

Sistema de adquisición, almacenamiento y análisis de información fenológica para el manejo de plagas y enfermedades de un duraznero mediante tecnologías de agricultura de precisión

System acquisition and analysis of information storage and handling phenological pests and diseases of peach by precision farming technologies

ANDRÉS JIMÉNEZ

Ingeniero Electrónico, Magíster en Ciencias Física. Investigador del grupo Procesamiento Digital de Señales de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso, Colombia. andres.jimenez@uptc.edu.co

DIANETH RAVELO

Ingeniero Electrónico. Investigador del grupo Procesamiento Digital de Señales de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso, Colombia. dianeth.ravelo@uptc.edu.co

JOHANA GÓMEZ

Ingeniera Electrónica. Investigadora del grupo Procesamiento Digital de Señales de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso, Colombia. yohana.gomez@uptc.edu.co

Clasificación del artículo: investigación (Conciencias)

Fecha de recepción: noviembre 24 de 2009

Fecha de aceptación: mayo 25 de 2010

Palabras clave: Agricultura de precisión, Durazno, Enfermedades, Red de sensores inalámbricos.

Key words: Precision agriculture, Peach, Diseases, Wireless sensor network.

RESUMEN

Mediante este documento se explican los aspectos generales de un sistema capaz de seguir el comportamiento espacial y temporal de las enfermedades

del durazno: torque, monilia, cenizo, perdigona y la plaga de la mosca de la fruta, usando las tecnologías de agricultura de precisión. Este sistema emplea una red inalámbrica de sensores para monitorear el clima

y trampas para insectos, un sistema de adquisición de datos basado en PDA (Asistente Digital Personal) y un sistema de procesamiento y visualización.

ABSTRACT

General aspects of a system capable of monitoring the spatial and temporal behavior of the diseases: peach

leaf curl, peach brown rot, peach powdery, peach shot-hole and the fruit fly plague using the precision agriculture technologies are explained throughout this paper. This system employs a wireless sensor network for insect trap and climate monitoring, a data acquisition system based on PDA (Personal Digital Assistant) and a processing-visualization system.

* * *

1. Introducción

La agricultura de precisión (AP) es una tecnología que ha revolucionado el arte de cultivar en el mundo y poco a poco ha logrado un lugar importante en el ámbito de las investigaciones; Srinivasan [1] apoya esto cuando dice que la agricultura domina las decisiones del manejo de la tierra en el mundo. La necesidad urgente de duplicar la producción agrícola sobre los próximos 25 años con menos tierra y con menos agua, inevitablemente envuelve costos ambientales, económicos y sociales. Son muchos los autores que han escrito sobre agricultura de precisión y son varias las definiciones que se le ha dado, pero la idea siempre es la misma. Según Srinivasan [2] en términos simples la agricultura de precisión es una estrategia holística y ambientalmente amigable, en la cual los agricultores pueden variar las entradas y métodos de cultivos, incluyendo la aplicación de semillas, fertilizantes, pesticidas, agua, selección variable, siembra, labranza, riego y cosecha para manejar la variabilidad del suelo y las condiciones del cultivo a lo largo del campo. Una aplicación importante de la agricultura precisa, y parte de la mayoría de los programas de protección de cultivos en el mundo, es la utilización de planes de Manejo Integrado de Plagas (MIP o IPM por sus siglas en inglés). “Hubo más de 67 definiciones en la literatura mundial solo entre los años 1959 y 2000” [3]; de todas, una de las más completas fue propuesta por Kogan en 1998 quien concluyó que “IPM es un sistema de apoyo a toma de decisiones para la selección y uso de tácticas de

manejo de plagas, coordinado a una estrategia de manejo, basado en el análisis costo/beneficio que toma en cuenta los intereses e impactos en productores, sociedad y ambiente”[4].

