



## APPLICATION OF STOCHASTIC PROCESSES THEORY FOR REAL TIME ANTICIPATION OF THE RISK OF WATER SUPPLY SHORTAGE IN AGRICULTURAL IRRIGATION SYSTEMS FACING HYDROLOGIC VARIABILITY. PART II.

### PREVENCION EN TIEMPO REAL DEL RIESGO POR DESABASTECIMIENTO DE AGUA EN LOS SISTEMAS DE RIEGO PARA LA AGRICULTURA ANTE LA VARIABILIDAD HIDROLÓGICA, APLICANDO LA TEORIA DE PROCESOS ESTOCASTICOS. PARTE II.

**Maria Esther Rivera**

Licenciada en Físico-Matemáticas, Doctora en Hidrología, Docente Auxiliar en la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad de Pamplona, Miembro del Grupo de Investigación GIAAS, [maes@unipamplona.edu.co](mailto:maes@unipamplona.edu.co)

**Yulia Umanets**

Ing. Hidróloga, Candidata a Doctora en Hidrología, Universidad Estatal Hidrometeorológica de Rusia, [oumanets7@yahoo.com](mailto:oumanets7@yahoo.com)

#### RESUMEN

Los sistemas de abastecimiento de agua para el riego (compuesto por la fuente abastecedora, captación, conducción, distribución y entrega a los cultivos) en Colombia carecen en su funcionamiento del pronóstico hidrológico en tiempo real que permita prever la variabilidad hidrológica (comportamiento de los niveles del agua y caudales en días, semanas o meses futuros), aunque para su diseño tienen en cuenta la oferta de agua en los sitios de captación para una vida útil que suele superar los 10 y 20 años. En este trabajo se desarrolla la segunda parte de una metodología para la prevención del riesgo por desabastecimiento de agua, a través del pronóstico hidrológico del nivel del agua, con soporte en la propuesta postdoctoral de las autoras.

#### ABSTRACT

The Colombian irrigation water supply systems (made up of the supply source, conduction, distribution and crops delivery) lack in their operation a hydrologic forecast system in real time that may allow to anticipate the hydrologic variability (behavior of the levels of the water and volumes in future days, weeks or months), although for their design the water supply at the source is guaranteed a systems operability that usually surpasses 10 and 20 years. In this work a methodology for the prevention of the risk by water supply shortages is developed in the second part, through the hydrologic forecast of the water level at the source with support in the postdoctoral proposal of the authors.

#### KEYWORDS

Pronóstico hidrológico, sistema de alerta, prevención del riesgo, sistema de riego, Hydrologic forecast, alert system, risk prevention, irrigation system





## 1. ANTECEDENTES

A continuación se presentan los antecedentes de acuerdo con la propuesta postdoctoral desarrollada por los investigadores Rivera M., Oumanets Y. y Rivera H. (Rivera M. et al., 2006).

### 1.1.1. ASPECTOS SOBRE LOS SEGUROS AGRICOLAS

De acuerdo con el Programa Agro Ingreso Seguro del Ministerio de Agricultura (2004), la situación actual de Colombia se constituye en un buen ejemplo de cómo se debe orientar la protección al sector agrario ante catástrofes naturales, y a través de este esquema de seguro agropecuario se ofrece una cobertura generalizada de riesgos y producciones que permite eliminar las ayudas posteriores por riesgos asegurable. Este seguro agropecuario pone a disposición de los agricultores un instrumento eficaz para la gestión de los riesgos, a la vez que se otorga a los titulares de las explotaciones el papel de protagonistas en los procesos de gestión. El Seguro será puesto en práctica de forma progresiva hasta cubrir todas las producciones, regiones y riesgos.

El seguro agropecuario es un sistema de cobertura de los daños ocasionados a las producciones agrícolas, como consecuencia de variaciones anormales de agentes naturales climáticos: a) está sujeto a las condiciones de estabilidad financiera y valoración técnica de cualquier esquema de aseguramiento; b) opera como instrumento de política agraria y social, permitiendo desarrollar actuaciones orientadas a la ordenación de actividades productivas; c) Se conceden subsidios sobre el costo de la prima, a los agricultores que contraten las correspondientes pólizas de seguro, a través del Fondo Nacional de Riesgos Agropecuarios, el cual es administrado por FINAGRO; d) el agricultor puede suscribir el seguro a título individual o de forma colectiva a través de organizaciones agrarias u otro tipo de asociaciones reconocidas por la ley colombiana, beneficiándose de un mayor

subsidio; e) el seguro se contrata con las compañías de seguros que conforman las sociedades administradoras del seguro agropecuario. En principio operarán Mapfre, Suramericana y Previsora; f) el seguro ampara los perjuicios causados por siniestros naturales climáticos, ajenos al control del tomador, que afecten las actividades agropecuarias.

Como el tema de seguros agrícolas en Colombia se encuentra en su etapa inicial, entonces resulta necesario desarrollar aproximaciones científicas que permitan prever el riesgo de desabastecimiento de agua sea a corto o largo plazo, con el fin de incidir en las decisiones de los agricultores sobre la seguridad de su producción agrícola.

