar los ODS, se requiere una transformación urgente del sistema agroalimentario actual, con tecnologías móviles, servicios de teledetección y procesamiento distribuido, el sector agrícola y alimentario está creando nuevas oportunidades para integrar a los pequeños agricultores en un sistema agroalimentario de base digital,

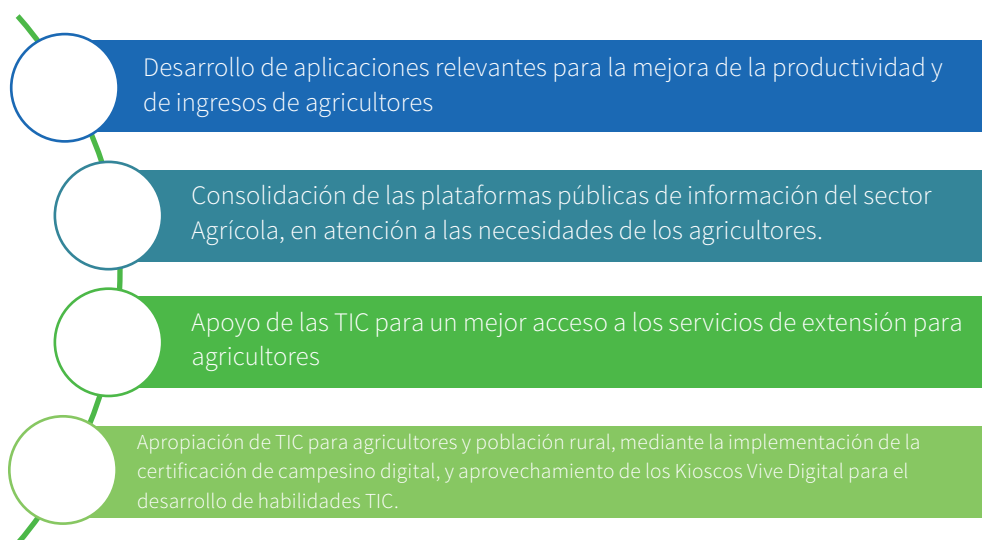
todo esto de la mano de la cuarta revolución industrial, la cual está causando una rápida transformación con tecnología de la cadena de bloques, la Internet de las cosas, inteligencia artificial y la realidad inmersiva (Trendov et al., 2019).

## 4.3 AGRICULTURA DIGITAL EN COLOMBIA

La agricultura digital tiene el potencial de generar beneficios económicos, incrementando la productividad agrícola, con eficiencia en costos y oportunidades de mercado, logrando también beneficios sociales y culturales incrementando la comunicación e inclusividad, y ambientales a través de la optimización del uso de los recursos y adaptación al cambio climático, contribuyendo así a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Trendov et al., 2019).

El Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (MinTIC), resalta la importancia del sector agrícola por su carácter productivo, contribución al PIB y generación de empleo, liderando el crecimiento de la economía en los últimos años, teniendo retos en cuanto a competitividad y productividad. Por esto, junto con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, se ha trabajado en la definición e implementación de un Plan de TIC para el sector agrícola, cuyas líneas principales son mostradas en la Figura 4.2.

**FIGURA 4. 2** Líneas principales Plan TIC para el sector agrícola.



Fuente: Elaboración propia, acoplado de: <https://mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-article-19492.html>



---

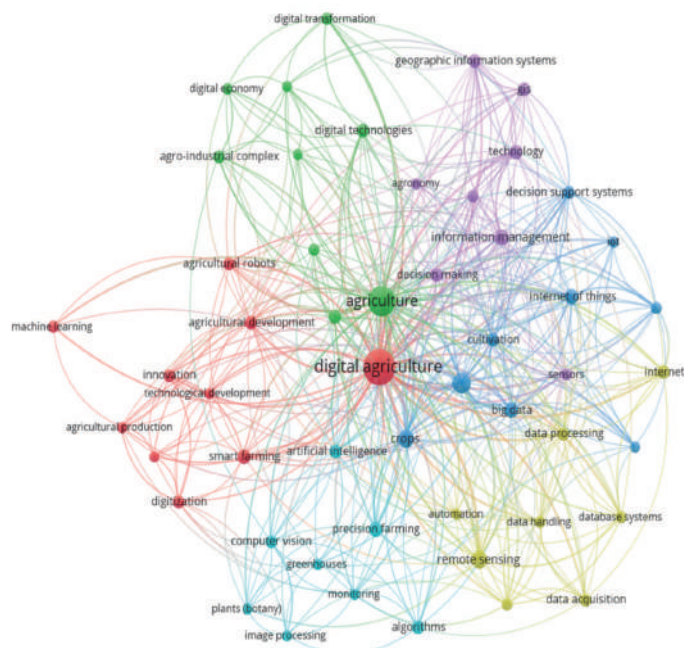
La Sociedad de Agricultores de Colombia, expresa que en Colombia (en términos del cultivo de papa), no se tiene conocimiento del uso de tecnologías como análisis de algoritmos de big data, o WatchITgrow, plataforma belga de monitoreo digital de los cultivos.

---

La Sociedad de Agricultores de Colombia, expresa que en Colombia (en términos del cultivo de papa), no se tiene conocimiento del uso de tecnologías como análisis de algoritmos de big data, o WatchITgrow, plataforma belga de monitoreo digital de los cultivos, sin embargo existen tecnologías de monitoreo satelital, que aunque tienen un alto costo, “pueden servir a los productores si estos se unen por regiones para contratar el servicio”, pudiendo así mejorar el monitoreo de los cultivos, y así actuar de manera preventiva para incrementar y mejorar la producción (Erasso, 2019). Trendov et al. (2019), expresan esta brecha digital del sistema agroalimentario, siendo evidente el riesgo de la distribución desigual de los beneficios de la digitalización entre las zonas rurales y urbanas, además entre edad, género y aptitudes digitales; también listan las condiciones para lograr la transformación digital, dentro de las cuales están: la disponibilidad, conectividad, asequibilidad, alfabetización electrónica, TIC en la educación digital, políticas y programas favorables, como condiciones básicas, y como condiciones propicias el uso de internet, teléfonos móviles y redes sociales, aptitudes digitales y apoyo a la cultura agroempresarial y de innovación.

La Figura 4.3, brinda información básica de la concurrencia de la palabra clave en agricultura digital, reporte obtenido en la categoría de visualización de la red de trabajo para un universo de 2654 entre artículos y revistas científicas, consultados en la base de datos especializada, (Scopus, 2020) (<https://www.scopus.com/>), se observa entonces en este reporte como esta palabra clave se está movilizandando en este escenario de consulta, sus redes y nodos de interés, esta palabra clave se conecta a su vez con otras palabras clave a través de nuevos artículos y revistas científicas. Construyéndose entonces un ecosistema dinámico en agricultura digital promisorio en el mundo y en Colombia.

**FIGURA 4.3** Análisis de concurrencia de palabras clave en agricultura digital.



Fuente: Scopus (2020).

## 4.4 AGRICULTURA DE PRECISIÓN (AP)

Este concepto se basa en aplicar la cantidad correcta de insumos, en el momento y lugar adecuados y exactos, involucrando uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y demás medios electrónicos, permitiendo que el análisis de resultados se pueda realizar en diferentes sectores dentro del mismo lote permitiendo ajustar el manejo diferencial (García y Flego, s.f.). Un esquema general de la AP se presenta en la Figura 4.4.

