

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Bioinformática
Recibido: 20/05/2017 | Aceptado: 25/06/2017

Sistema para la alerta temprana de los efectos del cambio climático en la agricultura

System for early warning of the effects of climate change on agriculture

Yuliet Sosa-Escalona ^{1*}, Manuel Peña Casadevall ², Cosme E. Santiesteban-Toca ³

¹ Facultad de Ciencias Informáticas, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba CP65100 (ysosae@unica.cu)

² Centro de Estudios Hidrotécnicos, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba CP65100 (casadevallscu@unica.cu)

³ Centro de Bioplantitas, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba CP65100 (cosme@bioplantitas.cu)

* Autor para correspondencia: ysosae@unica.cu

Resumen

Los Sistemas de Información Geográfica disponen de grandes capacidades para la geolocalización. Una de sus principales aplicaciones la encuentra en la agricultura, tanto en la representación de las características de los suelos, como del estado de los cultivos. Sin embargo, en muchos casos no son aprovechados los datos espaciales que se obtienen, para predecir las amenazas del cambio climático sobre los cultivos agrícolas. Análisis este que es de gran interés tanto para la comunidad agrícola como científica. Es por ello que en este artículo se presenta AgroAlert, una herramienta de predicción de los efectos del cambio climático en la agricultura. El cual brinda alertas tempranas de sequía en terreno de cultivos específicos con tres a seis meses de anticipación. AgroAlert se encarga de la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelación de las condiciones agroclimáticas. Describe las zonas de cultivos más vulnerables en cuanto a las condiciones hídricas del suelo y nivel de salinización. De igual forma, brinda la posibilidad de variar los criterios bajo los cuales son identificadas dichas zonas y realizar el análisis y predicción de los riesgos.

Palabras clave: Sistemas de información geográfica, sistema de alerta temprana, herramienta de predicción, cambio climático, agricultura de precisión

Abstract

Geographic Information Systems are designed for geolocation purpose. Precision agriculture is one of its main applications, both in the land characteristics representation and in the state of the crops. However, in many cases the spatial data obtained are not used to predict the impacts of climate change on agricultural crops. This analysis is of

great interest to both the agricultural and scientific communities. In this article we present AgroAlert, a tool for predicting the climate change effects on agriculture. It provides early warnings over drought on specific crop land with three to six months in advance. AgroAlert is the responsible of the organization, storage, manipulation, analysis and modeling of agroclimatic conditions. Likewise, AgroAlert provides the possibility to stablish different criteria under which these zones are identified and to carry out the analysis and prediction of the risks.

Keywords: *Geographic information systems, early warning system, prediction tool, climate change, precision agriculture*

Introducción

Cuando en nuestros días se menciona la terminología Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés *Geographic Information System*) los resultados de búsqueda en los navegadores web por parte de los usuarios en la Red de Redes son enormes. Cerca de 362,000,000 resultado genera el gran buscador Google, Yahoo!, por su parte arroja 5.030.000 resultados, mientras que Bing obtiene 51.000.000 resultados. La popularidad de esta herramienta se debe mayormente a la capacidad para integrar datos, generar toma de decisiones a partir de información espacial, utilizar métodos de análisis geográfico tradicionales (como el análisis de superposición de mapas), realizar análisis georreferencial, visualizar información geográfica, calcular el movimiento de la tierra y alertar las amenazas del cambio climático en una determinada región.

Muchos autores coinciden que los riesgos del cambio climático pueden ser manejadas y alertados por los SIG (Mendoza & Sig, 2012; Moreno, Tovar, Egel, Carlos, & Garrido, 2014; Smith, 2008). Un SIG, elaborado de manera participativa puede ser utilizado como un instrumento de concertación, negociación, planificación, toma de decisiones y puede servir en las distintas etapas o fases del ciclo de los desastres: planificación del terreno, prevención, mitigación, incluyendo los sistemas de alerta temprana. (Torres, 2005). Sin embargo, el poco aprovechamiento de los SIG como un sistema de alerta temprana en la agricultura, ha inducido que las amenazas del cambio climático afecten en el rendimiento de los cultivos, en la prevalencia de enfermedades micóticas y plagas, en las transformaciones de los suelos, en la disponibilidad de tierras y de agua para la agricultura.