En el MIP tradicional se hace una evaluación de las densidades de una plaga o enfermedad determinada a través de un monitoreo o muestreo de sus poblaciones; el resultado se compara con el umbral económico de la peste y luego se toma la decisión de aplicar o no homogéneamente una acción de control en todo el cultivo, con base en el estimado poblacional global. Sin embargo, con el advenimiento de las geotecnologías (base de la AP), ha nacido un nuevo concepto, el MIP en sitio específico (*Site-Specific-IPM* o *P_IPM*, por sus siglas en inglés). Esta técnica requiere muestreos intensos con el objeto de medir la variabilidad espacial de los parámetros en estudio (densidad de plagas, malezas, patógenos), para luego construir mapas de sus distribuciones espaciales. Eso hace más precisos los muestreos y las aplicaciones de plaguicidas debido a que es posible dirigir el control a áreas específicas dentro de un cultivo, tomando como primer criterio la ubicación espacial real de focos de alta densidad poblacional (*Hot spots*) [5]. En este documento se describe el desarrollo de un sistema de monitoreo del comportamiento espacio-temporal de las principales enfermedades que atacan al duraznero de la finca Santa Isabel, de Duitama-Boyacá. Esta es una herramienta de ayuda para los agrónomos debido a que permite obtener mapas del comportamiento de cada enfermedad

para una fecha específica y estudiar el comportamiento de las principales variables climáticas que inciden en la proliferación de las mismas, como: la velocidad y dirección del viento, la temperatura, la humedad relativa y la pluviosidad.

2. Monitoreo de plagas y enfermedades

La posibilidad de encontrar focos de infestación es lo que posiciona al MIP de sitio específico en un lugar importante para la consecución de los propósitos de la AP: disminución de costos de producción y reducción de efectos nocivos al medio ambiente, debido a la aplicación de los insumos agrícolas en el lugar, instante y cantidad adecuados. Sin embargo, para lograrlo, el MIP necesita confiar en la exactitud de la técnica de supervisión de las plagas, por lo que sería casi imposible ejecutar el control en el momento y lugar correcto, sin recoger información de la dinámica de la población y de los factores ecológicos relacionados, conclusión respaldada por Jiang [6]. Lo anterior obliga a destacar dos factores importantes para el MIP: el primero es el monitoreo o muestreo del comportamiento de las plagas, el cual es considerado “piedra angular para el establecimiento de cualquier programa MIP y consecuentemente, primer paso para la aplicación de la Agricultura de Precisión”[5]; el segundo es el monitoreo de elementos ecológicos como la temperatura, la humedad, las lluvias etc., que se han vuelto muy influyentes a raíz de los cambios climáticos, el calentamiento global y, por supuesto, el aumento en la variabilidad climática. Esto ha hecho que autores como Strand [7] no duden en afirmar que teniendo información climática relacionada con el desarrollo de las plagas se pueden tomar mejores decisiones para controlarlas.

Realizar un monitoreo comprende varias partes según afirma Mitidieri [8] y Barfield [9]. Entre ellas están conocer las enfermedades y plagas a monitorear y, por ende, su comportamiento; también determinar el número de muestras a tomar o contar, el método de muestreo a utilizar y la localización

espacial de la muestra. Adicionalmente, como menciona Simone [10], es necesario tener en cuenta las herramientas a utilizar en campo como binoculares, tijeras de podar, trampas, formatos de monitoreo y cuadernos de notas. Estos últimos hoy en día han sido reemplazados por sistemas móviles de monitoreo que mejoran la gestión productiva mediante el uso de dispositivos móviles PDA (*Personal Digital Assistant*—Asistente Digital Personal) con software especializado para el monitoreo, no solo de plagas y enfermedades sino también de toda la fenología de las plantas. Esta nueva herramienta permite facilitar las labores de recolección de datos y ha sido tan eficiente, que países como Argentina, Chile y Perú están incorporando a sus empresas agrícolas este tipo de equipos. Por ejemplo, la Asociación de Citricultores de Concordia (Argentina) con el proyecto FruTIC, o el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, Argentina) con el SMA (sistema móvil para monitoreo de algodón) diseñado por ellos mismos. Además son muchas las empresas que están ofreciendo este tipo de productos, entre ellas GERMINA (Perú), BIDONE& ASOCIADOS (Argentina) y AGROCALIDADLTDA (Chile).