**FIGURA 4.4** Agricultura de Precisión.



Fuente: <https://croipaia.com/blog/precision-agriculture-what-is-it/>

En Colombia el panorama general muestra que las prácticas de manejo de cultivos siguen siendo muy tradicionales y poco tecnificadas, por eso en los últimos años utilizar imágenes satelitales con la Agricultura de Precisión han sido propuestas novedosas, sin embargo tiene inconvenientes no solo en costos, sino en la calidad de las imágenes, por esto utilizar Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV's) con capacidad de volar a baja altura y adquirir imágenes con alta resolución, al estar equipados con sensores son una solución innovadora y con varios retos a cumplir (Fajardo, 2014). Frattini (2019) enfatiza en que, si bien existen amplios y diversos beneficios con la AP, en el país parece aún estar bastante restringida la adopción del cambio tecnológico, existiendo algunas empresas como Identidad IoT que ha realizado pruebas piloto para demostrar su efectividad y así promover su uso a nivel nacional.

La Agricultura de Precisión (AP) es la aplicación de tecnologías y principios para el manejo de la variabilidad espacial y temporal asociada a todos los aspectos de la producción agrícola con el propósito de mejorar la productividad del cultivo y la calidad ambiental (Pierce & Nowak, 1999). La Agricultura de Precisión proporciona la capacidad de recopilar, interpretar y aplicar información específica de las explotaciones, transformando datos e información en conocimiento y rentabilidad. Estos sistemas además permiten aumentar la precisión de las labores y la eficiencia de los equipos (Kreimer, 2003).

La principal característica de la Agricultura de Precisión es la adquisición de datos de todas las posiciones del terreno, de esta forma se puede trabajar con más detalle. Al tener información exacta de cada posición se pueden comparar las características de distintas coordenadas introduciendo la variabilidad; en este tipo de agricultura se tienen en cuenta las variaciones temporales, espaciales e históricas o predictivas.

También está la Sociedad General de Supervisiones S.A. (SGS), que ofrece servicios de Agricultura de Precisión entre los que están el mapeado químico de suelo, toma de muestras de hojas, inspecciones e interpretación de datos de cosechas, análisis de elementos macro y trazabilidad, análisis de agua, imágenes por satélite, potencial de los suelos para la gestión de la variabilidad en los campos, métodos de cultivo de labranza, profundidad de la raíz efectiva y gestión de zona para fertilización VRT, asegurando un total acceso a la información necesaria para producción y sostenibilidad de cultivos. FLYNORTH ofrece servicios basados en la AP (técnicas de fotogrametría multiespectral e hiperespectral), como índices de vegetación para el monitoreo de la salud de las plantas, manejo de la compactación del suelo y modelos de riego más eficientes, logrando detección de estrés, plagas y enfermedades, asesorías nutricionales, conteo de individuos y distribución de cultivos. Otra empresa que ofrece servicios de optimización de la producción agrícola a través del manejo de la variabilidad de los factores de producción de cultivo es SIMBIOT, mediante plataforma WEB, analítica de suelos, imágenes multiespectrales, mediciones meteorológicas, mediciones del suelo y análisis foliar, ofreciendo también equipos de medición y de respuesta inmediata.

Ochoa et al. (2012), concluyen que la AP constituye una estrategia para fortalecer la actividad agrícola de manera integral, que su progreso se debe orientar a la automatización, que es necesario investigar más en el manejo de la información geográfica y para que se consolide exitosamente en Colombia se debe brindar una mejor y actualizada educación a los actores del sector productivo.

Ibarra (2012), diseñó e implementó un sistema de adquisición de datos, el cual evidenció una mejor lectura del comportamiento del cultivo y del clima, señala que la comunicación mediante protocolo ZigBee presenta grandes ventajas al permitir la conexión entre dos dispositivos con un gasto de energía menor, manteniendo un sistema autónomo por más tiempo y disminuyendo costos; también concluye que la tecnología desarrollada para el sector agrícola debe ser robusta, asequible y de bajo costo para alcanzar a los pequeños productores, puesto que si bien están los desarrollos tecnológicos, en el campo práctico se debe pensar en su factible implementación para los agricultores.

Parody y Zapata (2015), tras una extensiva revisión de aplicaciones de la Agricultura de Precisión en Colombia, concluyen que la teledetección con imágenes de alta

resolución provenientes de drones es la más utilizada, al ser más económica y ofrecer una alta resolución espacial y temporal, y a diferencia de la tecnología satelital no se afecta por factores como la nubosidad. Igualmente concluyen que las imágenes aéreas obtenidas a partir de UAV's han sido utilizadas principalmente para monitoreo de labores agronómicas, determinación de índices de vegetación, de enfermedades e identificación de características de vegetación. En cuanto al cultivo de banano, Alcaraz & Jiménez (2018) concluyen, que fertilizar bajo un enfoque de AP, permite obtener una producción más sostenible, usando de manera más racional los recursos, ahorrando en costos de operación, además de disminuir el efecto de la contaminación al limitar de manera parcial los insumos químicos, expresan también que es clave identificar la aplicación de la AP para que sus beneficios se extiendan y compartan de forma transversal.

El productor, mediante estas herramientas podrá cuantificar fácilmente la variabilidad natural de su campo para luego realizar los ajustes de manejo oportunos, evaluar el resultado de nuevas técnicas, el comportamiento de diferentes materiales genéticos, las recomendaciones de su consultor o proveedor de insumos, los errores de manejo que pueden haber cometido por decisiones equivocadas u omisión, etc. (Kreimer, 2003).

Siguiendo a Plant (2001), el uso de la Agricultura de Precisión está supeditado a los beneficios económicos y define tres criterios para que esto se cumpla:

- (1) Que la variabilidad de los factores dentro del área de cultivo influya en la producción final.
- (2) Que las causas de la variabilidad puedan ser identificadas.
- (3) Que la información obtenida pueda ser usada para mejorar las prácticas de manejo del cultivo y mejorar la productividad.

Con este enfoque, las ventajas de la Agricultura de Precisión sobre la tradicional son claras y contundentes, debido a la posibilidad de utilizar los insumos de forma cada vez más criteriosa con dosis adecuadas y de acuerdo con la real necesidad del cultivo. Este manejo del ambiente permite la aplicación de insumos solo en las áreas en las que resulta necesario y en donde la respuesta de esta intervención tendrá un claro beneficio económico.

La Figura 4.5 brinda información básica de la concurrencia de la palabra clave en Agricultura de Precisión, reporte obtenido en la categoría de visualización de la red de trabajo para un universo de 2654 entre artículos y revistas científicas, consultados en la base de datos especializada, (Scopus, 2020) (<https://www.scopus.com/>), se observa entonces en este reporte como, esta palabra clave se está movilizand



a través de la energía solar fotovoltaica, no solo contribuye a crear una agricultura sustentable, sino también soluciona el problema que puede acarrear la sustitución del uso del espacio agrícola para instalación de paneles solares (Chile desarrollo sustentable, 2020). La agrovoltaica entonces, en el contexto del cambio climático, tiene una doble función, generando energía limpia y reduciendo efectos negativos sobre los cultivos, puede ser aplicada en soluciones sencillas hasta en grandes campos con soluciones más potentes e innovadoras (“Agro-Voltaica: sumando agricultura y electricidad solar”, s.f.). Un ejemplo de organización e implementación de agrovoltaica se presenta en la Figura 4.6.