Por tal motivo, el presente artículo está encaminado al desarrollo de un SIG que funciona como un sistema de alarma temprana, capaz de alertar las parcelas, cultivos, cuencas hidrológicas que tengan poco rendimiento a causa de la salinidad y las altas temperaturas como consecuencia de las amenazas del cambio climático. Para ello, se realizó un estudio espacio-temporal de las precipitaciones, temperatura media y temperatura alta del municipio de Venezuela en

Ciego de Ávila, que permitieron predecir las zonas críticas donde la intensidad de las temperaturas y la escasez de agua tienen mayor incidencia sobre los sistemas agroproductivos, por lo cual el objeto fundamental de la investigación es el empleo de un Sistema de Información Geográfico como sistema de alerta temprana de los efectos del cambio climático en los cultivos agrícolas.

El presente artículo está estructurado de la siguiente forma: un breve análisis de la situación actual de la sequía en Ciego de Ávila. Presentación de la metodología de desarrollo, la arquitectura y componentes por los cuales está formado la herramienta AgroAlert. Además, se muestran las parcelas, cultivos y áreas más afectadas por las amenazas del cambio climático a través de mapas, que genera el SIG, evidenciando los resultados de la herramienta propuesta. Por último, se presentan las conclusiones de la investigación.

Situación actual de la sequía en Ciego de Ávila

La provincia de Ciego de Ávila, está reportada como una de las provincias críticas a causa de la sequía hidrológica; ya que la mayoría de las fuentes de aprovechamiento son de origen subterráneo y en la actualidad numerosas fuentes de agua subterránea están seriamente deprimidas por la excesiva sobreexplotación para el desarrollo de la agricultura, el consumo humano e industrial.

Para su mejor estudio y monitoreo, las fuentes de agua subterránea se dividen en sectores hidrogeológicos. En la figura 1, se aprecian los índices de vulnerabilidad evaluados a finales del año 2016 y principios de 2017. El color marrón y magenta indican las zonas de mayor vulnerabilidad y de escasa disponibilidad de agua subterránea en la provincia. En la actualidad, se presentan los primeros indicios de sequía socioeconómica que implica la clasificación del fenómeno de la sequía donde se comprometen los objetivos económicos más importantes, así como la disponibilidad de agua para el consumo humano (INRH, 2017).

A finales de los años 80 se comenzó a observar una sequía hidrológica, la cual hace referencia a una deficiencia en el caudal o volumen de agua superficial o subterránea (ríos, embalses, lagos, etc.). Al producirse un desfase entre la escasez de lluvias y la reducción del caudal de ríos o el nivel de lagos y embalses, las mediciones hidrológicas no pueden ser utilizadas como un indicador del inicio de sequía, pero si su intensidad. (Valiente, 2001)

