

SOFTWARE PARA CLASIFICAR LA CALIDAD DEL AGUA, PROYECTAR UN SISTEMA DE RIEGO Y PRONOSTICAR EL RIEGO

José Antonio Molinet Berenguer¹, Manuel Hernández Victoria², Yailé Caballero Mota³

¹jose.molinet@reduc.edu.cu Facultad de Informática, Universidad de Camagüey. Cuba

²manuel.hernandez@reduc.edu.cu Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Camagüey. Cuba

³yaile.caballero@reduc.edu.cu Facultad de Informática, Universidad de Camagüey. Cuba

RESUMEN

Uno de los mayores problemas que enfrenta la humanidad es la seguridad alimentaria y el consumo de agua potable. El uso racional de los recursos naturales es la premisa fundamental de una agricultura sostenible, más del ochenta por ciento de las crisis alimentarias del mundo está relacionado con el agua y, en particular, con la sequía. El software que se propone posee tres módulos que automatizan distintas tareas que se desarrollan en la agricultura. El primero de ellos permite clasificar la calidad del agua para el riego de los cultivos y el consumo animal, posibilitando un uso adecuado de esta y por consiguiente elevados rendimientos en la producción. El segundo módulo facilita el cálculo del régimen de riego de los cultivos y la proyección de los sistemas de riego que se emplearán en estos, eliminando a los usuarios un volumen considerable de cálculos complejos y permitiendo hacer estimaciones económicas de inversión y futuros rendimientos. En el último módulo se pronostica los momentos de riego de un cultivo y la cantidad de agua necesaria, posibilitando un ahorro considerable del líquido y elevando los rendimientos productivos sin deteriorar las propiedades de los suelos. El software creado es un sitio web que consta de una base de datos en la que se almacena información necesaria para realizar los cálculos, características de los suelos, cultivos, datos climáticos. En la base de datos también quedan los registros históricos de los resultados obtenidos en cada proyecto en que se aplicó el sistema.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso indispensable para el ser humano, las plantas y los animales. El control y seguimiento de su calidad para el consumo constituye un factor importante a considerar con el fin de que pueda cumplir distintas funciones fisiológicas y poder obtener los potenciales de salud, normal crecimiento y desarrollo en los usuarios agropecuarios, en correspondencia con la conservación del medio ambiente. Los aseguramientos de la humanidad provienen en gran medida de su alimentación y esta solo puede lograrse con el aseguramiento de rendimientos agrícolas satisfactorios que dependen directamente del agua. De hecho, no existe agricultura segura y productiva sin control del agua. La agricultura de regadío ocupa actualmente un 20 por ciento de las tierras cultivables, pero contribuye a un 40 por ciento de la producción total de alimentos¹.

¹ Discurso del Director General de la FAO en la Mesa redonda sobre el agua y la agricultura en África, el Cercano Oriente y los pequeños Estados insulares en desarrollo (PEID). Roma, 22 de noviembre de 2005.

Sin embargo, al igual que el suelo, el agua es un recurso finito que necesita ser usado de forma racional, por lo que se hace necesaria su utilización de forma eficiente, de manera que los acuíferos no se agoten y se pueda sostener el crecimiento y desarrollo de la sociedad, los animales y las plantas. En nuestro país se hace un esfuerzo económico considerable para mitigar los daños como resultado de las sequías en la producción de alimentos a través de las obras de riego y drenaje constituidas para diferentes métodos y técnicas de riego, que aseguren rendimientos agrícolas altos, estables y económicos.

Los rendimientos en la producción de alimento también están influenciados por la calidad de las aguas, el riego con agua de mala calidad puede producir contaminación a los acuíferos, salinización y/o sodificación de los suelos y efectos tóxicos sobre los cultivos. Además, la calidad del agua de consumo animal es importante en cuanto a la salud y nutrición animal y a la calidad de la producción, por ejemplo en las vaquerías es sabido que la calidad del agua de bebida animal tiene incidencia en la calidad de la leche (Claudia M Sainato, 2006).

Para lograr con el riego una aplicación eficiente del agua a los cultivos, es necesario una correcta planificación y posterior explotación de los sistemas de riegos. La proyección de un sistema de riego depende de la vinculación de elementos como: el suelo, clima, agua, cultivo (*diseño agronómico*) y las diferentes leyes de la hidráulica (*diseño hidráulico*); lo que permitirá que el sistema funcione correctamente. En nuestro país son varios los organismos dedicados a la proyección de estos sistemas, pero los complejos cálculos y procedimientos son realizados manualmente, lo que hace engorroso el trabajo y conlleva a largas jornadas laborales y posibles errores humanos.