3. Redes de sensores y tecnologías Zigbee

Las WSN son definidas por Wang, Zhang y M. Wang [11] como un sistema compuesto por Tx/Rx (transceptores) RF, sensores, microcontroladores, y fuentes de poder, que generalmente es autoorganizable, autoconfigurable, autodiagnosticable, y autoreparable. También se conocen como redes inalámbricas compuestas por nodos, que a su vez están constituidos por un sensor o una tarjeta de adquisición y una “mote” (tarjeta en donde está el procesador y el transmisor). Dichos nodos pueden comunicarse con una unidad de *gateway* que tiene la capacidad de enviar la información a otros computadores a través de otras redes como Internet. Estos autores afirman, además, que este tipo de redes deben ser robustas, flexibles, eficientes en el manejo de energía y de bajo costo. Así mismo, explican

algunos estándares de comunicaciones inalámbricas como LAN inalámbrico, IEEE 802.11b [12] (WiFi); PAN inalámbrico, IEEE 802.15.1 [13] (Bluetooth) e IEEE 802.15.4 [14] (ZigBee).

Entre los estándares mencionados, investigadores como Moráis, Fernández, Matos, Seródio, Ferreira, y Reis [15] eligen ZigBee como el más adecuado para usar en WSN para monitoreo de variables fenológicas de los cultivos y, en general, para aplicaciones en agricultura de precisión. Según Bareda [15], ZigBee es un estándar de comunicaciones inalámbrico para redes inalámbricas de sensores, cuyas aplicaciones son la construcción de redes de automatización, sistemas de seguridad y redes de control industrial, entre otras. La especificación ZigBee se basa en el estándar IEEE 802.15.4. y se complementa proporcionando protocolos que permiten las comunicaciones entre dos o más dispositivos de una forma eficiente y sencilla [16].

4. Metodología

El lugar utilizado para la realización de esta investigación fue la Finca Santa Isabel del barrio San Antonio Norte de Duitama-Boyacá-Colombia. Esta finca posee cuatro lotes cultivados de durazneros de las variedades: rubidu, rio grandense, dorado y diamante. Se escogieron los lotes La Era y José Luis, a los que se les establecieron los linderos como se aprecia en la Figura 1. En este mapa los sectores de color verde representan los árboles seleccionados para la muestra, en color amarillo los espacios sin árbol pero disponibles para sembrar, y en color blanco el resto de la población. Además, mediante una cuadrícula en rojo se determina la sectorización de los lotes, teniendo en cuenta la variabilidad espacial de algunas de las enfermedades según los datos recopilados en el primer año de estudio.

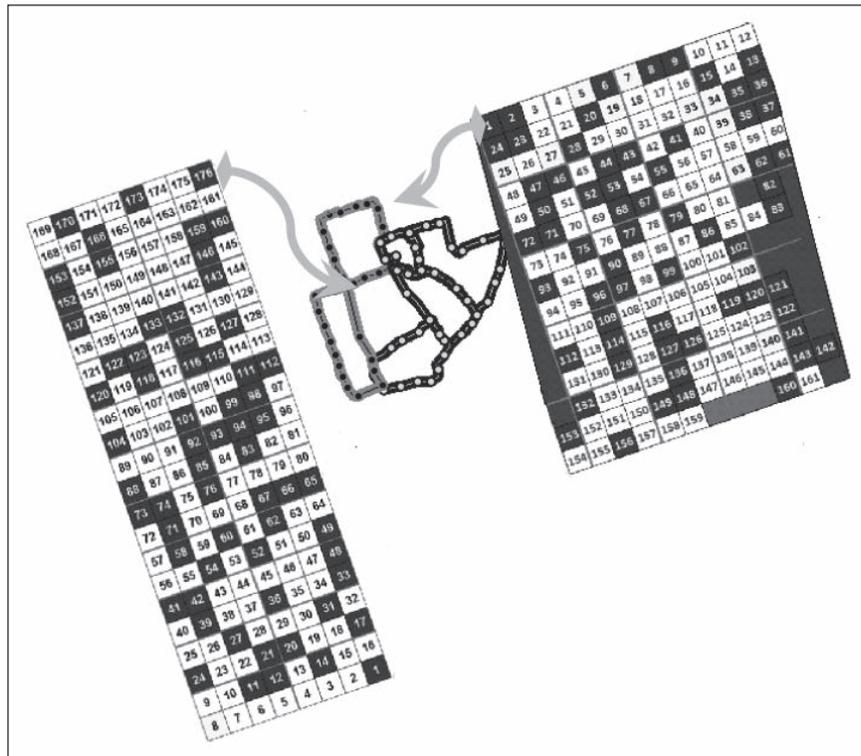
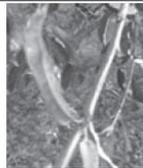