**FIGURA 4.6** *Planta agrovoltaica.*



Fuente: <https://www.chiledesarrollosustentable.cl/noticias/noticia-pais/que-son-las-plantas-agrovoltaicas/>

Según el estudio realizado por Amaducci et al. (2018), implementar la agrovoltaica, incide en la temperatura media del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio hídrico del suelo, favoreciendo así las condiciones para el crecimiento de la planta, en comparación a su crecimiento bajo luz solar directa. Se consigue entonces una mayor producción de cultivos alimentarios, se ahorra agua, ya que la sombra de los paneles aporta temperaturas diurnas más frías y nocturnas más cálidas y abren una nueva vía económica para el agricultor (Segui, 2019).

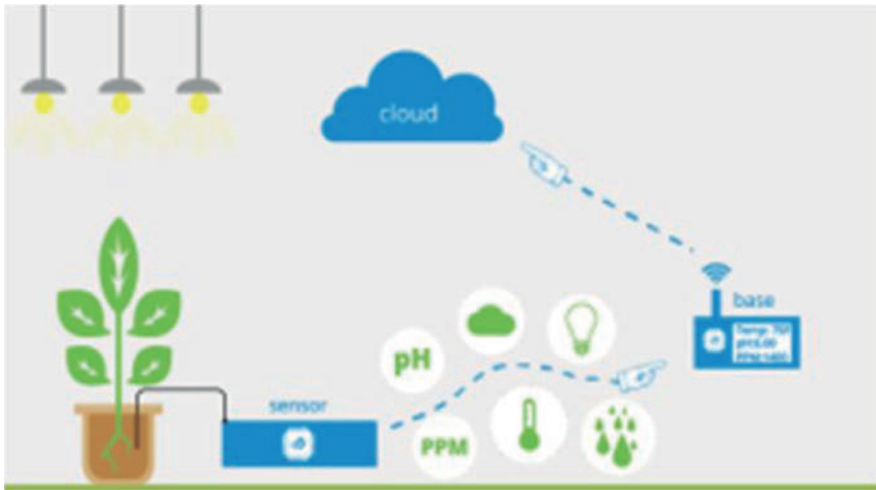
La Figura 4.7, brinda información básica de la concurrencia de la palabra clave en agricultura fotovoltaica, reporte obtenido en la categoría de visualización de la red de trabajo para un universo de 640 entre artículos y revistas científicas, consultados en la





procesos, predecir situaciones e incluso mejorar muchas actividades en tiempo real (Tzounis et al., 2017). El IoT involucra una red de sensores, actuadores, equipos de comunicación, internet, dispositivos digitales, varios software y hardware con conectividad entre ellos para brindar facilidad de control para los usuarios, los WSN al ser dispositivos de detección autónomos inteligentes, pueden pasar sus datos de forma cooperativa a una ubicación remota (Sharma et al., 2019). Un ejemplo del IoT en la agricultura se presenta en la Figura 4.8.

**FIGURA 4.8** *IoT en la agricultura.*



Fuente: <https://iotworm.com/agriculture-internet-of-things-iot-technology-applications>

El Internet de las cosas en la agricultura ayuda a aumentar la productividad de los cultivos, manejando y controlando actividades como la gestión del agua de los cultivos, integrando el servicio de mapas web (WMS) y el servicio de observación de sensores (SOS), analizando de manera inteligente los requerimientos de agua del cultivo y utilizando los recursos hídricos disponibles de manera sostenible (“Agriculture Internet of Things (IoT) Technology | Applications”, 2015). El diagrama de bloques del monitoreo inteligente de la agricultura, integra los sensores, los cuales envían los datos medidos al módulo Wi-Fi, siendo enviados al IoT en la nube, y seguido a esto se envían al móvil GSM o al enrutador Wi-Fi, siendo observable para el usuario por una aplicación de monitoreo y control que se ejecuta bien sea en el teléfono móvil o en la computadora (Sharma et al., 2019).

El IoT para la agricultura, garantiza entonces una comunicación precisa y oportuna de información en tiempo real, relacionada con procesos agrícolas dinámicos y pronósticos meteorológicos, la calidad del suelo, la disponibilidad y el costo de la mano de

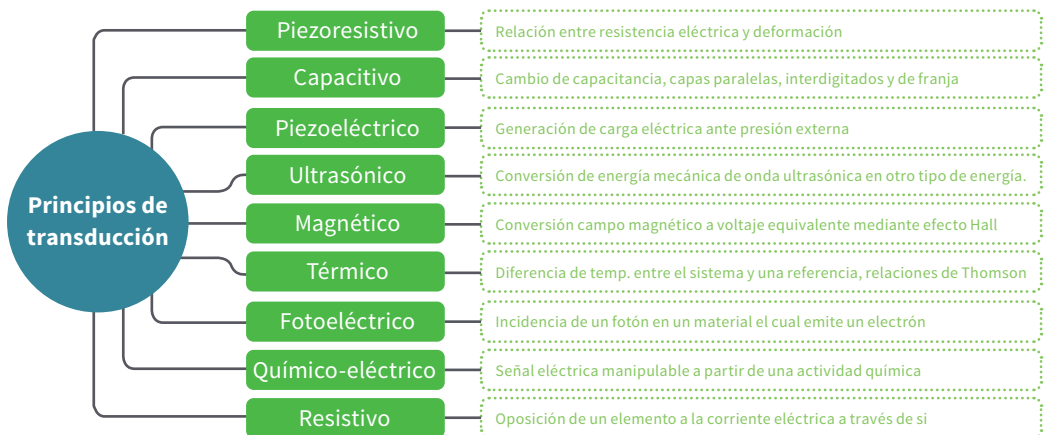


## 4.7 CIBERFÍSICA DE SENSORES

Los sistemas ciberfísicos (CPS) están compuestos por objetos, electrónica y software, son el eslabón tecnológico para lograr fusionar el mundo real con el virtual, estos se utilizan cada vez que se necesita poner un sistema físico complejo en comunicación con el mundo digital, para optimizar su rendimiento y mejorar su eficiencia (“Los intermediarios entre el mundo real y el virtual: sistemas ciberfísicos, el esqueleto del IoT”, s.f.).

Los sensores son ese dispositivo que permite cuantificar un parámetro físico, basándose en principios de transducción, los cuales son muy variados y dependen del tipo de variable física que deba cuantificar el sensor, se presentan en la Figura 4.10 (Corona et al., 2014).

**FIGURA 4.10** Principios de traducción y principales características de cada uno.



Fuente: Elaboración propia, <https://books.google.com.co/books?id=wMm3BgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=sensores&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiK6fbFxcrcqAhUvTd8KHxgkAOIQ6AEwAXoECAMQAg#v=onepage&q=sensores&f=true>

Como ya ha sido previamente expuesto, la Agricultura de Precisión abarca aspectos como el monitoreo, bien sea del suelo, de los cultivos o el clima, para esto juegan un papel esencial los sensores, las principales variables para las cuales se implementan son:

- **Conductividad eléctrica:**  
El valor de la conductividad eléctrica es influenciado por la concentración y composición de las sales disueltas, a mayor valor de la conductividad eléctrica, mayor será la conductividad, ya que la salinidad afecta el cre-

cimiento de las plantas, menor será el rendimiento (Rebolledo, 2014). Un muy bajo nivel de conductividad eléctrica puede también indicar que la solución no contiene nutrientes suficientes para la planta (Amaya y Cruz, s.f.). Se mide en el medio en el cual crecen las plantas, bien sea en sustrato sólido o líquido como en cultivos hidropónicos.

- **Tensión del suelo:**

Los métodos y sistemas de medición de la tensión interna del suelo (estado tensional volumétrico del suelo), permiten determinar diferentes grados de compactación y humedad del suelo. A medida que disminuye la humedad del suelo para los mismos niveles de tensión interna, se incrementa la resistencia a la penetración (Ramos et al., 2015).