### 1.1.2. ASPECTOS RELACIONADOS CON EL CAMBIO CLIMATICO

De acuerdo con la variabilidad del clima, se encuentran sitios y épocas del año con condiciones climáticas favorables para unos sectores productivos de la economía y perjudiciales para otros. Esta variabilidad obedece a la regularidad espacio-temporal a largo plazo y concierne a comportamientos similares; por ejemplo, se conocen las épocas de invierno, de verano y de transición, épocas que se juzgan según la red climática existente. Sin embargo, esta regularidad se vería afectada por un posible cambio climático y por ello en las últimas décadas se ha revaluado el concepto de "clima estacionario a nivel del planeta".

El cambio climático son "todas las formas de inconstancia climática (esto es, cualesquiera diferencias entre las estadísticas a largo plazo de los elementos meteorológicos calculados para distintos períodos pero respecto a la misma zona), con independencia de su carácter estadístico o sus causas físicas" (OMM, 1992). El IDEAM (2000), afirma que para la segunda mitad del siglo XXI el calentamiento podría afectar los patrones de distribución de la precipitación y otras variables climatológicas.





Los sistemas de abastecimiento de agua de los distritos de riego fueron construidos sin tener en cuenta la variación espacio-temporal hidroclimática a raíz de procesos como el cambio climático: las estructuras de captación de agua se construyeron asumiendo que las características de los procesos de precipitación, infiltración y escorrentía superficial, tales como el promedio multianual y las frecuencias de sequías e inundaciones se deben mantener constantes en el futuro; por eso los expertos aplican la metodología de los "períodos de retorno", la consiste en la estimación de la probabilidad de eventos hidrológicos partiendo de la información histórica. Hipótesis, que pierde sustento, dada la alteración del régimen térmico en el planeta con sus respectivos efectos en los procesos de precipitación, infiltración, escorrentía superficial y subterránea.

### 1.1.3. ASPECTOS SOBRE PRONÓSTICOS HIDROLOGICOS

De acuerdo con la OMM los peligros hidrológicos se producen con frecuencia y de forma generalizada. Entre estos peligros, la sequía y las crecidas son responsables de los efectos más importantes sobre la vida humana y las propiedades (OMM, 2004). Tales han sido las magnitudes de las consecuencias de eventos extremos hidrológicos, que en la actualidad se están elaborando y ejecutando proyectos como el Programa de Preparación y Mitigación de la Sequía para fomentar el uso de información climatológica en el ámbito agrícola de la toma de decisiones, en colaboración con la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de los E.E.U.U.

De acuerdo con Rivera M. et al (2006), desarrollar una metodología para el pronóstico en tiempo real del riesgo por desabastecimiento de agua para un sistema de riego, implica al menos hacer dos esfuerzos: el primero es generar capacidad tecnológica y científica para prever con cierto tiempo de anterioridad la magnitud de la probabilidad del evento hidrológico en términos espaciales

(hasta donde llegará el período de estiaje) y temporales (hasta cuando durará el estiaje); mientras que el segundo consiste en definir la valoración económica de las pérdidas que puede ocasionar el desabastecimiento de agua.

Un primer aporte conceptual es realizado por Rivera H. (2001), quien plantea la estimación del riesgo para sembrar papa en determinada área para la cosecha en época de verano. Una segunda experiencia la forjó el IDEAM, con el "Protocolo para la emisión de los pronósticos hidrológicos" (IDEAM, 2005), el cual desarrolla aproximaciones de modelación para la emisión de los pronósticos hidrológicos. Posteriormente Quijano C. (2006) desarrolló un modelo de pronóstico hidrológico en periodo de estiaje que permite prever los niveles diarios del agua con soporte en la interpretación estocástica del proceso hidrológico. Estos esfuerzos y otros, permiten aseverar que en la actualidad es posible desarrollar una metodología de pronóstico del riesgo en tiempo real por desabastecimiento de agua para un sistema de riego.

## 2. ASPECTOS TEÓRICOS

En esta parte segunda del trabajo de investigación se centrará la atención en el modelo de producción de biomasa de un cultivo bajo la influencia de factores relevantes como los minerales, temperatura y agua. En este sentido se debe reseñar uno de los primeros trabajos en este ámbito, como lo fue el realizado por Stoliaroff A. (1976) en el cual plantea y desarrolla el modelo dinámico determinista de la forma siguiente:

$$\frac{dB}{dt} = \gamma_1 B (\gamma_2 - B) \quad (1)$$

en donde físicamente,

$B$  - representa a la cantidad de biomasa de determinado cultivo en un sitio y lugar,

$t$  - representa al tiempo (día, semana o mes),





$\gamma_2$  - es un parámetro que representa a la cantidad máxima probable de producción de biomasa,

$\gamma_1$  - es un parámetro que representa a las propiedades del sistema,

**en forma matemática, tenemos que**

$B$  - representa a la variable dependiente en la ecuación diferencial,

$t$  - representa a la variable independiente,

$\gamma_2$  - es un parámetro,

$\gamma_1$  - es un parámetro.