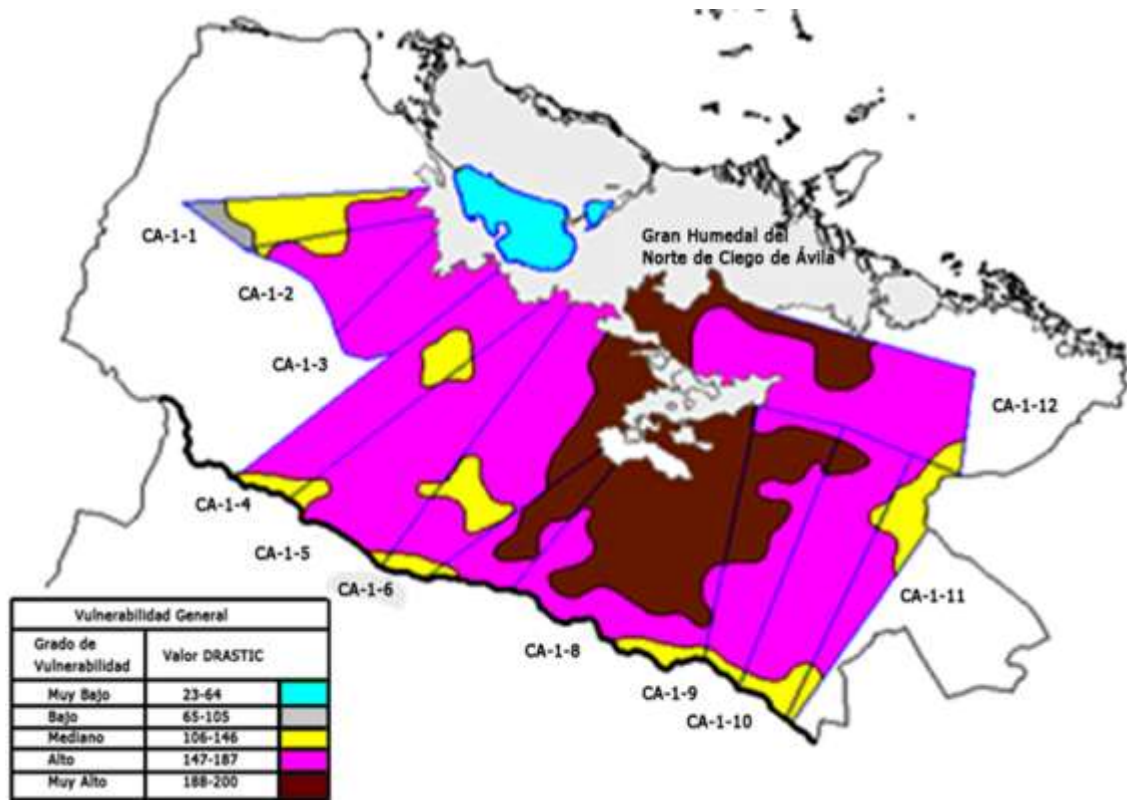


Figura 1. Estado actual de la disponibilidad de agua subterránea en la provincia Ciego de Ávila: Fuente: (CEH, 2017)

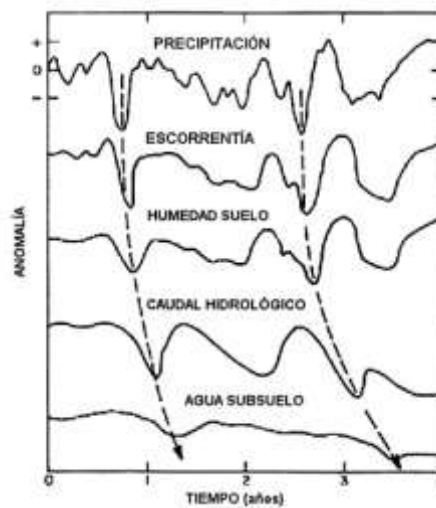


Figura 2. Desfase temporal en la propagación de anomalías pluviométricas hacia los diversos niveles del ciclo hidrológico: Fuente: (Entekhabi et al, 1992).

A diferencia de la sequía agrícola, que tiene lugar poco tiempo después de la meteorológica, la sequía hidrológica puede demorarse durante meses desde el inicio de la escasez pluviométrica (véase la figura 2) o, si las lluvias retornan en poco tiempo, no llegan a manifestarse. Por tanto, la secuencia temporal es: sequía meteorológica, a continuación, sequía agrícola y, sequía hidrológica y en último lugar la sequía socioeconómica.

La provincia de Ciego de Ávila se encuentra en un estado de sequía hidrológica, pero con indicios claros de sequía socioeconómica porque ya se están observando pérdidas de capacidades productivas y afectaciones considerables al servicio de agua de consumo a la población.

Esta situación implica la necesidad de aprovechar mejor los recursos hidráulicos a nivel regional para lo cual es necesario desarrollar nuevos métodos de predicción de los episodios de sequía que permitan a corto y mediano plazo, tomar decisiones acertadas para la producción de alimentos aprovechando la humedad disponible en los suelos y anticipando acciones de mitigación de los efectos del cambio climático.

Materiales y métodos

Para la implementación del sistema, se pretende emplear una combinación de metodologías ágiles: Scrum para la gestión del proyecto; y XP para el desarrollo, empleando el Desarrollo Dirigido por Pruebas (TDD) (Blé Jurado, Manuel Beas, Gutierrez Plaza, Reyes Perdomo, & Mena, 2010). Esta combinación ha sido ampliamente empleada, sin violar los principios de ninguna de las dos metodologías reportadas por (Kniberg & Sutherland, 2007).

Se prioriza que el SIG sea multiplataforma y que tome los datos de un clúster que se encuentra implementado en el centro de investigaciones de Bioplantas. A continuación, se presenta la arquitectura del SIG en la figura 3.