- **Humedad relativa del aire:**

La humedad relativa es el porcentaje de vapor de agua en el aire en comparación con la cantidad total que podría contener el aire de estar saturado, es la manera más común de expresar los niveles de humedad, mas no expresa la pérdida de agua de la planta. El déficit de presión de vapor o DPV, es la diferencia de presión dentro de la hoja con comparación con la presión de vapor del aire, un DPV alto genera pérdida de agua por las hojas conocida como transpiración, si el DPV es bajo las estomas se cierran y la planta consume poca agua y poco fertilizante. Para programar riegos, es importante conocer el DPV, para así determinar si se necesita intercambio de aire o un aumento de la temperatura del aire para mantener más humedad (Peery, 2017).

- **Humedad del suelo:**

Para realizar un manejo eficiente del riego, se tienen parámetros como la capacidad de campo que se logra cuando toda el agua gravitacional se ha drenado, el punto de marchitez permanente es el contenido de agua en el suelo, el cual las plantas no pueden recuperar, el agua disponible para la planta que es el contenido de agua retenido entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente, el contenido gravimétrico de agua es como tal la medida directa de la humedad del suelo, densidad aparente, capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, déficit permitido en el manejo del riego y la profundidad de la raíz. La tensión de la humedad del suelo es el método más utilizado para programar el riego, esta varía depende del tipo de suelo y la profundidad a la cual se coloque el sensor de humedad, lo cual es importante revisar los anteriores parámetros (Enciso et al., 2007).

- **Oxígeno disuelto:**

En el suelo existen espacios porosos con un contenido determinado del oxígeno molecular o disuelto, el cual está disponible para la respiración de las raíces y por ende el crecimiento de las plantas, tanto la temperatura como la pureza del agua afectan los niveles de oxígeno disuelto (“Oxígeno disuelto para un mejor crecimiento: Parte I: ¿Qué es y por qué las plantas lo necesitan?” - “Clima de la misión”, s.f.).

- **Sólidos disueltos:**

Es un parámetro relacionado a la conductividad eléctrica, al no contar con un conductímetro se utiliza el parámetro de sólidos disueltos totales para estimar la concentración de sales disueltas.

- **pH:**

Conocer el pH del suelo, permite entender procesos químicos, la génesis del suelo, la fertilidad y disponibilidad de nutrientes para la planta. El pH no tiene efecto directo, más si efectos indirectos, tanto el ion  $H^+$  como el  $OH^-$ , influenciando en los equilibrios de los hidróxidos, carbonatos, sulfuros, fosfatos y silicatos, así como ser medio óptimo (o no) para los microorganismos del suelo bien sean bacterias u hongos, los cuales ponen igualmente en disponibilidad los nutrientes para las raíces de la planta (Zapata, s.f.).

El monitoreo del contenido de agua, fertilizante y acidez en el suelo es esencial para ayudar a los agricultores a optimizar la producción, conservar agua y fertilizante, reducir los impactos ambientales y ahorrar dinero. El monitoreo la humedad, los nutrientes y la acidez del suelo le puede ayudar al agricultor a tomar mejores decisiones en la programación del riego, tales como determinar la cantidad de agua y fertilizante soluble que precisa aplicar y cuándo aplicarlos. También le puede ayudar a igualar los requerimientos de agua y fertilizante del cultivo con la cantidad aplicada con el riego, y así evitar pérdidas de agua excesivas por percolación profunda o por escurrimientos o bien evitar aplicar una cantidad insuficiente.

El exceso de irrigación puede incrementar el consumo de energía y los costos de agua, aumentar el movimiento de fertilizantes por debajo de la zona radicular, producir erosión y transporte de suelo, y partículas de químicos a los canales de drenaje. Por esta razón los sensores nos permiten tener información en tiempo real de lo que está pasando en el suelo, y así tomar decisiones prontas que harán más eficiente la actividad agrícola y reducir los costos al no tener que enviar muestras a los laboratorios.

La palabra clave sensores en la agricultura, reporte obtenido en la categoría de visualización de la red de trabajo para un universo de 54 entre artículos y revistas científicas, consultados en la base de datos especializada, (Scopus, 2020), (<https://www.scopus.com/>), muestra que esta palabra clave se está movilizandando en este escenario de consulta, sus redes y nodos de interés, esta palabra clave se conecta a su vez con otras palabras clave a través de nuevos artículos y revistas científicas. Construyéndose entonces un ecosistema dinámico en Internet de las cosas (IoT) en la agricultura promisorio en el mundo y en Colombia.

## 4.8 SISTEMA DE INFORMACIÓN Y AGROMEDICIÓN

---

Según la patente sobre el Sistema de Información y Agromedicación Remoto | Ciab Móvil Versión 2.0, el cual se desarrolló bajo lenguaje de programación PHP: Hypertext Pre-processor, utiliza un sistema de gestión de base de datos relacional RDBMS de código abierto basado en lenguaje de consulta estructurado MySQL como sistema de gestión de bases de datos relacional desarrollado bajo licencia dual: Licencia pública general/Licencia comercial por Oracle Corporation y un servidor web HTTP Apache de código abierto, para uso en plataformas Unix, Microsoft Windows, Macintosh y otras, que implementa el protocolo HTTP/1.1 y la noción de sitio virtual, según la normativa RFC 2616. Su diseño se realizó a partir de la metodología en cascada como modelo lineal de diseño de software que emplea un proceso de diseño secuencial o ciclo de vida de un programa, es el enfoque metodológico que ordena rigurosamente las etapas del proceso para el desarrollo de software, de tal forma que el inicio de cada etapa debe esperar a la finalización de la etapa anterior. Al final de cada etapa, el modelo está diseñado para llevar a cabo una revisión final, que se encarga de determinar si el proyecto está listo para avanzar a la siguiente fase a saber: análisis de requisitos, diseño del sistema, diseño del programa, codificación, pruebas, implementación o verificación del programa y mantenimiento.

La concurrencia de las palabras claves sistema de información y mediciones agrícolas, son reportadas en la categoría de visualización de la red de trabajo para un universo de 2054 entre artículos y revistas científicas, consultados en la base de datos especializada, (Scopus, 2020), (<https://www.scopus.com/>), se observa en este reporte como esta palabra clave se está movilizandando en este escenario de consulta, sus redes y nodos de interés, esta palabra clave se conecta a su vez con otras palabras clave por medio de nuevos artículos y revistas científicas. Construyéndose entonces un

ecosistema dinámico y en crecimiento en sistema de información y mediciones agrícolas promisorio en el mundo y en Colombia.

## 4.9 RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN EN AGRICULTURA DIGITAL URBANA EN COLOMBIA

---

El Centro de Investigación en Agricultura y Biotecnología (CIAB) (<https://campounad.unad.edu.co/investigacion>) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), gracias a su grupo de investigación, categorizado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCiencias), viene adelantando a partir del proyecto: Sistema de Información y Agromedición, desde el año 2017, el desarrollo de tecnologías de software, de fácil acceso, bajo costo y de alto impacto en las comunidades, pequeños y medianos agricultores, a partir de criterios basados principalmente en su empoderamiento en los territorios y el arraigo regional de sus pobladores. Permitiendo el desarrollo y la incorporación de tecnologías para uso en pequeños y medianos cultivos.