Figura 1. Distribución espacial de la muestra .Fuente: Autores.

El torque, la monilia, el cenizo y la perdigona son las enfermedades más incidentes. En las tablas 4, 5, 6 y 7 se aprecian los grados de ataque de estas

enfermedades en las hojas y frutos de las plantas de durazno de la finca Santa Isabel.

Tabla 1. Escala diseñada para torque.

Grado de Ataque	Sano	Muyleve	Leve	Moderado	Severo
Síntoma	Hojas sin enfermedad	Decoloración leve	Enrojecimiento de la parte afectada	Enrollamiento de la hoja	Necrosamiento
Imagen					
Índice de escala	0	1	2	3	4

Fuente: Autores

Tabla 2. Escala diseñada para Perdigona.

Grado de Ataque	Sano	Leve	Moderado	Severo
Síntoma	Hojas sin enfermedad	Aparición de manchas rojizas	Perforación de la parte afectada.	Coalescencia(*) de las perforaciones
Imagen				
Índice de escala	0	1	2	3

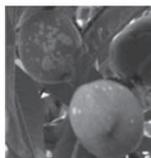
Fuente: Autores

* Entendiendo como coalescencia a la capacidad de dos o más materiales de unirse en un único cuerpo, en este caso los huecos producidos por la enfermedad.

Tabla 3. Estados del fruto considerados para Monilia.

Estado del fruto	Sano	Enfermo
Síntoma	Fruto sin enfermedad	Fruto con presencia de manchas color café
Imagen		
Fuente: Autores		

Tabla 4. Estados del fruto considerados para Cenizo.

Grado de ataque	Sano	Enfermo
Síntoma	Fruto sin enfermedad	Fruto con manchas blancas con presencia de polvillo.
Imagen		
Fuente: Autores		

La mosca de la fruta es la plaga que más afecta a los cultivos de durazno. El daño comienza cuando la hembra deposita los huevos bajo la piel de los frutos, y luego las larvas consumen la pulpa y causan deterioro y pudrición. Santa Isabel requiere un

monitoreo de esta plaga para detectar un incremento en la población y así poder realizar las medidas de control requeridas, previniendo y/o reduciendo los daños ocasionados por la misma. En la Figura 2 se muestran las características de la mosca de la fruta.

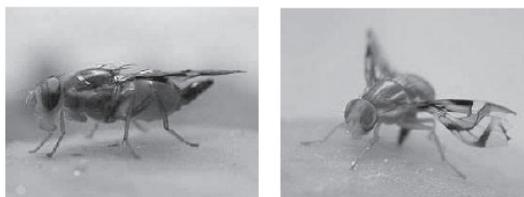


Figura 2. Mosca *Anastrepha fraterculus* ovipositando

Fuente: http://www.jardineiro.net/br/artigos/bichinho_goiaba.php.

Teniendo en cuenta estos aspectos, se debe diseñar un sistema de adquisición de datos climáticos y de población de insectos (una estación agroclimática por lote) vía inalámbrica, un sistema para adquirir información fenológica del cultivo (mediante dispositivo PDA) y un sistema de procesamiento y visualización de la información.

5. Resultados

Se diseñaron e implementaron tres módulos: El sistema de adquisición de datos climáticos y de población de la mosca de la fruta, el sistema de adquisición de datos de incidencia de enfermedades en campo, y un sistema de procesamiento y visualización de la información.