De acuerdo con el anterior modelo dinámico de producción de biomasa, en este trabajo se propone investigar y desarrollar la siguiente aproximación hidrológica específica de la forma:

$$\frac{dB}{dt} = \gamma_1 B (\gamma_2 - B),$$

$$\frac{d\gamma_1}{dt} = f(B, M, T, Q, \gamma_3),$$

$$\frac{dQ}{dt} = f(Q, H, \gamma_3),$$

$$\frac{dH}{dt} = \gamma_4 H$$

$B$  -representa a la cantidad de biomasa de determinado cultivo en un sitio y lugar,

- representa al tiempo (día, semana o mes),

$M$  - representa al factor relacionado con los minerales,

$T$  - representa al factor relacionado con la temperatura,

$H$  - representa al factor relacionado con los niveles del agua de la fuente abastecedora,

$Q$  - representa al factor relacionado con los caudales de la fuente abastecedora,

$\gamma_2$  - es un parámetro que representa a la cantidad máxima probable de producción de biomasa de determinado cultivo,

$\gamma_1, \gamma_3, \gamma_4$  - son parámetros que representan a las propiedades del sistema,

### 3. METODOLOGIA

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, el modelo hidrológico para la prevención en tiempo real de la amenaza por desabastecimiento de agua en un distrito de riego para la agricultura debe contemplar las siguientes propiedades: a) propiedades dinámicas de los niveles del agua en la fuente abastecedora, b) propiedades de las variaciones de las temperaturas en el sitio de cultivo, c) propiedades de los minerales que se aportaran para el desarrollo del cultivo, e) propiedades dinámicas de los caudales en la fuente abastecedora de agua, f) propiedades de los consumos de agua del cultivo, g) comportamiento del crecimiento del cultivo y producción de biomasa.

En el modelo de producción de biomasa antes señalado se tomarán valores constantes para la temperatura del aire en el sitio de cultivo, la mineralización del suelo, propiedades hidráulicas, entre otros; mientras que la dinámica de los niveles del agua y caudales de la fuente abastecedora se modelarán a través de las ecuaciones diferenciales deterministas (EDD) y posteriormente a través de ecuaciones diferenciales estocásticas (EDE). Las EDD arrojarán como resultado los valores de los niveles del agua, caudales y cantidad de producción de biomasa, mientras que las EDE permitirán obtener la probabilidad





de los valores de estas variables. Cabe señalar que los consumos de agua del cultivo se pueden determinar según la metodología del IDEAM (2002) con la cual se determina el índice de escasez ò mediante la metodología de la FAO (2006).

Una vez obtenida la probabilidad (amenaza) de los valores de la cantidad de biomasa a producirse con determinada cantidad de agua disponible, temperatura y minerales, se procede a comparar con las posibles pérdidas para así obtener el riesgo de producción del cultivo. El conocimiento del riesgo de producción permitirá claramente generar una nueva política de seguros agrícolas, toda vez que a la fecha actual sólo se contemplan los factores climáticos sin prestar atención a la disponibilidad de agua en la fuente abastecedora.

#### 4. CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se da continuación al desarrollo de modelos hidrológicos que permitan prever en tiempo real (en términos de días o semanas) el riesgo por desabastecimiento de agua en un sistema de riego que capta agua de un río.

La metodología presentada permite dimensionar por primera vez para el sector de la agricultura los pasos a seguir para la implementación de un sistema para la prevención del riesgo por desabastecimiento de agua para un sistema de riego, así como también permite identificar la información que se requiere para su aplicación.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 1998. Estudio Nacional del Agua. IDEAM, 150 p. Bogotá.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2002. Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, 352 p. Bogotá.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2005. Protocolo para la

emisión de los pronósticos hidrológicos. IDEAM, 152 p. Bogotá.

- Ministerio de Agricultura de Colombia, 2004. Presentación del Programa Agro Ingreso Seguro –AIS, Ministro de Agricultura (disponible en la pagina web: [www.minagricultura.gov.co](http://www.minagricultura.gov.co)), Bogota.

- Organización Meteorológica Mundial – OMM, 1992. Diccionario Meteorológico Mundial. OMM, Suiza.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO, 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

- Quijano Nieto Juan C. Desarrollo de una ecuación diferencial estocástica para pronosticar los niveles del agua en el río Pamplonita – La Don Juana, municipio de Cúcuta – Norte de Santander. Tesis para optar al título de maestría en Hidrosistemas, Pontificia Universidad Javeriana, 2006. 80 páginas.

- Rivera Hebert Gonzalo, 2001. Lineamientos ingenieriles para la administración pública del agua con énfasis en la predicción de la oferta hídrica mensual bajo escenario no estacionario. Biblioteca Virtual del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO – PHI UNESCO, 54p. Montevideo.

- Rivera María Esther, Rivera Hebert Gonzalo y Oumanets Yulia, 2006. Propuesta de investigación postdoctoral: modelo conceptual para el desarrollo de una metodología de pronóstico en tiempo real del riesgo por desabastecimiento de agua en Colombia. Inédito, 12 p.