Es importante mencionar que la baja inversión en investigación agrícola siguiendo a la OECD (2011), así como la baja implementación de tecnologías agrícolas en la mayoría de nuestros cultivos en Colombia, depende en gran medida de la capacidad de proporcionar de manera escalada acceso a nuestras tecnologías a bajo costo, de fácil uso y que aumenten la productividad en los cultivos de nuestros campesinos, por este motivo es necesario implementar tecnologías que nos permitan gestionar información y datos para la toma inmediata de decisiones en beneficio de nuestros cultivos y su producción.

Siguiendo a la SAC (2016), “el comportamiento negativo de la producción de los cultivos, de ciclo corto en su mayoría, está asociado a la reducción de áreas sembradas por los bajos precios en el momento de las siembras y condiciones climáticas desfavorables provocadas por el intenso fenómeno de El Niño, un panorama que ha causado pérdidas en siembras, disminución en rendimientos por hectárea y baja calidad en los productos. Cabe señalar que la devaluación y el fenómeno de El Niño afectaron algunos productos agrícolas y sus consecuencias se vieron reflejadas en una inflación de alimentos que a noviembre, contando los últimos 12 meses, ascendió a 9,81 %”, de acuerdo al contexto anterior es necesario implementar tecnologías que permitan

a bajo costo, obtener información oportuna que beneficie al agro colombiano, así como el uso efectivo y eficiente del agua en los sistemas de riego es de importancia vital para el desarrollo de una agricultura sostenible, la seguridad alimentaria y el crecimiento económico en general, sobre todo teniendo en cuenta el aumento de la población mundial, el cambio climático y la competencia por el uso del agua de otros sectores económicos, por este motivo los Planes Nacionales de Desarrollo (PND) 2010-2014 y 2014-2018 han destacado, grosso modo, la importancia de contar con modelos productivos competitivos y sostenibles que tomen como punto de partida la implementación de agendas de investigación, innovación y tecnología por cadenas productivas priorizadas, haciendo énfasis en la gestión eficiente de los recursos naturales como el agua y uso racional de fertilizantes y agroquímicos.

La falta de sistemas de información y de agromedición a escala de pequeños agricultores, así como la ausencia de implementación de estos sistemas de información y de agromedición a bajo costo, y a su vez se adapten a cualquier cultivo es de vital importancia para el desarrollo del agro colombiano, la productividad de los cultivos y el crecimiento económico de nuestros agricultores, permitiendo mantener informados a nuestros pequeños agricultores con datos e información sensible de sus cultivos, y así generar capacidades de toma de decisiones en tiempo real y sin requerir estar presencialmente en sus cultivos.

De modo general, la mayoría de los agricultores colombianos, no cuentan con herramientas tecnológicas para tomar decisiones frente a factores asociados a la productividad agrícola como la variabilidad climática y el estado del suelo en sus cultivos, lo que no les permite tener la capacidad para reaccionar a tiempo y tomar la decisión correcta en su cultivo, poniendo en grave riesgo la seguridad alimentaria de las familias en las diferentes regiones del país, por lo tanto, es de vital importancia la implementación de tecnologías que garanticen una agricultura sustentable en el país.

En las Figuras de la 411A a la 411K, se presenta el sistema de información de datos abiertos climatológicos, resultado del proyecto código 2018/00060/001: Sistema de Información y Agromedición Remoto | CiabMóvil, producto de innovación y desarrollo tecnológico, reconocido por la Dirección Nacional de Derechos de Autor de MinInterior, a través del certificado de registro de soporte lógico Libro:13 Tomo: 80 Partida: 346 fecha obtención: 03 de agosto de 2020. Producto de innovación que se dispone para el uso de las comunidades en la República de Colombia.



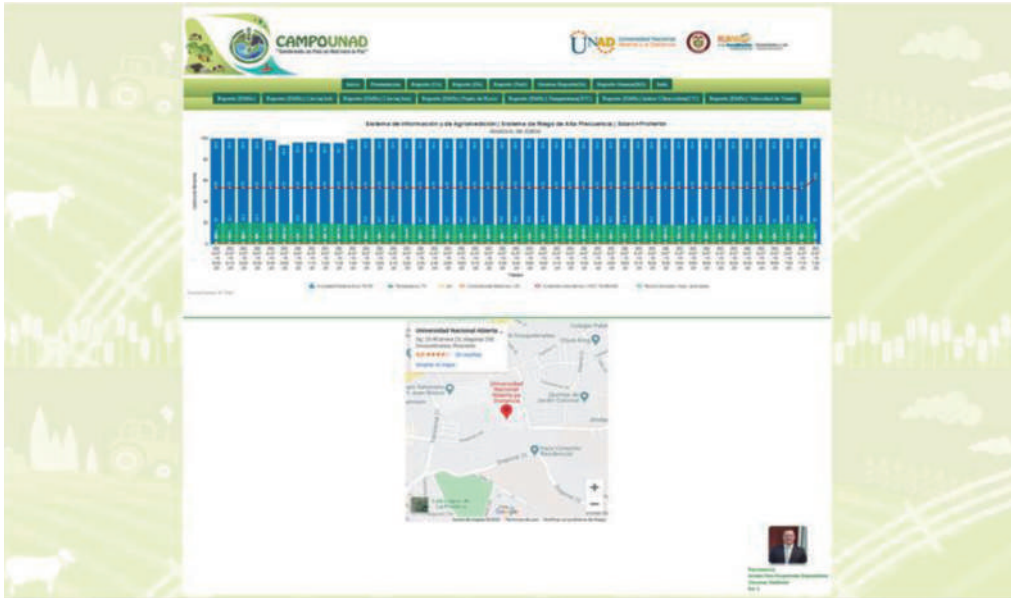
**FIGURA 4.11A** Sistema de información de datos abiertos climatológicos, interfaz de acceso.



Fuente: <http://190.128.117.163/sdarcprofv1/login.php>

Gracias al uso de esta interfaz, se logra acceder al sistema de información de datos abiertos climatológicos, usando las credenciales de: usuario: invitado y clave: invitado. Esta plataforma ha sido diseñada, programada e implementada con el uso de la infraestructura de investigación y desarrollo del Centro de Investigación en Agricultura y Biotecnología (CIAB) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) con datos abiertos a toda la comunidad nacional en el país.

**FIGURA 4.11B** Sistema de información de datos abiertos climatológicos.



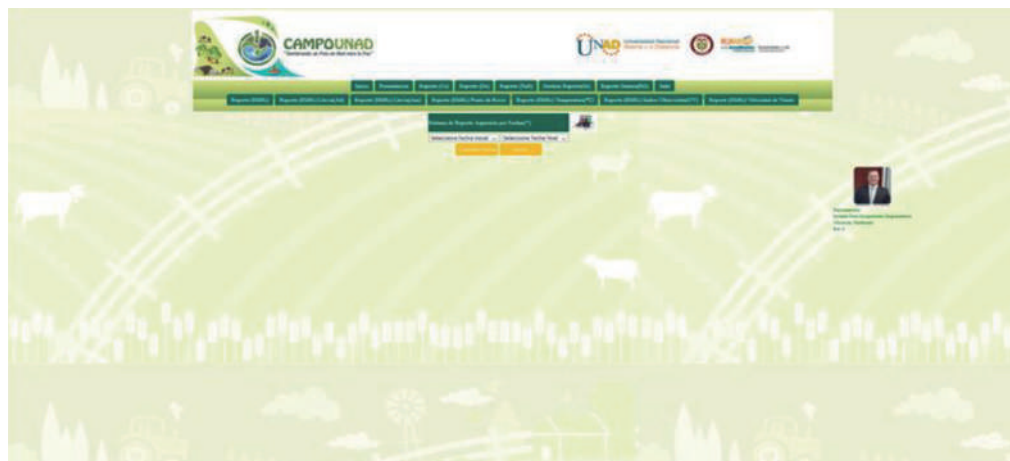
Fuente: <http://190.128.117.163/sdarcprofv1/login.php>