5.1. Sistema de adquisición de datos climáticos y de población de la mosca de la fruta

El sistema adquiere información de variables climáticas de velocidad y dirección del viento, temperatura ambiente, humedad relativa y pluviosidad. Se

utilizan dos estaciones de adquisición de la información agrometeorológica de los lotes. La Estación1 es una estación agroclimática ubicada en el lote José Luis, que permite adquirir información de las variables de interés y en la cual se diseñó la adquisición y acondicionamiento de señales de los sensores de variables climáticas. Esta estación también posee un módulo de adquisición de información de población de mosca de la fruta denominada trampa electrónica, que consiste en dos sensores fototransistores que constituyen un emisor y un receptor. Los sensores se ubican uno enseguida del otro, dejando un espacio entre ellos menor a 5mm y se ubican en el orificio de una trampa estándar Mc Phail para la mosca de la fruta. La Estación2 consiste en una estación agroclimática PCE-FWS20 ubicada en el lote La Era, que permite también adquirir la información pertinente en campo; además, es el sistema de referencia para la calibración de los sensores de la Estación1. La información que se adquiere mediante las estaciones climáticas y la trampa electrónica se transmiten a la casa central de la finca Santa Isabel, mediante un sistema de transmisión basado en ZigBee como se aprecia en la Figura 3.

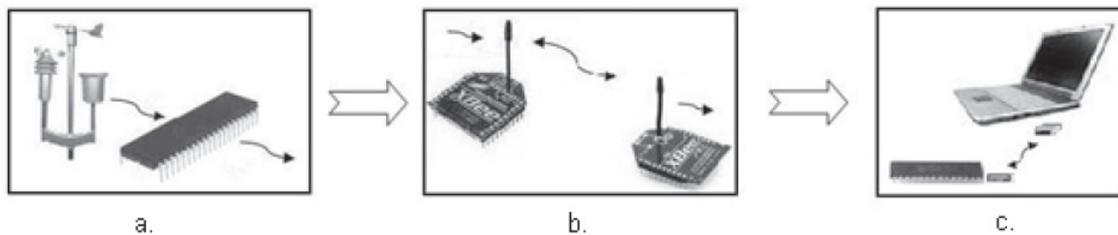


Figura 3. Diagrama general del sistema de adquisición de datos climáticos y de población de la mosca de la fruta
 (a. Módulo de instrumentación y adquisición de información en campo,
 (b. Módulo de transmisión y recepción inalámbrico y
 (c. Módulo de adquisición, procesamiento y visualización de información en estación base.

Fuente: Autores.

5.2. Sistema de adquisición de datos de incidencia de enfermedades en campo

El sistema de adquisición de datos en campo, como muestra la Figura 4, es el que permite adquirir la información proveniente del conteo de hojas y frutos de los durazneros para luego transferirla al centro de seguimiento; allí se almacena y se realizan

los cálculos necesarios para presentar al usuario la distribución espacial de la enfermedad. El sistema consiste en un dispositivo móvil (PDA) que, equipado con software especializado (aplicación en software móvil), soluciona inconvenientes de toma y digitalización de los datos. El software sobre el cual se trabajó este proyecto fue Cybertracker 3.00.0129.

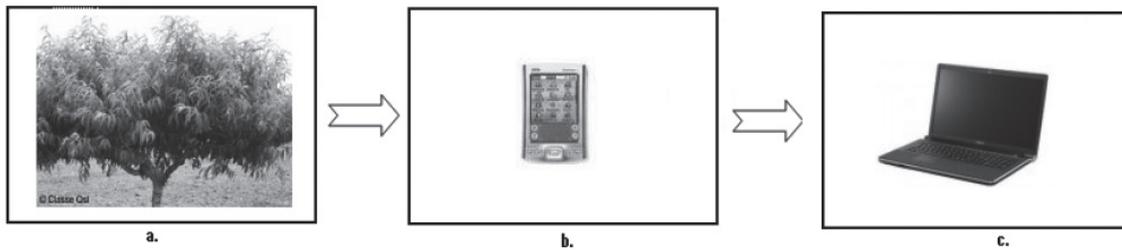


Figura 4. Sistema de adquisición de datos en campo(a. Conteo de hojas y frutos, (b. Dispositivo móvil y (c. Estación base. Fuente: Autores.