Una vez instalado un sistema de riego, su correcta explotación en respuesta al régimen de riego de uno o varios cultivos depende de un adecuado control de la dinámica de humedad del suelo. De esta manera se evita regar en exceso o por debajo de las necesidades hídricas y desconocer el aprovechamiento de las precipitaciones. Aspectos estos que afectan los rendimientos agrícolas, unido a inadecuados consumos de agua, energía, fuerza de trabajo y otros recursos distantes de las necesidades reales del cultivo, reflejando considerables daños a la economía.

De acuerdo a las orientaciones del Instituto de Riego y Drenaje de nuestro país se establece el Pronóstico de Riego como Método Bioclimático para el control de la dinámica de la humedad del suelo. Diferentes investigadores manifiestan que en los lugares donde se ha introducido este método y manejado correctamente se han obtenido mayores ganancias económicas y un uso racional de los volúmenes de agua que se aplican (Vidal Díaz, Gutiérrez Morales, & Pacheco Seguí, 2001) y (G. R. & Díaz, 1991). El control de la dinámica de humedad del suelo empleando este método conlleva un elevado número de cálculos, que realizados manualmente limita la toma de decisiones, provoca la dispersión de la información, imprecisiones ante determinadas condiciones, entre otros inconvenientes.

DESARROLLO

El software elaborado permite realizar de manera rápida y eficiente los cálculos y procedimientos necesarios para clasificar la calidad del agua según sus usos, proyectar un sistema de riego y pronosticar el momento de riego de un cultivo y el volumen de agua necesario. Cada una de las tareas mencionadas anteriormente conforman un módulo del sistema, quedando solamente para el usuario introducir algunos valores específicos e interpretar la información brindada por el sistema.

El software creado es un sitio web diseñado con la herramienta Dreamweaver utilizando el lenguaje Hypertext Preprocessor (PHP). El PHP es un lenguaje interpretado de propósito

general ampliamente usado y que está diseñado especialmente para el desarrollo de páginas web dinámicas y además es Open Source, es decir, que el usuario no depende de una compañía específica para arreglar errores y no está forzado a pagar actualizaciones anuales para tener una versión que funcione. Se utilizó el sistema de infraestructura de internet WAMP5 en su versión 1.7.3 que permite el uso de las siguientes herramientas: Apache 2.2.4 como servidor web y MySQL 5.0.45 como gestor de base de datos, las cuales también son Open Source. Igualmente se empleó la metodología RUP (Rational Unified Process), el Proceso Unificado Racional es un proceso de desarrollo de software (Jacobson, Booch, & Rumbaugh, 2000) y junto con el Lenguaje Unificado de Modelado UML, constituye la metodología estándar más utilizada para el análisis, implementación y documentación de sistemas orientados a objetos.

El sistema, además de la interfaz visual con la que interactúa el usuario, consta de una base de datos que almacena la información referente a los principales tipos de cultivo, sus fases de crecimiento y desarrollo, duración, coeficiente bioclimático, profundidad del sistema radical, marco de plantación. También son registrados los distintos tipos de suelos, en sus diversas clasificaciones, sus propiedades hidrofísicas: densidad real, densidad aparente, porosidad, velocidad de infiltración, reserva máxima, reserva mínima. Estos valores junto con otros relacionados con las componentes de un sistema de riego (aspersores, tuberías principales y laterales, motores, bombas), el clima (lluvias caídas, evaporación), cuestiones organizativas (región geográfica, institución, unidades de producción), entre otros, permiten que el sistema solicite al usuario la menor información posible

El sistema elaborado posee una arquitectura cliente-servidor que permite que varios usuarios accedan simultáneamente, a través del sitio web, a la base de datos y utilicen la información almacenada en esta para realizar los cálculos necesarios. Cada usuario tiene un nivel de acceso en el sistema, lo que permite un control riguroso de la seguridad, evitando alteraciones de información; el nivel principal o de administración se encarga de dar los permisos al resto de los usuarios que utilizarán el software.

Clasificación de la calidad del agua

En este módulo se utilizan los indicadores físicos, químicos y bacteriológicos del agua para determinar la posibilidad de su uso en humanos, plantas, animales y en las industrias. Para ello se emplean tanto las distintas normas y procedimientos que se establecen por organismos e instituciones como varios criterios respaldados por algunos de los más importantes investigadores del área.

En el caso del agua para consumo humano el sistema considera la norma instituida por el Comité Estatal de Normalización de la República de Cuba: Higiene Comunal. Agua Potable. Requisitos Sanitarios y Muestreo (NC 93-02), aprobada en octubre del año 1985 y vigente en nuestro país desde marzo del año 1986, la que establece los requisitos sanitarios del agua potable y el muestreo para el control de la misma.