Mediante el uso de esta interfaz, se logra acceder a los datos almacenados en el sistema de información de datos abiertos climatológicos, usando algoritmos desarrollados por el equipo de investigación del CIAB. Por su desarrollo tecnológico, presenta algoritmos modulares que pueden ser de fácil adaptación a las necesidades específicas de las comunidades, permitiendo la construcción de reportes especializados. Este reporte permite reconocer, las siguientes variables meteorológicas como: velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad interior y exterior, temperatura de sensación y punto de rocío, lluvia actual y acumulada diaria, mensual y anual, intensidad de lluvia, presión atmosférica actual y tendencia, pronóstico meteorológico, fase lunar y hora de puesta y salida del sol; a partir de la gestión de sensores adicionales como: sensor de radiación solar, sensor de radiación UV, sensor de humectación de hoja, sonda de humedad del suelo, sonda de temperatura multipropósito, estación inalámbrica de temperatura, estación inalámbrica de temperatura y humedad, estación inalámbrica de agricultura, transmisor inalámbrico para anemómetro.



Por intermedio del uso de esta interfaz, se logra acceder a los datos almacenados en el sistema de información de datos abiertos climatológicos, respecto al comportamiento de las variables.

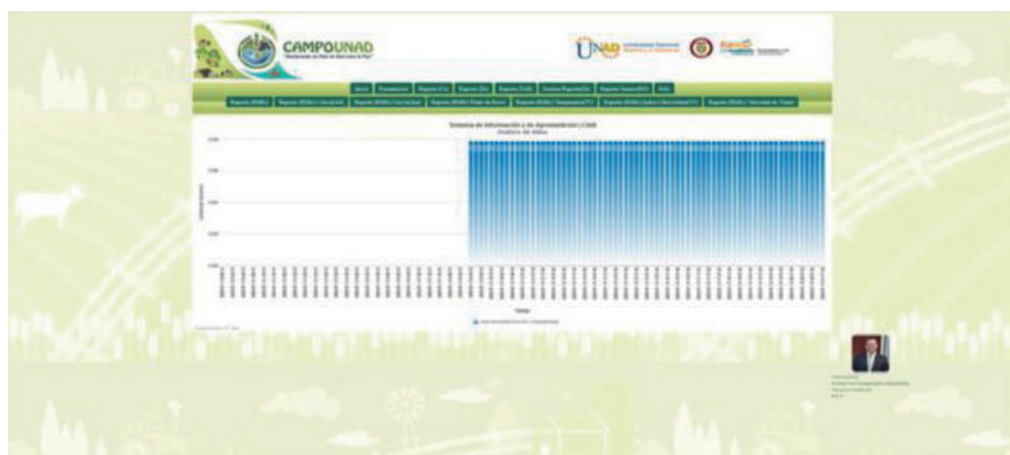
**FIGURA 4.11E** *Sistema de información de datos abiertos climatológicos.*



Fuente: <http://190.128.117.163/sdarcprofv1/login.php>

Con la ayuda del uso de esta interfaz, se logra acceder a los reportes por fechas y horas almacenados en el sistema de información de datos abiertos climatológicos.

**FIGURA 4.11F** *Sistema de información de datos abiertos climatológicos.*



Fuente: <http://190.128.117.163/sdarcprofv1/login.php>

Mediante el uso de esta interfaz, se logra acceder a los datos almacenados en el sistema de información de datos abiertos climatológicos, respecto a la variable de lluvia acumulada día (mm).

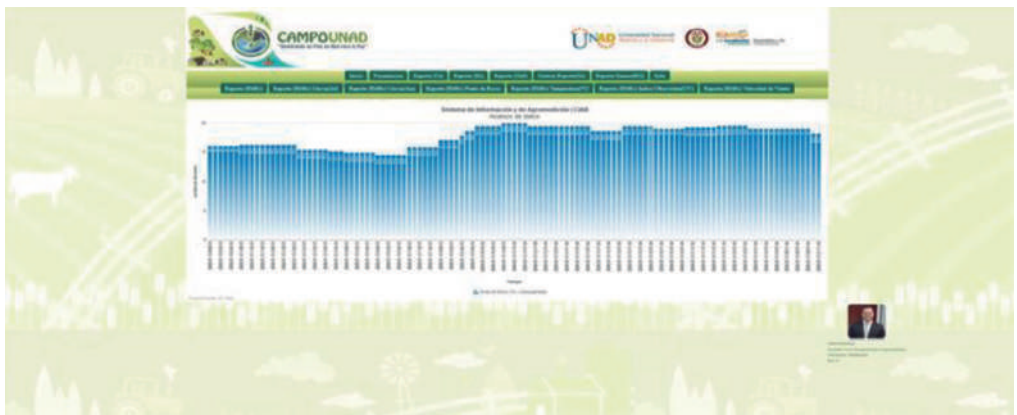
**FIGURA 4.11G** Sistema de información de datos abiertos climatológicos.



Fuente: <http://190.128.117.163/sdarcprofv1/login.php>

A través del uso de esta interfaz, se logra acceder a los datos almacenados en el sistema de información de datos abiertos climatológicos, respecto a la variable de lluvia acumulada mes (mm).

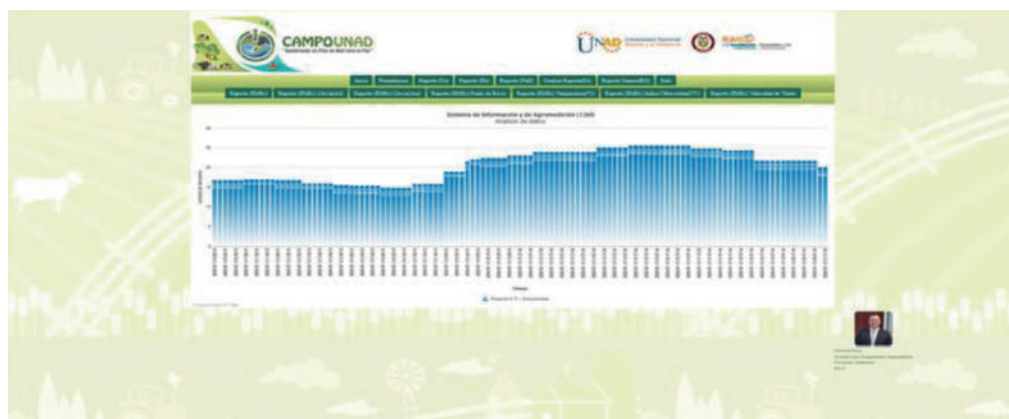
**FIGURA 4.11H** Sistema de información de datos abiertos climatológicos.



Fuente: <http://190.128.117.163/sdarcprofv1/login.php>

Mediante el uso de esta interfaz, se logra acceder a los datos almacenados en el sistema de información de datos abiertos climatológicos, respecto a la variable de punto de rocío.