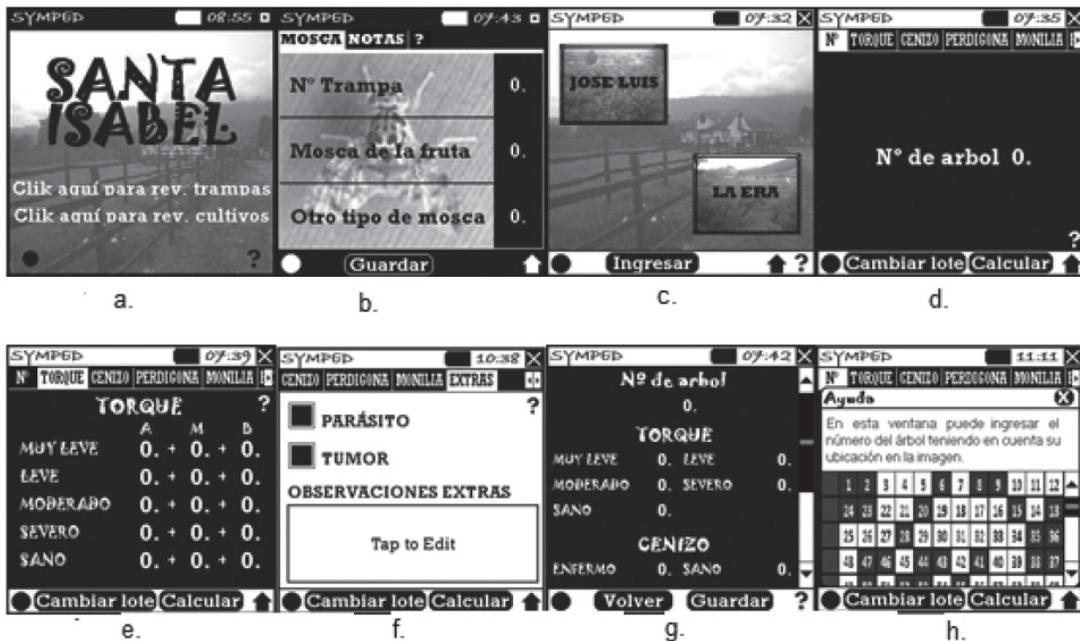


Figura 5. Ventanas principales de la versión 6.1. Fuente: Autores.

5.3. Sistema de procesamiento y visualización de la información

La aplicación en software consiste en un programa que toma la información de las diferentes fuentes (estaciones agroclimáticas y dispositivo móvil) y las presenta en forma gráfica. Esta fue desarrollada sobre lenguaje python, que sigue un modelo de programación orientada a objetos. La interfaz gráfica o GUI fue implementada usando el framework wxPython que, mediante *widgets* definidos, permite el diseño de ventanas, botones, contenedores, gráficas

y demás partes del entorno gráfico. Para procesar y graficar la información se usaron los módulos OS, SYS, MATPLOTLIB, PYSQLITE3, PYLAB, NUMPY, XLRD, PYCSV, PYMATH, PYSERIAL, entre otros, que son librerías especializadas que contienen funciones que facilitan el desarrollo de la aplicación. Para el desarrollo de esta aplicación se definió la estructura general del programa como se muestra en la Figura 6. Esta consta de dos partes principales que son: la normalización de los datos entrantes y la visualización o interfaz gráfica.