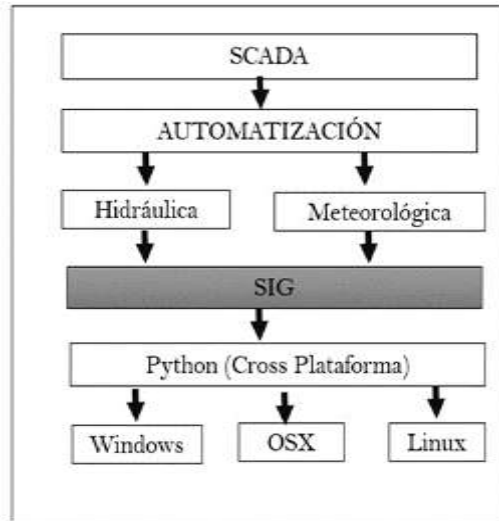


Figura 3. Arquitectura del SIG para las variables asociadas al cambio climático para la agricultura sostenible

Se pretende utilizar el patrón arquitectónico Modelo–Vista–Controlador (MVC), empleado por el *framework* Web2Py. Siguiendo esta filosofía, se separan la representación de los datos (Modelo), la presentación de los mismos (Vista) y la implementación de las funcionalidades (Controlador). Esta distribución puede ser observada en la Figura 4, donde se muestran los elementos más relevantes.

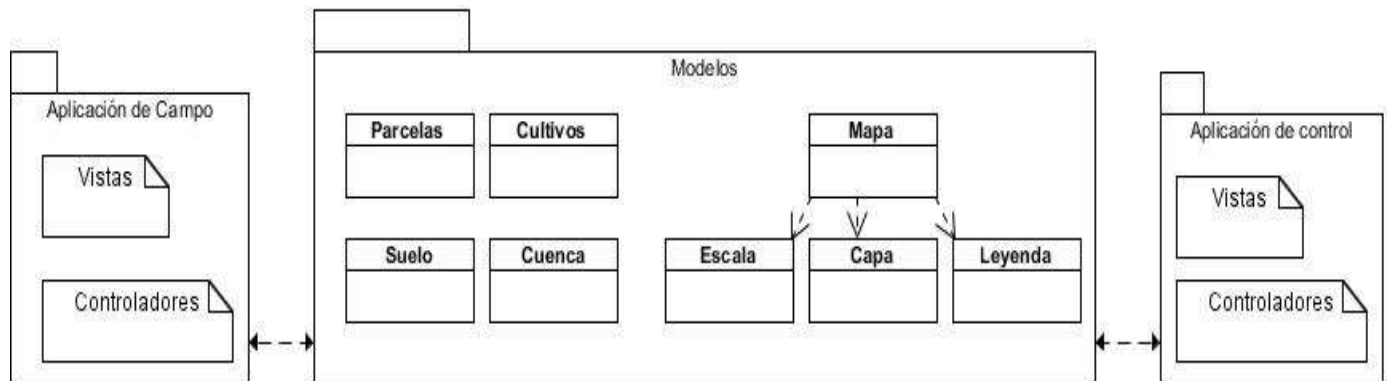


Figura 4. Diagrama de paquetes de componentes del SIG AgroAlert. Siguiendo el patrón de diseño MVC.

La Figura 4, muestra la distribución lógica de los componentes del SIG propuesto. El mismo, se compone de tres paquetes fundamentales: aplicación de campo, el cual es el encargado de representar en el mapa las características de las parcelas, de los cultivos, además de ilustrar en colores las parcelas más dañadas por la sequía; aplicación de control,

establece las configuraciones necesarias para hacer efectivos los planes de riego de acuerdo al tipo de cultivo, humedad del suelo y cantidad de agua necesaria.

El SIG AgroAlert permite como módulo la vinculación con el software de agricultura de precisión de proyecto al cual tributa, además funciona correctamente de manera independiente. El módulo de vinculación está previsto siguiendo el esquema mostrado en la Figura 5.