La calidad del agua para riego está determinada por la cantidad y tipo de sales que la constituyen, cuya concentración puede alterar y modificar la estructura del suelo, además de, afectar el normal crecimiento y desarrollo de los cultivos (Chirinos, 1999). A nivel mundial existen distintos criterios de interpretación para aguas de riego, destacándose varios autores e instituciones, algunos de los empleados en nuestro software son: La Propuesta de la Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes del Ministerio de la Agricultura de Cuba (1980), basado en el anteproyecto de la Norma Cubana de la Metodología de Evaluación de las Aguas de Riego según las propiedades de los suelos y la clasificación de las aguas de riego de Ayers y Westcot asumida por la FAO en 1976 y revisada en 1987 (Ayers & Westcot, 1987).

Dado que en nuestro país actualmente no existe una norma para regular la calidad de las aguas de consumo animal, generalmente se asumen las normas para el consumo humano sin tener en cuenta la especie animal. En nuestro software consideramos los parámetros físicos, químicos y microbiológicos presentes en (Claudia M Sainato, 2006) y los rangos o límites admisibles de los mismos en dependencia de la categoría o tipo de animal. En el caso de la calidad del agua de consumo industrial, la dureza, determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio, es el principal indicador, pues en calderas y sistemas enfriados por agua, produce incrustaciones en las tuberías y una pérdida en la eficiencia de la transferencia de calor.

Proyección de un sistema de riego

La utilización eficiente del agua en la producción vegetal sólo puede lograrse cuando se atiende en cantidad y tiempo, con una correcta planificación, las necesidades de agua de un cultivo, permitiendo un crecimiento óptimo y altos rendimientos (Doorenbos & Kassam, 1980). El módulo del software que corresponde a la proyección de un sistema de riego determina primeramente el diseño agronómico, en el cual está todo lo concerniente al régimen de riego. Se calcula el volumen de agua que requiere el cultivo durante su ciclo de acuerdo a las condiciones climáticas a través de la norma parcial de riego (Mt), los intervalos de riego (I_r), las propiedades del suelo y la técnica a utilizar (Aidárov, Golovánov, & Mamáev, 1982). Una vez obtenido el caudal de agua necesario se compara este con el autorizado por Recursos Hidráulicos y se realizan los ajustes necesarios.

En el diseño hidráulico se determinan las características de los accesorios complementarios del proyecto de riego, que serán capaces de satisfacer las demandas del diseño agronómico. Estos accesorios son: el aspersor (dispositivo emisor de agua), el equipo de bombeo (bomba y el motor). También permite conocer la disposición que debe haber de otros componentes como las tuberías (conductora, secundarias, laterales, etc.). Para establecer las características de los accesorios del sistema de riego se calcula la intensidad de la aplicación por distintas variantes y se obtienen los valores de pérdidas en un lateral, en la red, las pérdidas locales y por último las pérdidas totales del sistema haciendo uso de distintas fórmulas de transformación de la energía.

Para realizar un proyecto de riego por aspersión, el usuario debe escoger la opción de crear un nuevo proyecto y posteriormente escogerá el tipo cultivo, tipo de suelo, nombre de la unidad de producción, entre otros valores que ofrece la base de datos. Existen otros datos que sí deben ser introducidos por el usuario como los valores planimétricos del campo, el gasto autorizado, el volumen autorizado entre otros. Posteriormente, el software realiza automáticamente los cálculos necesarios para efectuar el proyecto de riego. En el caso de que los valores que se obtengan no cumplan con las normas establecidas, el software brinda a los usuarios sugerencias para corregir los datos de entrada.

Pronóstico de riego

En el pronóstico de riego por el Método Bioclimático, el momento de riego de los cultivos se determina sobre la base de la humedad del suelo a partir de las propiedades hidrofísicas del suelo, las fases vegetativas del cultivo, los coeficientes bioclimáticos de evapotranspiración, las lluvias y la evaporación. Se desarrolla la ecuación para calcular la Evapotranspiración o Uso Consuntivo y la Ecuación de Balance Hídrico, con la cual se obtiene la humedad presente en el suelo. Algunos de los elementos fundamentales para evaluar estas ecuaciones son: los coeficientes bioclimáticos de evapotranspiración " K_b " por cada fase del cultivo, la capa activa del suelo a humedecer, el límite productivo de la humedad del suelo en que se logró la mejor respuesta del cultivo (Rey & Delibaltov, 1982).