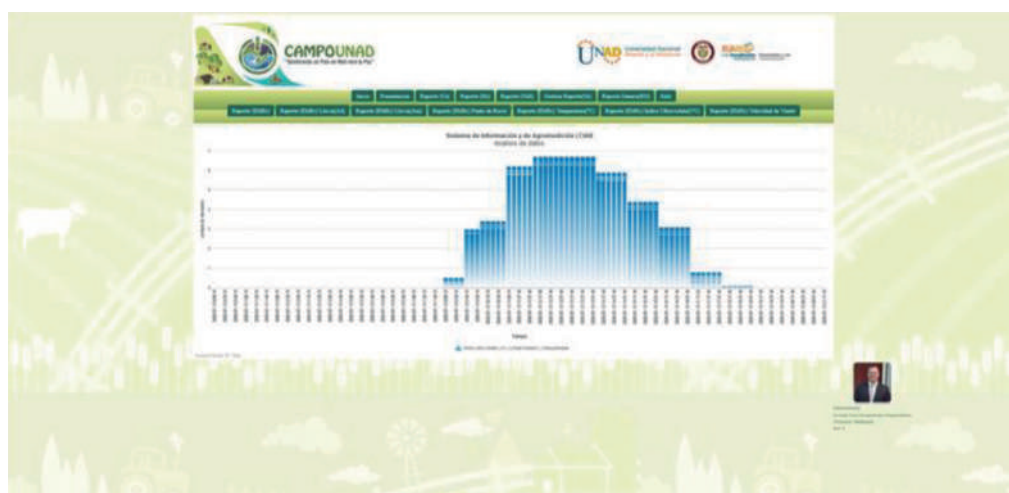
**FIGURA 4.11I** Sistema de información de datos abiertos climatológicos.



Fuente: <http://190.128.117.163/sdarcprofv1/login.php>

Por intermedio de esta interfaz, se logra acceder a los datos almacenados en el sistema de información de datos abiertos climatológicos, respecto a la variable de temperatura (°C).

**FIGURA 4.11J** Sistema de información de datos abiertos climatológicos.



Fuente: <http://190.128.117.163/sdarcprofv1/login.php>

Gracias al uso de esta interfaz, se logra acceder a los datos almacenados en el sistema de información de datos abiertos climatológicos, respecto a la variable de índice ultravioleta (UV).

**FIGURA 4.11K** Sistema de información de datos abiertos climatológicos.



Fuente: <http://190.128.117.163/sdarcprofv1/login.php>

Mediante el uso de esta interfaz, se logra acceder a los datos almacenados en el sistema de información de datos abiertos climatológicos, respecto a la variable de velocidad del viento (Km).

## 4.10 CONSIDERACIONES FINALES

La investigación agrícola en Colombia aún es muy incipiente y esta debe ser por ende, un ejercicio cotidiano que beneficie directa y permanentemente a nuestras comunidades, pequeños y medianos agricultores, así como su productividad, por este motivo debemos generar más investigación aplicada en el marco del desarrollo tecnológico, así como financiar proyectos de esta índole, ya que como lo indica la OECD (2011), “sobre la productividad en la agricultura se identifica que la fuente principal de crecimiento de esta es la investigación agrícola. El gasto en investigación se utiliza como el indicador principal de la importancia que se le otorga a dicha actividad. La medida utilizada usualmente es la intensidad del gasto en investigación y transferencia de tecnología con relación al Producto Interno Bruto (PIB) del país en referencia”. Este indicador debe ser coherente con nuestras expectativas de obtención de productos de calidad y mejora en el agro colombiano.

## 4.11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, Á. y Jiménez, N. (comps). (2019). Agroecología. *Experiencias comunitarias para la agricultura familiar en Colombia*. Corporación Universitaria Minuto de Dios (Uniminuto), Editorial Universidad del Rosario.

Agricultura de Precisión. (s.f.). <http://flynorthgroup.com/es/agricultura-de-precision/>

Agricultura de Precisión. (s.f.). <https://www.sgs.co/es-es/agriculture-food/seed-and-crop/soil-leaf-and-water-services/precision-farming>

Agricultura de Precisión. (s.f.). <https://simbiot.com.co/>

Agriculture Internet of Things (IoT) Technology | Applications. (2015). <https://ioworm.com/agriculture-internet-of-things-iot-technology-applications/>

Agrovoltaica: Sumando agricultura y electricidad solar. (s.f.). [http://www.nuevomodeloenergetico.org/pgs2/files/5115/8996/0315/Px1NME\\_Agrovoltaica\\_SumandoAgriculturaYElectricidadSolar.pdf](http://www.nuevomodeloenergetico.org/pgs2/files/5115/8996/0315/Px1NME_Agrovoltaica_SumandoAgriculturaYElectricidadSolar.pdf)

Alcatraz, J. y Jiménez, J. (2018). *La aplicación de la Agricultura de Precisión en el proceso de fertilización: un caso de estudio para el sector bananero del Urabá-Antioqueño*. [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12581/JuanGonzalo\\_JimenezTrespacios\\_JohnJames\\_AlcarazRestrepo\\_2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12581/JuanGonzalo_JimenezTrespacios_JohnJames_AlcarazRestrepo_2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Amaducci, S., Yin, X., & Colauzzi, M. (2018). Agrivoltaic systems to optimize land use for electric energy production. *Applied Energy*, (220), 545-561. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.081>

Amaya, A. y Cruz, L. (s.f.). *Diseño e implementación de un control de pH, conductividad y monitoreo del nivel de agua para el cuidado cultivos hidropónicos de uso doméstico*. U. Distrital. <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3811/1/CruzVel%C3%A1squezLeonardo2016.pdf>

Arce, B. y Forero, C. A. (s.f.). *Agricultura urbana y periurbana en la seguridad alimentaria*. [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1734/45412\\_62069.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1734/45412_62069.pdf?sequence=1&isAllowed=y)



Ávila, H. (2019). Agricultura urbana y periurbana. Reconfiguraciones territoriales y potencialidades en torno a los sistemas alimentarios urbanos. *Investigaciones Geográficas*, (98). <https://doi.org/10.14350/rig.59785>

Chile Desarrollo Sustentable. (2020). *¿Qué son las plantas agrovoltaicas?* <https://www.chiledesarrollosustentable.cl/noticias/noticia-pais/que-son-las-plantas-agrovoltaicas/>

Cifuentes, M. (2015). *La agricultura urbana como alternativa sostenible y de seguridad alimentaria en Nariño*. <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/90839.pdf>

Clavijo, C. y Cuvi, N. (2017). La Sustentabilidad de huertas urbanas y periurbanas con base agroecológica en Quito. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (21), 68. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.21.2017.2608>

CODS. (2020). Índice ODS 2019 para América Latina y el Caribe. Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina y el Caribe.

Corona, L. G., Ramírez, G. S., & Jiménez, A. (2014). J. M. Carreño. Grupo Editorial Patria, Technology & Engineering, (p. 317).