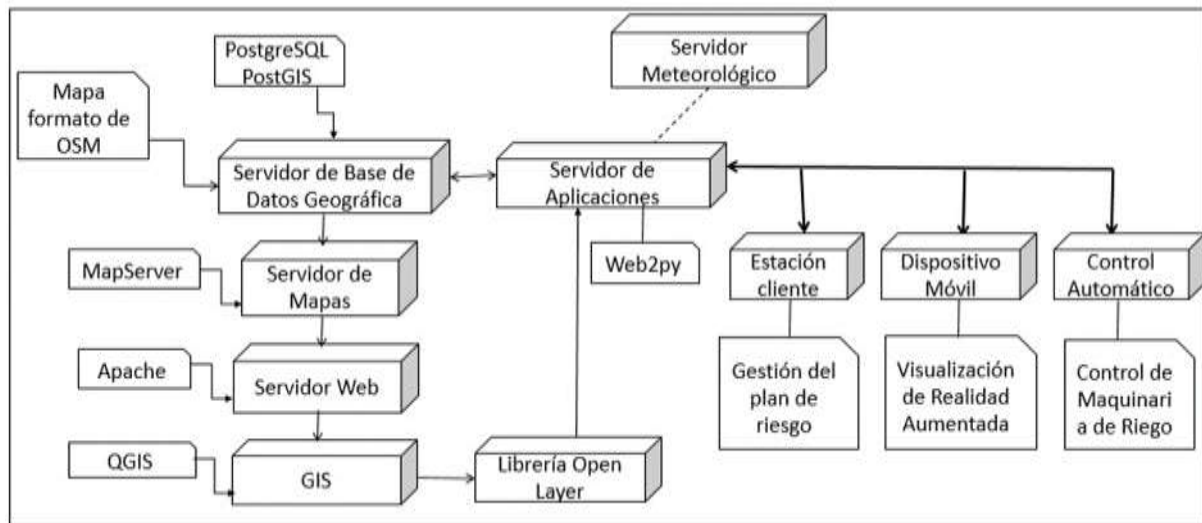


Figura 5. Diagrama de Despliegue del sistema como módulo de un sistema de agricultura de precisión

La Figura 5, muestra los componentes que forman parte del despliegue del SIG dentro del sistema de agricultura de precisión. Donde intervienen:

- Servidor meteorológico: encargado de proveer la información sobre las condiciones climáticas actuales y las predicciones para la región. Las cuales provienen de estaciones agro-meteorológicas del territorio, así como la red de pluviómetros provincial.
- Servidor de base de datos geográfica: contiene datos espaciales del suelo, de los cultivos, las parcelas, de las cuencas hidrológicas, además de almacenar su localización, mapas de tipo raster y de capas.
- Servidor de aplicación: contiene mapas georeferenciales que informan los cultivos más dañados por el cambio climático, las características del suelo, cuencas hidrológicas cerca y subterráneas que tienen las plantaciones. Este es el núcleo principal del software propuesto.

- Estación cliente: garantiza la gestión de los planes de riego y la información relacionada con parcelas, cultivos y equipos de riego del lado del cliente.
- Dispositivo móvil: presenta una interfaz minimalista, intuitiva y atractiva. Permite la visualización en tiempo real de la información del campo utilizando técnicas de realidad aumentada.
- Servidor de control automático: es el encargado de ejecutar en tiempo real los planes de riego generados por el servidor de aplicación, para cada equipo de riego en específico.

Una vez desplegada el SIG, se puede acceder utilizando un mecanismo de autenticación basado en usuarios y roles. Cada usuario autorizado deberá pertenecer a uno o varios de los roles definidos a continuación:

- Administrador de suelos: Puede seleccionar determinada región del área de los cultivos donde puede ver las características del suelo, aumentar el tamaño del mapa, disminuyendo la escala, además puede tematizar el mapa para que el software le devuelva nombre del área de sembrado, y fecha de siembra de una parcela, áreas de menor humedad y áreas con mayor salinidad. Además, permite insertar una nueva parcela y tiene un sistema de alarma que informa los cultivos con mayor sequía.
- Gestor de cultivos: Gestiona el nombre del cultivo, fechas de recolección, muestra en los mapas las características de los cultivos, además de informar su coordenada, alertando los cultivos más resistentes a la sequía.
- Administrador del sistema: Solo tiene acceso a la asignación de usuarios a roles.

En la base de datos geográfica existen coordenadas y mapas sobre los cultivos, cuencas hidrográficas y parcelas. AgroAlert verifica que, al insertar un nuevo mapa o coordenada de las cuencas hidrográficas, cultivos o parcelas estas no estén previamente en la base datos espaciales. En caso que no estén creadas, se insertarán especificando al administrador del servidor de geolocalización, las normas de inserción. Además, garantiza la modificación de los valores alfanuméricos. Como requisito fundamental el SIG permitirá la exportación de los mapas de áreas, cuencas subterráneas, parcelas y cultivos que se encuentren en alerta hidráulica, exportados para una posterior utilización y análisis.