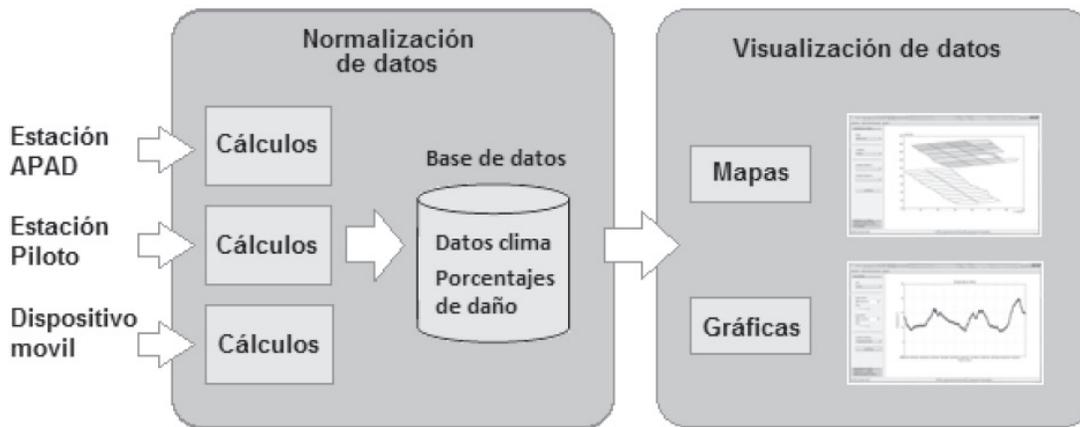


Figura 6. Sistema de procesamiento y visualización de la información.
Fuente: Autores.

6. Conclusiones

La agricultura de precisión es una herramienta tecnológica que ha evolucionado en gran manera en los últimos años. Su aplicabilidad se ha generalizado en cultivos de gran escala, pero en este proyecto se ha comprobado que es aplicable a minifundios, siendo el eje principal de su aplicabilidad el uso de tecnologías disponibles y de bajo costo, para lograr facilitar la operación de actividades de registro de datos en campo y también de organización de la información mediante sistemas de cómputo.

La aplicación de la electrónica y la computación para el monitoreo de variables fenológicas en cul-

tivos agrícolas requiere un tiempo de investigación en la determinación e identificación de los parámetros biofísicos que intervienen en la fenología de la planta, más aún cuando los elementos de estudio tienen un comportamiento aleatorio y dependen de las condiciones ambientales como en el caso de las plagas y enfermedades. Después de identificar estos aspectos se deben establecer las opciones tecnológicas adecuadas para el seguimiento del cultivo, que también dependerán del tamaño de los lotes y del grado de precisión en las medidas necesarias para identificar claramente el comportamiento espacio temporal del fenómeno a estudiar.

Aunque los lotes La Era y Jorge Luis estaban cerca, el comportamiento del clima y de las enfermedades no era el mismo, lo cual indica que los estudios referentes a la agricultura de precisión deben hacerse en sitio un específico. Esto significa que en cada región, inclusive en subsectores de lote, los parámetros de suelo, agua y ambiente influyen de forma diferente en el desarrollo de los cultivos; no obstante, los dispositivos electrónicos y sistemas de cómputo usados en este proyecto han permitido establecer claramente las diferencias entre los dos lotes y prestar la información al agrónomo para la toma de decisiones en la aplicación de insumos en los lotes de estudio.

La implementación del sistema de procesamiento y visualización de la información mediante python permitió el aprendizaje de una herramienta muy completa para el desarrollo de aplicaciones, debido a que tiene las ventajas de ser un software libre (no hay que pagar licencias), funcionalidad en diversos sistemas operativos (Windows, Linux, Unix, Solaris, DOS, OsMedios y Mac Os), además de tener una comunidad de desarrolladores que apoyan el trabajo en proyectos, y de la facilidad de encontrar código libre para aplicaciones de adquisición, procesamiento y visualización de información en sistemas de cualquier índole.

Debido a las necesidades globales de optimizar los recursos naturales, la electrónica tiene un papel

fundamental en el desarrollo de herramientas que permiten la reducción de agentes dañinos para el medio ambiente, como es el caso de los fungicidas e insecticidas usados en cantidades abundantes para minorizar los efectos de las plagas y las enfermedades.