Enciso, J., Porter, D. y Périès, X. (2007). *Uso de sensores de humedad del suelo para efficientizar el riego*. <http://riograndewater.org/media/1080/e-618s-irrigation-monitoring-with-soil-water-sensors-spanish-version.pdf>

Erasso, M. (2019). *Nuevas tecnologías de agricultura digital para producción de papa - SAC - Sociedad de Agricultores de Colombia*. <https://sac.org.co/nuevas-tecnologias-de-agricultura-digital-para-produccion-de-papa/>

Fajardo, J. (2014). *Apoyo a la Agricultura de Precisión en Colombia a partir de imágenes adquiridas desde vehículos aéreos no tripulados (UAV'S)*. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16484/FajardoJuncoJuanCamilo2014.pdf?sequence=1>

FAO. (2014). *Simposio Internacional en Agroecología para la Seguridad Alimentaria y Nutrición*. <http://www.fao.org/3/i4729s/i4729s.pdf>

Frattini, S. (2019). *Agricultura de precisión: el futuro del agro colombiano - ANEIA-Universidad de Los Andes*. <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2019/08/31/agricultura-de-precision-el-futuro-del-agro-colombiano/>

García, E. y Flego, F. (s.f.). *Agricultura de Precisión*. <https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>

Gil, M. y Ricardo, M. (2019). *Huertas urbanas como alternativa de desarrollo económico sostenible*. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/33278/mdricardor.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hernández, L. (2006). La agricultura urbana y caracterización de sus sistemas productivos y sociales, como vía para la seguridad alimentaria en nuestras ciudades. *Cultivos Tropicales*, 27(2), 13-25 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1932/193215872002>

Ibarra, L. (2012). *Diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos con sensores: 808H5V5, MCP9700A, WATERMARK, MPX4115A, SQ-110, Comunicación mediante protocolo zigbee y mysql, para un cultivo de tomate en Sutamarchán, Boyacá (Colombia)*. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2288/lbarraluis2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Kreimer, P. (2003). Las TIC en la Agricultura de Precisión, Ceditec (Centro de Difusión de Tecnologías ETSIT-UPM).

Los sistemas ciberfísicos son el esqueleto del IIoT. (s.f.). <https://www.hbm.com/es/6267/sistemas-ciberfisicos-el-esqueleto-del-iiot/>

Marulanda, C. (s.f.). *La Agricultura urbana y periurbana en América Latina y el Caribe: Compendio de estudios de casos* (pp. 37-40). FAO. <http://www.fao.org/ag/agp/greener-cities/pdf/Compendium.pdf>

Monroy, K. (2016). *Agricultura urbana como alternativa de seguridad alimentaria y nutricional. Familias de la upz marruecos, localidad Rafael Uribe Uribe, Bogotá*. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/20398/MonroyQuevedoKatherinMayerli2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Nilsson, K. T., SickNielsen, C., Aalbers, S., Bell, B., Boitier, J. P., Chery, C., Fertner, M., Groschowski, D., Haase, W., Loibl, S., Pauleit, M., Pintar, A., Piore, J., Ravetz, M., Ristimäki, M., Rounsevell, I., Tosics, J., Westerink, I., & Zasada. (2014). Strategies for Sustainable Urban Development and Urban-Rural Linkages, Research briefings. *European Journal of Spatial Development*. [https://www.academia.edu/31640766/Strategies\\_for\\_Sustainable\\_Urban\\_Development\\_and\\_Urban-Rural\\_Linkages](https://www.academia.edu/31640766/Strategies_for_Sustainable_Urban_Development_and_Urban-Rural_Linkages)

OECD. (2011). *Fostering Productivity and Competitiveness in Agriculture*. OECD Publishing.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2011). *Una introducción a los conceptos básicos de la seguridad alimentaria*. <http://www.fao.org/3/al936s/al936s00.pdf>

Ochoa, A., Forero, A. y Cangrejo, L. (2012). *Actualidad y tendencias de la Agricultura de Precisión*. [https://www.researchgate.net/publication/324156309\\_Actualidad\\_y\\_tendencias\\_de\\_la\\_Agricultura\\_de\\_Precision](https://www.researchgate.net/publication/324156309_Actualidad_y_tendencias_de_la_Agricultura_de_Precision)

Oxígeno disuelto para un mejor crecimiento: Parte I: ¿Qué es y por qué las plantas lo necesitan? - Clima de la misión. (s.f.). <https://www.questclimate.com/es/dissolved-oxygen-better-growth-part-plants-need/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2013). *Manual técnico para la implementación de huertas periurbanas*. <http://www.fao.org/3/a-i3551s.pdf>

Parody, A. y Zapata, E. (2015). Agricultura de Precisión en Colombia utilizando tele-detección de alta resolución. *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo*, (0562-5351).

Peery, J. (2017). ¿Cómo influye la humedad en la calidad de los cultivos? | PRO-MIX. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/como-influye-la-humedad-en-la-calidad-de-los-cultivos/>

Pierce, F. J., & Nowak, P. (1999). Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy*, 67, 1-85.

Plant, R. E. (2001). Site-specific management: the application of information technology to crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30, 9-29.

Ramos, E., Martínez, A., Brito, A. y Batista, J. (2015). Determinación de la tensión del suelo, su correlación con la densidad e índice de cono. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24, 7-11. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=932/93243475002>

Rebolledo, S. (2014). *Conductividad eléctrica y salinidad*. <https://www.redagricola.com/cl/conductividad-electrica-salinidad/#:~:text=La%20salinidad%20de%20un%20suelo,composici%C3%B3n%20de%20las%20sales%20disueltas>

Rodríguez, J. (2017). *Evolución y cambios en las dinámicas de agricultura urbana: comprendiendo el origen de algunas estrategias medioambientales*. <https://arquitecturayciudades.wordpress.com/2017/07/11/evolucion-y-cambios-en-las-dinamicas-de-agricultura-urbana-comprendiendo-el-origen-de-las-estrategias-medioambientales/>

SAC. (2016). *Balance preliminar de 2015 y perspectivas de 2016*. <http://www.sac.org.co/es/estudios-economicos/balance-sector-gropecuario-colombiano/290-balance-y-perspectivas-del-sector-agropecuario-2012-2013.html>

Sanmartín, P., Ávila, K., Vilora, C. y Jabba, D. (2016). Internet de las cosas y la salud centrada en el hogar. *Revista Salud Uninorte*, 32(2), 337-351.

Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Obergfell, T., Bopp, G., & Reise, C. et al. (2020). Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Applied Energy*, 265, 114737. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114737>

Segui, P. (2019). Agrofotovoltaica: combinar paneles solares con agricultura. <https://www.farmlandgrab.org/post/view/29249-agrofotovoltaica-combinar-paneles-solares-con-agricultura>

Sharma, H., Haque, A., & Jaffery, Z. (2019). Smart Agriculture Monitoring using Energy Harvesting Internet of Things (EH-IoT). [https://www.researchgate.net/publication/334729611\\_Smart\\_Agriculture\\_Monitoring\\_using\\_Energy\\_Harvesting\\_Internet\\_of\\_Things\\_EH-IoT](https://www.researchgate.net/publication/334729611_Smart_Agriculture_Monitoring_using_Energy_Harvesting_Internet_of_Things_EH-IoT)

Torres, D. M. (2018). *Inclusión de la agricultura urbana sostenible en Bogotá dentro del posacuerdo colombiano. estudio de caso: ensayo de producción técnica de lulo a escala urbana*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2017). Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosystems Engineering*, 164, 31-48. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007>

Trendov, N., Varas, S. y Zeng, M. (2019). *Tecnologías digitales en la agricultura y las zonas rurales documento de orientación*. FAO. <http://www.fao.org/3/ca4887es/ca4887es.pdf>

Valoyes, E. y Castillo, S. (2016). *Construyendo caminos hacia la garantía de la seguridad alimentaria y nutricional en Colombia* (Cap. 1).

Verdouw, C., Wolfert, S., & Tekinerdogan, B. (2016). Internet of Things in agriculture. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 11(035). <https://doi.org/10.1079/pavsnnr201611035>

Zaar, M. H. (2011). Agricultura urbana: algunas reflexiones sobre su origen e importancia actual. *Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales*, 15, 944. <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-944.htm>

Zapata, R. (s.f.). *Casos especiales de acidez*. <http://bdigital.unal.edu.co/1735/7/9583367125.7.pdf>