Resultados y discusión

Para que los agricultores pueden planificar sus siembras alrededor de los períodos más secos del año, el estudio obtuvo un mapa digital del campo, donde se pronostican las áreas con mayor amenaza de sequía. Además, permitió a ingenieros

agrónomos, determinar los puntos exactos para la realización de las extracciones de muestras de suelo y el análisis de los cultivos resistentes al cambio climático. En la figura 6 se ilustra los tipos de capas que utiliza AgroAlert.

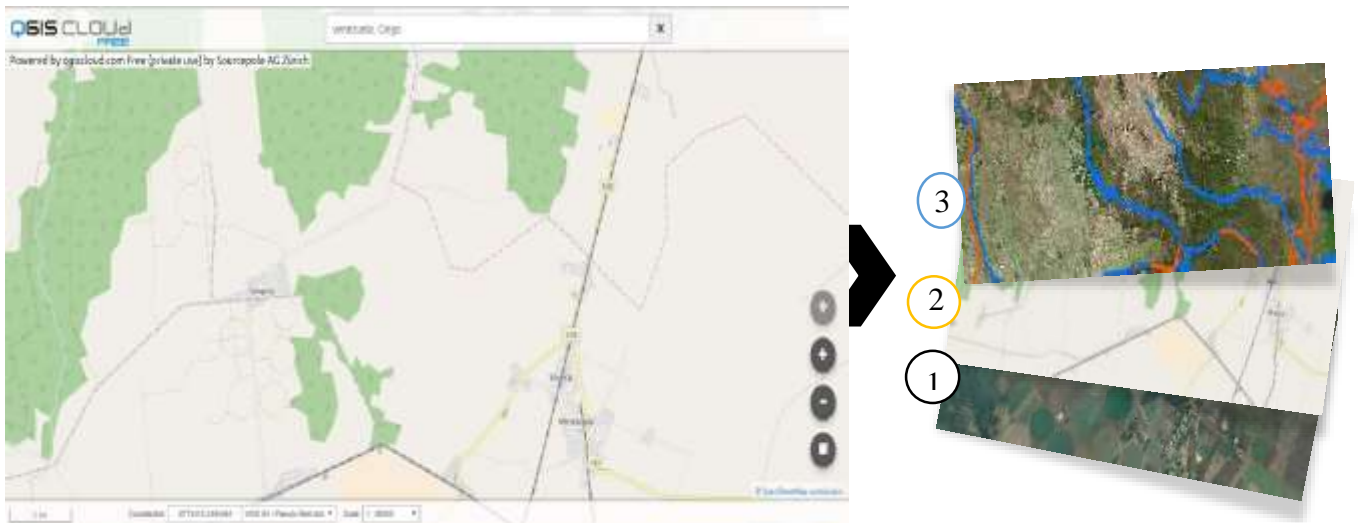


Figura 6 Capas del sistema de información geográfico AgroAlert.

La figura 6 representa las capas más significativas del SIG, que permitieron realizar el análisis geoespacial del sistema de alerta temprana. En la capa uno, se representan los cultivos que posee el municipio de Venezuela en Ciego de Ávila, por su parte la capa número dos, se refiere a las calles del municipio y la última capa ubica las cuencas hidrológicas que existen en esa área. Por su parte la figura 7 muestra la página principal del SIG, el cual está compuesto por un menú izquierdo que proporciona las funcionalidades más importantes de la herramienta, y un área de mapas para mostrar las funcionalidades seleccionadas.



Figura 7 Mapa de la funcionalidad Actualizar Cultivos del SIG AgroAlert

Análisis descriptivo de las precipitaciones

Se aplicó la técnica de estadística descriptiva para analizar los estadígrafos fundamentales de las serie de lluvias como media aritmética (X_m), mediana, desviación estándar (σ) y coeficiente de variación (C_v). También se calculó el índice de irregularidad temporal de las precipitaciones según (Sarricolea et al., 2013) teniéndose en cuenta la secuencia de la serie de datos a partir de la ecuación (1) siguiente.

$$S_1 = \left(\frac{1}{N-1} \right) \sum \left\{ \text{abs} \left[\text{Ln} \left(\frac{P_{i+1}}{P_i} \right) \right] \right\} 100 \quad (1)$$

Donde: S_1 : índice de irregularidad temporal de la lluvia (adimensional); P_i : precipitación en el instante i (mm); P_{i+1} : precipitación en el instante $i+1$ (mm); N : número de datos de la serie.