Para llevar el régimen de riego de un cultivo y pronosticar la norma de riego, si es el primer día de explotación, el usuario debe escoger el tipo cultivo, suelo, forma de producción, nombre de la unidad de producción, entre otros, valores estos que ofrece la base de datos. Posteriormente, cada día solo es necesario introducir datos climáticos como lluvia, evaporación y la fase en que se encuentra el cultivo, con los cuales automáticamente se desarrolla la ecuación para el cálculo del balance hídrico y se determina si existe o no la necesidad de regar y la norma de riego.

En el sistema se considera la posibilidad de cultivos simultáneos o intercalados, perennes o temporales, así como criterios de diversos autores para fijar el coeficiente biológico (Kb) de cada fase de un cultivo (Solano, 2003) y para el marco de plantación. Al final de la cosecha se pueden realizar informes sobre el rendimiento en correspondencia con el consumo de agua, el consumo de combustible o electricidad, así como el número de interrupciones en el riego, todo lo cual permite comparar los rendimientos obtenidos con los valores provinciales, nacionales e internacionales.

La interfaz web que brinda el software muestra al usuario la gráfica de la dinámica de la humedad del suelo con los elementos del régimen de riego, lo cual permite apreciar más fácilmente las posibles deficiencias en el riego y la situación actual de la humedad, alertando al usuario en caso de que se necesario regar. Además, esta gráfica es la representación visual de los valores registrados de forma manual en la libreta de campo para el Pronóstico y la Conducción del Régimen de Riego de Explotación (MINAZ, 1994) que se emplea en nuestras instituciones.

CONCLUSIONES

El desarrollo de esta aplicación web permite gestionar los resultados de los análisis físicos, químicos y biológicos de las muestras de agua para determinar su calidad de consumo. Los registros históricos de las muestras analizadas para el consumo humano, animal, en el riego e industrial facilita la toma de decisiones relacionadas al uso o restricción de las aguas de acuerdo a su calidad en correspondencia con la conservación del medio ambiente.

De igual forma, este sistema automatizado se ofrece como una herramienta que mejore la eficacia del proceso de proyección de los sistemas de riego por aspersión, evitando una valoración económica sobredimensionada de las necesidades reales del cultivo, además de, evitar la salinización de los suelos, la desertificación y mejorar la productividad en las instituciones donde se apliquen estos sistemas de riego. A lo anterior contribuye una correcta explotación del sistema de riego, lo cual es facilitado por el módulo de pronóstico de riego que garantiza, al eliminarse la libreta de campo, rapidez y seguridad en la determinación del momento de riego así como exactitud en el volumen de agua a regar, elevando la racionalidad del agua y la protección del suelo.

De manera general este sistema permite lograr altos rendimientos en la producción agrícola, estables y económicos, al mismo tiempo que contribuye a mantener los niveles de salud en nuestra población y conservar los recursos naturales agua y suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aidárov, I. P., Golovánov, A. I., & Mamáev, M. G. (1982). *El Riego*. Moscú: Editorial Mir.
- Agua Potable. Requisitos Sanitarios y Muestreo, NC 93-02 C.F.R. (1985). La Habana, Cuba.

- Ayers, R. S. y Westcot, D. W. (1987). La calidad del agua en la agricultura (Vol. Manual 29, pp. 174 pag.). Recuperado el 15 de marzo de 2010 de, <http://www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e04.htm>
- Chirinos, H. (1999). ¿Es su agua de riego adecuada para los cultivos?
- Claudia M Sainato, G. G. y Heredia, O. S. (2006). *Agua Subterránea: Exploración y utilización agropecuaria*. Buenos Aire, Argentina: Facultad de Agronomía (UBA)
- Doorenbos, J., & Kassam, A. (1980). Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. *Riego y drenaje*, 28-40.
- G. R., J., & Díaz, M. (1991). El pronóstico de riego en el tabaco en las condiciones de Cuba. *Ciencias del suelo, riego y mecanización*, 5-16.
- Jacobson, I., Booch, G., & Rumbaugh, J. (2000). *El Proceso Unificado de Desarrollo de Software*. Addison Wesley.
- Rey, G., & Delibaltov, I. (1982). *Metodología para pronosticar el momento de riego en los cultivos agrícolas cubanos*. La Habana: CIDA.
- MINAZ. (1994). *Libreta de Campo para la programación del Riego*. Camagüey.Cuba.
- Solano, C. (2003). Estudio de la evapotranspiracion de referencia en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 33-38.
- Vidal Díaz, L., Gutiérrez Morales, A., & Pacheco Seguí, J. (2001). *Sistema de pronóstico y conducción del régimen de riego para la explotación de la caña de azúcar*. Santa Clara: Universidad Central "Marta Abreu".