7. Sugerencias y recomendaciones

La agricultura de precisión utiliza la interdisciplinariedad de agentes expertos en diferentes áreas de conocimiento como la electrónica, la computación, la agronomía, la geografía, la estadística, la biología, la física, la química, entre otras. Por tal motivo se sugiere la interacción con otros grupos de investigación de diferentes áreas del saber, para continuar con el desarrollo de los procesos de generación de conocimiento y aplicación de tecnologías existentes a la agricultura.

8. Financiamiento

El proyecto ha sido desarrollado con recursos de los autores y colaboración de la línea de investigación en agricultura de precisión y tecnología agropecuaria del grupo DSP-UPTC, adscrito a la escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Referencias bibliográficas

- [1] A. Srinivasan, "Handbook of Precision Agriculture: principles and applications". Binghamton, NY: Food Products Press, p. 683, 2006.
- [2] A. Srinivasan, "Site-specific management for selected cropping systems in Asia: progress and prospects. In promoting global innovation of agricultural science and technology and sustainable agriculture development session 6: Information technology of agriculture", (Organizing Committee, ICAST Eds.). Proceedings of the International Conference on Agricultural Science and Technology: Beijing, China, 2001, pp. 180 – 190.
- [3] W. Bajwa, M. Kogan, "Compendium of IPM Definitions (CID): What is IPM and how is it

- defined in the Worldwide Literature?”, *IPPC Publication No. 998*, Corvallis, p. 1, 2002.
- [4] M. Kogan, “Integrated pest management: Historical perspectives and contemporary developments”. *Annual Review Of Entomology*, vol. 43, pp. 249, 1998.
- [5] D. Emmen, “La Agricultura de Precisión: Una alternativa para optimizar los sistemas de producción”. *Investigación y Pensamiento Crítico*, vol. 2, pp. 68 – 74, 2004.
- [6] J-A Jiang, “A GSM-based remote wireless automatic monitoring system for field information: A case study for ecological monitoring of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel)”, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 62, no. 2, p. 243, jul. 2008.
- [7] J. Strand, “Some agrometeorological aspects of pest and disease management for the 21st century”, *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 103, no 1, p. 74. jun. 2000.
- [8] M. Mitidieri, A. Polack. (2005). “Guía de monitoreo y reconocimiento de plagas, enfermedades y enemigos naturales de tomate y pimiento”, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina INTA. [En línea]. Disponible: http://www.inta.gov.ar/sanpedro/info/doc/2005/mm_0506.htm
- [9] C. Barfield, “El muestreo en el manejo integrado de plagas”, In K.L. Andrews y J. Rutilio, *Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura. Estado actual y futuro*, Honduras. Escuela agrícola Panamericana el Zamorano, cap. 9, p. 150, 1989.
- [10] N. Simone, *Manual de monitoreo de plagas, enemigos naturales y enfermedades del manzano, peral y cerezo*, Center for Agricultural Partnerships, Primera Edición, Argentina. p.9, 2004.
- [11] N. Wang, N. Zhang, M. Wang, “Wireless sensors in agriculture and food industry: Recent development and future perspective”, *Computers and electronics in agriculture*, vol. 50, no. 1, p. 2, ene. 2006.
- [12] N. Wang, N. Zhang, M. Wang, “Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz Band”. *IEEE Standard 802.11b*, 345 East 47th Street, cit. p. 3. 1999.
- [13] N. Wang, N. Zhang, M. Wang, “Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs)”, *IEEE Standard 802.15.1*, 345 East 47th Street, cit. p. 3, 2002.
- [14] N. Wang, N. Zhang, M. Wang, “Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)”, *IEEE Standard 802.15.4*, 345 East 47th Street, cit. p. 3, 2003.
- [15] R. Morais, M. Fernandes, S. Matos, C. Serôdio, P. Ferreira, M. Reisa, “A ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture”, *Computers and electronics in agriculture*, vol. 62, no. 2, p. 105, jul. 2008.
- [16] I. Barneda, “Zigbee aplicado a la transmisión de datos de sensores biomédicos”. Universidad autónoma de Barcelona. [En línea]. Disponible: www.recercat.net/bitstream/2072/13081/1/PFC+Ivan+Barneda.pdf