Una vez calculado las precipitaciones de la estación de Venezuela, se procede a analizar el comportamiento de la temperatura por meses. Como se muestra en la figura 8.

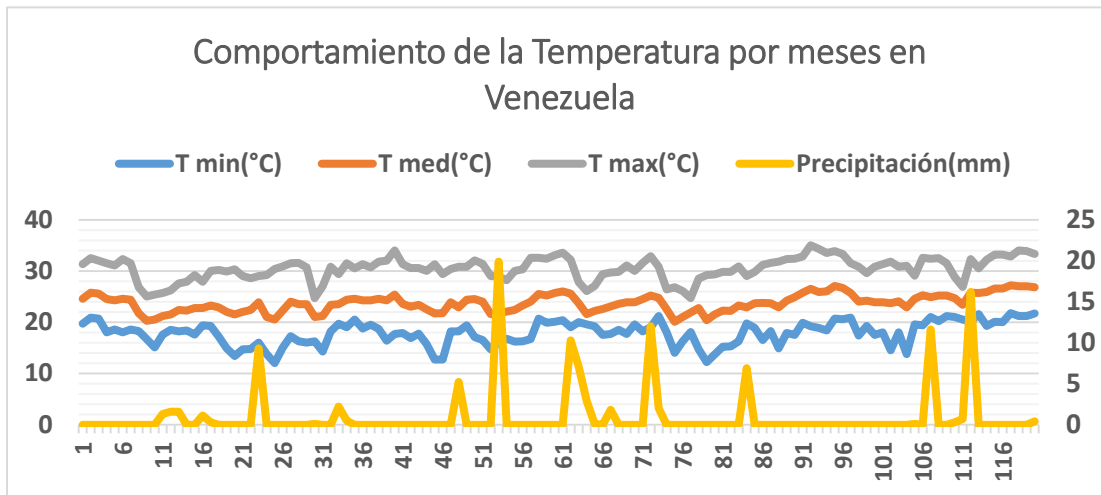


Figura 8. Comportamiento de la Temperatura por meses en Venezuela

La figura 9 muestra las parcelas y cultivos que estarán más vulnerables al cambio climático los próximos meses, por lo tanto, es necesario hacer un plan de mitigación al cambio climático de los cultivos en esas áreas. El SIG AgroAlert, todavía se encuentra en etapa de desarrollo, ya que se pretende incorporarle más funcionalidades, pero es significativo decir que el software con estas propiedades se encuentra en su primera versión.

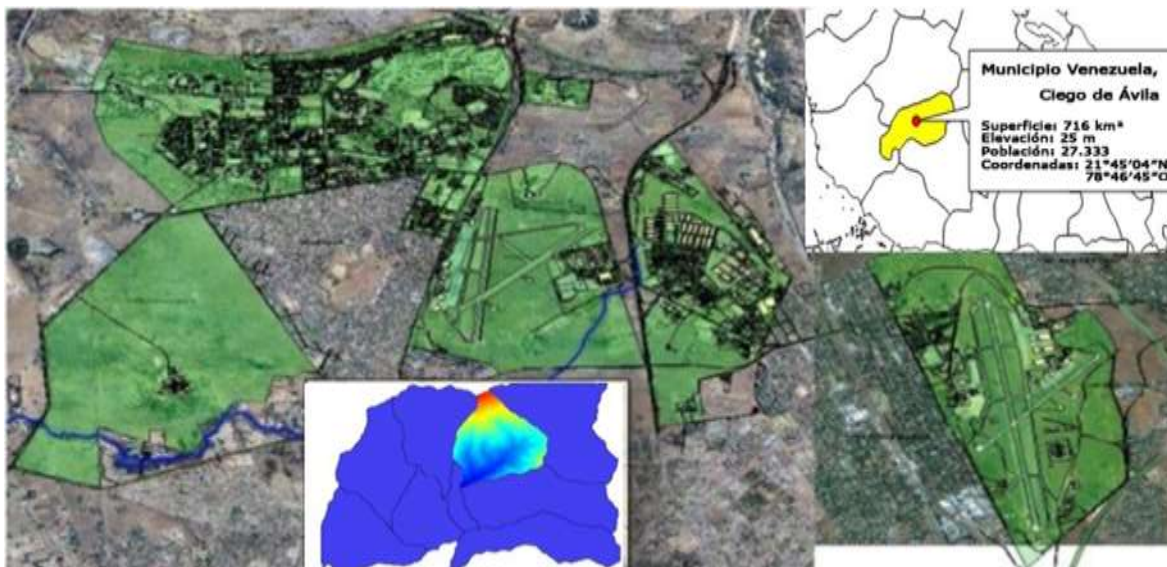


Figura 9 Áreas de cultivos con amenazas por el cambio climático

Conclusiones

1. Ante los actuales episodios de sequía registrados en los últimos años en Cuba y particularmente en la provincia de Ciego de Ávila, es necesario el desarrollo de nuevas herramientas con carácter predictivo para el uso y aprovechamiento racional de los recursos hidráulicos.
2. Después de 10 meses para la creación de las bases del SIG AgroAlert, se pretende no solo identificar los cultivos con riesgos por la sequía, sino también incorporar nuevas funcionalidades al SIG que permitan a partir de análisis geoestadísticos y de estudios espacios-temporales predecir los cambios topológicos que sufrirán las cuencas hidrológicas de Venezuela, Ciego de Ávila los próximos años.

Referencias Bibliográficas

- BLÉ JURADO, C., MANUEL BEAS, J., GUTIERREZ PLAZA, J., REYES PERDOMO, F., & MENA, G. Diseño Agil con TDD (1st Editio., p. 309). Creative Commons. 2010
- BROWN, M. O. El cambio climático y sus evidencias en las precipitaciones. Revista Ingeniería hidráulica y Ambiental. ISSN 1023, 36(1): 88-101, La Habana, Cuba, 2015.
- GALLARDO, B. Y. Sistema de gestión para la mitigación y adaptación de los impactos negativos de la sequía en áreas agrícolas. Tesis en opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas agropecuarias, CIGET, Ciego de Ávila, Cuba, 2014.
- INRH. Boletín hidrológico mensual, abril. Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos, Ciego de Ávila, 2017.
- KNIBERG, H., & SUTHERLAND, J. Scrum y XP desde trincheras. (D. Plesa, Ed.) (p. 122). InfoQ. Enterprise Software Development Series. 2007
- LÓPEZ, S. T; DUARTE, D. C; CALERO, D. C. Matrices integradoras de acciones para la implementación de medidas de adaptación al cambio climático a escala local. Revista Ingeniería agrícola. ISSN – 2227-8761, 6(4): 23-31, La Habana, Cuba, 2016.
- MENDOZA, G. M., & SIG, J. Aplicaciones de SIG en Gestión de Riesgos y Emergencias en la Infraestructura del MOP. 2012
- MORENO, D., TOVAR, L. C., EGEL, D. M., CARLOS, L., & GARRIDO, T. Los Sistemas de Alerta Temprana, SAT, una herramienta para la prevención de desastres por inundación y efectos del cambio climático., 9(1), 7–24. 2014.

PEÑA, C. M. Study and considerations on the agricultural drought impact in the central region of Cuba. In First Draft for Wageningen URC (University and Research Centre)-Plant breeding, the Netherlands. Proposal of international Project. CEH internal document. Ciego de Avila, 2015.

SARRICOLEA P.; HERRERA M. J. Y ARAYA C. Análisis de la concentración diaria de las precipitaciones en Chile central y su relación con la componente zonal (subtropicalidad) y meridiana (orográfica). Investigaciones Geográficas, 45: 37-50, ISSN: 0379-8682, Departamento de Geografía de la Universidad de Chile, Chile. 2013

SMITH, M. Sistemas de información y alerta temprana para enfrentar al cambio climático Sistemas de información y alerta temprana para enfrentar al cambio climático. (G. Damman, Ed.). 2008

TORRES, J. Reflexiones del V curso internacional sobre manejo de sistemas de información para la mitigación de desastres. En: GeoFocus. Madrid: Asociación de Geógrafos Españoles-Grupo de Tecnologías de la Información Geográfica. N° 5, 2005. pp. 59-64

VALIENTE, Ó. M. Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación, 26, 59–80. 2001